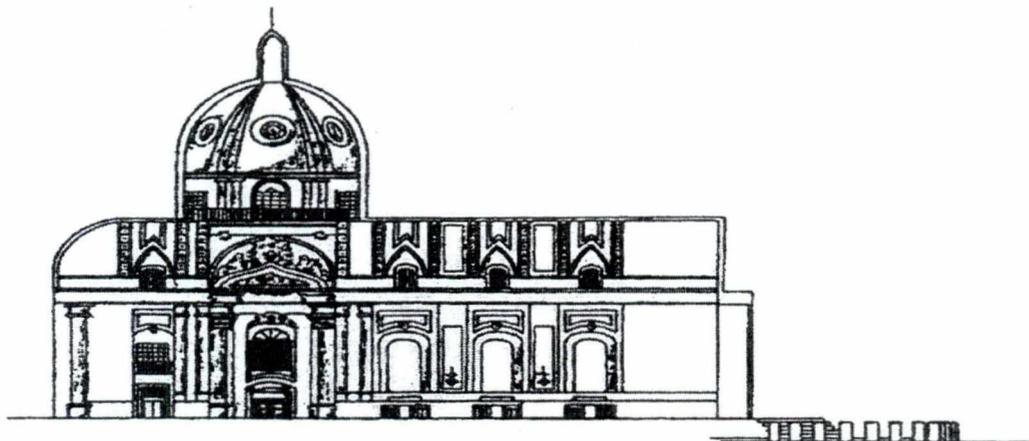


50430



UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO



**ALTERAÇÃO, ALTERABILIDADE E PATRIMÓNIO CULTURAL
CONSTRUÍDO: O CASO DA BASÍLICA DA ESTRELA**

**Carlos Alberto Machado Figueiredo
(Licenciado)**

Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia de Minas

Orientador científico

Engenheiro Luís António Aires Barros (Prof. Catedrático)

Co-Orientador científico

Doutor António Manuel Álvares Serrão Maurício (Prof. Auxiliar)

Juri

Presidente: Reitor da Universidade Técnica de Lisboa (Prof. Catedrático)

**Vogais: Doutor Manuel Maria Godinho (Prof. Catedrático)
Engenheiro Luís António Aires Barros (Prof. Catedrático)
Doutora Maria Amália Sequeira Braga (Prof. Associada)
Doutor Fernando Humberto Dias de Oliveira Muge (Prof. Associado)
Doutora Maria José Correia Martins Matias (Prof. Associada)
Doutor António Manuel Álvares Serrão Maurício (Prof. Auxiliar)**



Lisboa, Março de 1999

INSTITUTO SUPERIOR TECNICO



7100316287

RESUMO

A Basílica da Estrela é o mais notável monumento do séc. XIII da cidade de Lisboa e encontra-se situado em plena área urbana.

Apresenta-se o estudo do decaimento dos calcários, jurássico-cretácicos da região, utilizados na sua construção.

A sua caracterização tecnológica envolveu a realização de amostragem em pedreiras da região, prováveis fornecedoras no passado das pedras do Monumento, estudos mineropetrográficos, químicos e petrofísicos, e, ainda, ensaios de envelhecimento acelerado.

Estabeleceu-se a tipologia dos principais fenómenos de alteração das pedras da Basílica. Fez-se o registo fotográfico das principais patologias observadas, estudos mineroquímicos dos produtos de decaimento e a caracterização das texturas de alteração através de técnicas de análise de imagem. Paralelamente procedeu-se à caracterização do microclima no interior da Basílica e ao levantamento histórico dos trabalhos de Consolidação e de Conservação a que o monumento tinha sido sujeito.

Os resultados obtidos apontam para predomínio claro dos processos de decaimento de natureza física e de quase ausência de fenómenos de alteração química.

Os fenómenos de desagregação afectam sobretudo a rocha (Amarelo de Negrais) dos painéis localizados no interior da Basílica. Os problemas estruturais do edifício são apontados como responsáveis pelas infiltrações e estas como sendo o principal factor diferenciador do comportamento dos diversos painéis estudados.

ABSTRACT

Basílica da Estrela is the most famous monument of the XVIII century at Lisbon. It was built with Jurassic and Cretacic calcareous of Lisbon region.

Basílica da Estrela stone decay study is presented. Samples have been taken from several quarries of Lisbon region, some of them in exploitation, others abandoned. Their technological characterization based mainly on chemical, mineralogical and petrographic studies was performed. Some mechanical, physical and accelerated ageing laboratory tests have been also carried out.

Detailed survey of stone decay phenomena occurring at the monument was carried out in order to established the typology of the main monument stone weathering forms. Photographic recording and sampling of the weathering products (efflorescence and disintegrated rock material) were also made. The stone decay products were studied by means of stereomicroscope as well as X-ray diffraction and FTIR techniques. Digital processing and image analysis techniques were also used as non-destructive and contact-free methods to characterize surface weathering state of megastructures not-easily manipulated and located inside Basílica da Estrela. Historical and documental surveying of this monument was made with particular insight into the repair works performed in the past.

The more deteriorated stone is the yellow variety of the Cretacic calcareous used as lining material on panels located inside of the church. The main weathering forms is granular desintegration and it is promoted by seepages through the roof and percolating water behind the panels.

PALAVRAS -CHAVE

Basílica da Estrela
calcários jurássico-cretácicos
alteração e alterabilidade
microclima
análise de imagem
análise de correlação e regressão

KEY WORDS

Basílica da Estrela
Jurassic and Cretacic calcareous
weathering and weatherability
microclimate
image analysis
correlation and regression

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o resultado da Investigação desenvolvida no Laboratório de Mineralogia e Petrologia (LAMPIST) e no Centro de Petrologia e Geoquímica (Instituto Superior Técnico), no âmbito da linha de Investigação "Geoquímica da Alteração das Pedras dos Monumentos", sob a orientação científica do Professor Catedrático Engenheiro Luís Aires-Barros.

Quero, assim, em primeiro lugar, agradecer ao Professor o apoio, as sugestões feitas, a disponibilidade mostrada e, ainda, o estímulo constante que me dispensou ao longo destes anos de actividade no Centro.

Apraz-me, todavia, aqui registar que a elaboração deste trabalho só foi possível graças à colaboração de diversas pessoas que, de uma forma ou de outra, viabilizaram a sua realização. A todas elas quero, aqui, exprimir os meus sinceros agradecimentos.

À Professora Maria José Matias, um agradecimento muito especial pelas sugestões, que foram muitas, pelo apoio emprestado nos domínios da Mineralogia, Petrografia e Geoquímica e, ainda, pela leitura e revisão, que foram interessadas, do texto apresentado. Cabe-me, também, agradecer-lhe os estímulos, que foram muitos, e que fizeram com que esteja agora a escrever estas breves linhas...

Ao Professor António Maurício, meu co-orientador científico e com quem me iniciei na apaixonante mas sempre "espinhosa" actividade de Investigação Científica, quero agradecer os inúmeros ensinamentos e conselhos que me tem emprestado ao longo de todos estes anos de colaboração científica.

À Investigadora Engenheira Maria João Basto e ao Investigador Dr. Rui Córes Graça, quero agradecer os dados apresentados sobre a mineroquímica das rochas estudadas. A um e outro, fico, ainda, a dever as inúmeras sugestões e os muitos esclarecimentos que me foram dados no domínio das técnicas de Análise Físico-Químicas aplicadas. Ao Dr. Graça,

agradeço, ainda, a prontidão e o apoio sempre emprestados na resolução dos muitos e variados problemas técnicos que ocorreram durante a realização deste trabalho.

Aos Srs Gabriel Silva e Francisco Almeida, agradeço a colaboração preciosa prestada durante os quatro de anos de trabalho na Basílica da Estrela. Quero, pois, agradecer a manutenção e calibração dos vários sensores utilizados na leitura e registo dos dados, quer sobre os poluentes atmosféricos, quer sobre os parâmetros termohigrométricos medidos no interior da Basílica. Agradeço, ainda, a construção e manutenção das bases de dados utilizadas neste trabalho e a realização de alguns ensaios petrofísicos.

À Professora Paula Figueiredo, agradeço alguns dados sobre as propriedades físico-mecânicas das rochas estudadas.

À mestre Maria Amélia Dionísio, agradeço a colaboração emprestada na realização de alguns ensaios petrofísicos.

À Professora Matilde Costa e Silva e aos funcionários da Secção de Exploração, fico a dever a realização de alguns ensaios de resistência à compressão simples.

À Sr.^a Maria de Lurdes, muito obrigado pela paciência demonstrada.

À restante equipa de trabalho do Centro de Petrologia e Geoquímica (i.e., docentes, investigadores e técnicos), o meu muito obrigado, porque só com a colaboração de todos foi possível utrapassar as inúmeras dificuldades encontradas neste longo período de trabalho e de convívio com todos.

Por último, uma palavra de agradecimento enorme à Lininha, pelo apoio, carinho e incentivo que nunca me faltaram, sobretudo, nos momentos mais difíceis.

ÍNDICE GERAL

I - PREÂMBULO	1
II - INTRODUÇÃO	7
II.1 - A PEDRA, OS MONUMENTOS EM PEDRA, A CONSERVAÇÃO DO PATRIMÓNIO CULTURAL CONSTRUÍDO: um pouco de história	7
II.2 - OBJECTIVOS DO TRABALHO	12
II.3 - METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE ALTERAÇÃO DAS ROCHAS DE UM MOUMENTO	13
II.4 - ORGANIZAÇÃO DA TESE	14
III - CONCEITOS E DEFINIÇÕES	17
III.1 - ALGUMAS QUESTÕES DE TERMINOLOGIA	17
III.2 - FACTORES DE ALTERAÇÃO	19
III.3 - MECANISMOS DE ALTERAÇÃO	21
III.4 - PROCESSOS DE DECAIMENTO DAS PEDRAS CALCÁRIAS EM MONUMENTOS	25
IV - BASÍLICA DA ESTRELA	30
IV.1 - ENQUADRAMENTO HISTÓRICO, ARQUITECTÓNICO E GEOGRÁFICO . . .	30
IV.2 - OS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO (As rochas calcárias usadas na sua edificação)	34
V - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS PRINCIPAIS TIPOS DE PEDRAS NATURAIS UTILIZADAS NA EDIFICAÇÃO DA BASÍLICA DA ESTRELA	40
V.1 - INTRODUÇÃO	40
V.2 - ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO	42
V.2.1 - CRETÁCICO DA REGIÃO DE LISBOA	44
V.2.2 - JURÁSSICO DA REGIÃO DE LISBOA	49
V.3 - CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA	51
V.4 - CARACTERIZAÇÃO MICROSCÓPICA	54
V.5 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA	87
V.5.1 - INTRODUÇÃO	87
V.5.2 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA	87
V.5.2.1 - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	89

V.6 - BREVE APONTAMENTO SOBRE A COR DAS ROCHAS E SUAS POSSÍVEIS CAUSAS	99
V.7 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	105
V.7.1 - ANÁLISE DOS RESULTADOS	112
V.8 - ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO LABORATORIAL ACELERADO	116
V.8.1 - INTRODUÇÃO	116
V.8.2 - CARACTERIZAÇÃO DO ENSAIO DE FADIGA TÉRMICA	116
V.8.3 - RESULTADOS	118
V.8.4 - ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	124
V.8.4.1 - ASPECTOS TEXTURAIS DAS SUPERFÍCIES "ENVELHECIDAS"	124
V.8.4.2 -VARIAÇÃO DO PODER REFLECTOR AO LONGO DO ENSAIO	126
V.8.4.3 - A PERDA DE PESO AO LONGO DO ENSAIO	127
V.8.4.4 - MOBILIDADE QUÍMICA TOTAL	131
V.8.4.5 - COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DAS ROCHAS	133
V.8.4.5.1 - ANÁLISE INDIVIDUAL DAS AMOSTRAS, FACE À MOBILIDADE QUÍMICA DOS RESPECTIVOS ELEMENTOS CONSTITUINTES	134
V.8.4.5.2 - ANÁLISE DA MOBILIDADE QUÍMICA DE CADA ELEMENTO NO CONJUNTO DAS ROCHAS ENSAIDAS	141
V.8.5 - CÁLCULO E DISCUSSÃO DOS ÍNDICES DE ALTERABILIDADE ..	152
VI - PRINCIPAIS FENÓMENOS DE DECAIMENTO NA BASÍLICA DA ESTRELA	155
VII - MINEROQUÍMICA DOS PRODUTOS DE ALTERAÇÃO DOS PAINÉIS EM AMARELO DE NEGRAIS DA BASÍLICA DA ESTRELA	166
VII.1 - INTRODUÇÃO	166
VII.2 - RESULTADOS	166
VII.3 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	169
VIII - ALGUMAS INTERVENÇÕES NA BASÍLICA NO PERÍODO DE 1979-1987	173
VIII.1 - TRABALHOS REALIZADOS EM 1979	173
VIII.2 - TRABALHOS NA CAPELA DE N.^A SR.^A DO CARMO, REALIZADOS EM 1979, COM INÍCIO EM 5 SETEMBRO	174

VIII.3 - TRABALHOS REALIZADOS EM 1981	174
VIII.4 - TRABALHOS REALIZADOS EM JUNHO DE 1982	175
VIII.5 - TRABALHOS DE CONSERVAÇÃO REALIZADO EM 1984 (ENTRE 13 DE JULHO E 31 DE DEZEMBRO)	176
VIII.6 - TRABALHOS REALIZADOS NO PERÍODO DE 1986-1987	176
VIII.6.1 - MATERIAIS UTILIZADOS	177
VIII.6.2 - TRABALHOS EXTERIORES	177
VIII.6.3 - TRABALHOS INTERIORES	181
IX - MICROCLIMA NO INTERIOR DA BASÍLICA DA ESTRELA	183
IX.1 - INTRODUÇÃO	183
IX.2 - OS PARÂMETROS TERMO-HIGROMÉTRICOS CARACTERIZADORES DO MICROCLIMA	184
IX.3 - LEVANTAMENTO TERMO-HIGROMÉTRICO E METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS DADOS COLIGIDOS	186
IX.4 - ESTUDO ESPAÇO-TEMPORAL	189
IX.5 - ANÁLISE COMPARATIVA DAS SÉRIES CLIMATOLÓGICAS OBTIDAS DO ESTUDO ANTERIOR PARA OS DIFERENTES PAINÉIS	194
IX.6 - CARACTERIZAÇÃO DAS SÉRIES CLIMATOLÓGICAS (CRONOLÓGICAS)	197
IX.6.1 - PAINEL SS ^{MO} SACRAMENTO	197
IX.6.1.1 - TEMPERATURA DA PAREDE (°C)	197
IX.6.1.2 - TEMPERATURA DO AR (°C)	204
IX.6.1.3 - TEMPERATURA HÚMIDA (°C)	210
IX.6.1.4 - TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (°C)	217
IX.6.1.5 - HUMIDADE RELATIVA (%)	224
IX.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	232
X - ANÁLISE DE IMAGEM E A QUANTIFICAÇÃO DA ALTERABILIDADE DE ROCHAS .	244
X.1 - INTRODUÇÃO	244
X.2 - APLICAÇÃO DA PERFILOMETRIA AO ESTUDO "IN SITU" DE ALGUNS PAINÉIS DA BASÍLICA DA ESTRELA	245
X.2.1 - ANÁLISE DE IMAGEM	249
X.3 - ESTUDO DAS TEXTURAS DAS SUPERFÍCIES DE ALTERAÇÃO DOS PAINÉIS EM AMARELO DE NEGRAIS COM BASE NAS ANÁLISES GRANULOMÉTRICA E DE COVARIÂNCIA DE FUNÇÕES DE CINZENTO	251

X.3.1 - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	253
XI - CONSIDERAÇÕES FINAIS	260
XII - PERSPECTIVAS FUTURAS	272
XIII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	275
ANEXO I - DADOS SOBRE OS PARÂMETROS TERMOHIGROMÉTRICOS MEDIDOS NO INTERIOR DA BASÍLICA DA ESTRELA. ESTRUTURA DOS DADOS ANALISADOS . . .	
ANEXO II - RESULTADOS DA ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL	
ANEXO III - ESTRUTURA DOS DADOS SAÍDOS DA ANÁLISE ANTERIOR.	
ANEXO IV - RESULTADOS DA ANÁLISE COMPARATIVA DAS SÉRIES CLIMATOLÓGICAS OBTIDAS PARA OS DIFERENTES PAINÉIS	
ANEXO V - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DA ANÁLISE NO TEMPO DAS SÉRIES CLIMATOLÓGICAS	
ANEXO VI - TABELAS PARA OS TESTES DE ALEATORIEDADE DE SEQUÊNCIAS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 - Localização dos painéis estudados no interior da Basílica da Estrela (Escala: 1/667).	5
Fig.2 - Aspecto geral dos painéis em Amarelo de Negrais, estudados no interior da Basílica. Ilustra-se, também, o seu comportamento diferenciado face à envolvente microclimática.	6
Fig.3 - Taxa de evolução do estado de alteração de uma estátua de arenito (Winkler, E., 1973).	9
Fig.4 - Factores de alteração ou decaimento das rochas dos monumentos (Aires-Barros, 1991).	18
Fig.5 - Fachada da Basílica do Coração de Jesus com a estatuária de Machado de Castro e dos seus discípulos.	31
Fig.6 - Localização da Basílica da Estrela na Cidade de Lisboa (nº 20, no mapa).	32
Fig.7 - Ocorrências e localização das cortas de calcários ornamentais na zona de Lisboa. (Miranda et al., 1991).	35
Fig.8 - Aspecto geral do Lioz do Murganhal. Biomicrosparito, Wackstone-Packstone (x 37; N).	55
Fig.9 - Lioz do Murganhal. Manchas de calcite de grão grosseiro xenomórfica. (x 37; N).	55
Fig.10 - Lioz do Murganhal. Secções de rudistas em disposição sub-paralela. Observa-se a calcite fibrosa de alguns bioclastos. (x 37; N +).	56
Fig.11 - Aspecto geral do Negro de Mem Martins. Pelmicrito, Wackstone. Observam-se, ainda, bioclastos mal calibrados (x 37; N).	57
Fig.12 - Negro de Mem Martins. Intraclasto parcialmente recristalizado. Observam-se, ainda, alguns "fios" de calcite granular, clara e transparente cortando outras estruturas (matriz e intraclasto, por exemplo)(x 37; N).	58
Fig.13 - Negro de Mem Martins. Revestimento em drusa das paredes de uma "abelheira". A calcite exhibe fronteiras intercrystalinas bem definidas e os traços de clivagem são nítidos (x 93; N).	58
Fig.14 - Negro de Mem Martins. Opacos com formas e dimensões muito variadas, delimitando uma abelheira. (x 93 ; N).	59

Fig.15 - Negro de Mem Martins. Envolvente ferruginosa sublinhando a estrutura de um fóssil recristalizado. Alguns minerais opacos dispersos na matriz. (x 235; N).	59
Fig.16 - Negro de Mem Martins. Romboedros de dolomite, formando um mosaico cristalino em que se dispõem alguns minerais opacos (x 235; N).	60
Fig.17 - Azul de Sintra. Esparito, Grainstone. Textura inequigranular grosseira xenomórfica (x 37; N +).	61
Fig.18 - Azul de Sintra. Grãos de quartzo (qz) e de moscovite (m) rodeados de grandes cristais de calcite geminada polissinteticamente. (x 93; N +).	61
Fig.19 - Encarnadão tipo vidro. Biointrasparito, Grainstone. Bioclasto com envolvente micrítica ((e) epimatriz de Dickinson, 1970, in Pettijhon, 1975)(x 37; N).	63
Fig.20 - Encarnadão tipo vidro. Intraclasto fortemente recristalizado ao centro da fotografia, apresentando estrutura complexa (x 37; N).	63
Fig.21 - Encarnadão tipo vidro. Calcite intersticial de grão grosseiro, com predomínio de juntas intercristalinas planares bem definidas (x 235; N).	64
Fig.22 - Encarnadão tipo vidro. Envolvente ferruginosa de uma abelheira, preenchida com calcite granular grosseira. (x 235; N +).	64
Fig.23 - Encarnadão tipo vidro. "Fios" cortando indistintamente toda a rocha. Observam-se, ainda, um grão de quartzo anédrico, alguns fósseis e intraclastos recristalizados e alguns minerais opacos (x 37; N +).	65
Fig.24 - Encarnadão fino. Intrabiosparito, Grainstone. Aspecto geral apresentando várias secções de alveolinídeos (x 37; N +).	66
Fig.25 - Encarnadão fino. Secção de um fóssil, com preenchimento de calcite espática, exibindo limites entre os grãos bem definidos e traços de clivagem nítidos (x 93; N).	67
Fig.26 - Encarnadão fino. Secção de lamelibrânquio profusamente recristalizado orlado por calcite micrítica. (x 37; N +).	67

Fig.27 - Encarnadão fino. Contacto entre a matriz finamente recristalizada e um grande intraclasto de grão mais fino. Aspecto de inversão textural (x 37; N +).	68
Fig.28 - Encarnadão fino. Recristalização diferencial da matriz em mosaico granular grosseiro predominantemente xenomórfico. Observam-se, ainda, alguns minerais opacos dispersos (x 93; N).	68
Fig.29 - Encarnadão fino. Cristal anédrico de quartzo com inclusões (x 235; N +).	69
Fig.30 - Lioz da Colhoa. Biomicrosparrudito, Packstone. Aspecto geral (x 37; N +).	70
Fig.31 - Lioz da Colhoa. Bioclastos constituídos por calcite fibrosa e granular (x 37; N +).	70
Fig.32 - Lioz da Colhoa. Microestilolitos, preenchidos por material ferruginoso, cortando indistintamente a matriz, o cimento e os bioclastos (x 37; N +).	71
Fig.33 - Lioz Fervença. Biomicrosparrudito, Packstone. Aspecto geral (x 37; N).	72
Fig.34 - Lioz de Fervença. Intraclastos biomicrocíticos, parcialmente recristalizados (x 37; N).	72
Fig.35 - Lioz de Fervença. Relíquias da matriz micrítica primária (textura grumosa) (x 37; N).	73
Fig.36 - Lioz de Fervença. Microestilolito fechado, preenchido por fracção argilosa carbonatada (x 37; N).	73
Fig.37 - Lioz de Fervença. Índícios de silicificação (x 93; N).	74
Fig.38 - Lioz de Fervença. Idem (x 93; N +).	74
Fig.39 - Encarnadão de Negrais. Biopelmicrosparito, Packstone. Aspecto geral (x 37; N).	76
Fig.40 - Encarnadão de Negrais. Contacto entre um intraclasto e a matriz (x 37; N).	76
Fig.41 - Encarnadão de Negrais. Textura geopética (x 37; N).	77
Fig.42 - Encarnadão de Negrais. Textura grumosa (x 93; N).	77
Fig.43 - Encarnadão de Negrais. Microestilólitos preenchidos por fino material argilo-ferruginoso, cortando indistintamente toda a rocha (x 93; N).	78

Fig.44 - Encarnadão de Negrais. Envolvente micrítica sublinhando o contorno de um grão aloquímico profusamente recristalizado (x 93; N).	78
Fig.45 - Amarelo de Negrais. Biomicrorrudito, Wackstone. Aspecto geral (x 37; N).	80
Fig.46 - Amarelo de Negrais. Abelheira, com textura grumosa. Calcite inequigranular e anédrica envolvendo relíquias micríticas da estrutura inicial (x 37; N).	80
Fig.47 - Amarelo de Negrais. Textura fenestrada (x 37; N).	81
Fig.48 - Amarelo de Negrais. Mosaico granular grosseiro de calcite espática predominantemente xenomórfica, envolvendo calcário biomicrítico (x 37; N).	81
Fig.49 - Amarelo de Negrais. Microestilolitos com preenchimento ferruginoso limonítico (x 93; N).	82
Fig.50 - Amarelo de Negrais. Romboedros de dolomite com contornos ferruginosos, em zonas de profusa recristalização (x 93; N).	82
Fig.51 - Amarelo de Negrais. Oóide, com estrutura radial (calcite fibrosa radial) e relíquias da sua estrutura concêntrica primária (x 93; N).	83
Fig.52 - Amarelo de Negrais. Aspecto de inversão textural (x 37; N).	83
Fig.53 - Encarnadão vidroço. Biopelmicrosparito, Packstone. Aspecto geral (x 37; N).	85
Fig.54 - Encarnadão vidroço. Pormenor da matriz parcialmente recristalizada e da secção de um fóssil com envolvente micrítica (x 235; N +).	85
Fig.55 - Composição química média das rochas estudadas.	89
Fig.56 - Projecção dos resultados das análises químicas no diagrama CaO, MgO e SiO ₂	95
Fig.57 - Evolução da perda relativa de poder reflector (%) com o tempo de alteração.	119
Fig.58 - Evolução da perda relativa de peso (%) com o tempo de alteração.	120
Fig.59 - Mobilidade relativa total (%) dos elementos químicos das rochas.	122
Fig.60 - Aspecto textural da rocha sã (Azul de Sintra). Imagem em níveis de cinzento (256 x 256 pixels).	124

Fig.61 - Aspecto textural da rocha ao fim de 1 "ano" de ensaio (Azul de Sintra). Imagem em níveis de cinzento (256 x 256 pixels).	124
Fig.62 - Aspecto textural da rocha ao fins de 5 "anos" de ensaio (Azul de Sintra). Imagem em níveis de cinzento (256 x 256 pixels).	125
Fig.63 - Aspecto textural da rocha sã (Lioz de Fervença). Imagem em níveis de cinzento (256 x 256 pixels).	125
Fig.64 - Aspecto textural da rocha ao fim de 1 "ano" de ensaio (Lioz de Fervença). Imagem em níveis de cinzento (256 x 256 pixels).	125
Fig.65 - Aspecto textural da amostra após 5 "anos" de ensaio (Lioz de Fervença). Imagem em níveis de cinzento (256 x 256 pixels).	125
Fig.66 - Diagrama de dispersão: perda de peso (ΔP) e porosidade ao ar (n_{ar}).	130
Fig.67 - Diagrama de dispersão: perda de peso (ΔP) e permeabilidade ao ar (k_{ar}).	130
Fig.68 - Diagrama de dispersão: perda de peso (ΔP) e lixiviação química total (gj).	130
Fig.69 - Diagrama de dispersão: lixiviação química acumulada (gj) e porosidade ao ar (n_{ar}).	133
Fig.70 - Diagrama de dispersão: lixiviação química acumulada (gj) e permeabilidade ao ar (k_{ar}).	133
Fig.71 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Lioz do Murganhal).	134
Fig.72 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Negro de Mem Martins).	135
Fig.73 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Azul de Sintra).	136
Fig.74 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Encarnadão tipo Vidraço, Pedreira do António Lino).	136
Fig.75 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Lioz da Colhoa).	137
Fig.76 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Lioz de Fervença).	138
Fig.77 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Encarnadão de Negrais).	138

Fig.78 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Amarelo de Negrais).	139
Fig.79 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Encarnadão tipo Vidraço, Pedreira do Domingos).	140
Fig.80 - Mobilidade relativa acumulada (%) do CaO, ao longo do ensaio.	142
Fig.81 - Mobilidade relativa acumulada (%) do MgO, ao longo do ensaio.	143
Fig.82 - Mobilidade relativa acumulada (%) do SiO ₂ , ao longo do ensaio.	145
Fig.83 - Mobilidade relativa acumulada (%) do Na ₂ O, ao longo do ensaio.	147
Fig.84 - Mobilidade relativa acumulada (%) do K ₂ O, ao longo do ensaio.	148
Fig.85 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do SiO ₂ (qSiO ₂ , %) e o teor inicial do SiO ₂ na rocha ((SiO ₂) _{Rocha} , %).	150
Fig.86 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do CaO (qCaO, %) e o teor inicial do CaO na rocha ((CaO) _{Rocha} , %).	150
Fig.87 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do MgO (qMgO, %) e o teor inicial do MgO na rocha ((MgO) _{Rocha} , %).	150
Fig.88 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do Na ₂ O (qNa ₂ O, %) e o teor inicial do Na ₂ O na rocha ((Na ₂ O) _{Rocha} , %).	150
Fig.89 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do K ₂ O (qK ₂ O, %) e o teor inicial do K ₂ O na rocha ((K ₂ O) _{Rocha} , %).	151
Fig.90 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do SiO ₂ (qSiO ₂ , %) e a permeabilidade ao ar (k _{ar} , mD).	151
Fig.91 - Diagrama de dispersão: mobilidade química do CaO (qCaO, %) e a permeabilidade ao ar (k _{ar} , mD).	151
Fig.92 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do MgO (qMgO, %) e a permeabilidade ao ar (k _{ar} , mD).	151
Fig.93 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do Na ₂ O (qNa ₂ O, %) e a permeabilidade ao ar (k _{ar} , mD).	152
Fig.94 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do K ₂ O (qK ₂ O, %) e a permeabilidade ao ar (k _{ar} , mD).	152
Fig.95 - Diagrama de dispersão: índice de alterabilidade (K) e a permeabilidade ao ar (k _{ar} , mD).	154

Fig.96 - Pormenor da infestação por algas das superfícies estilolíticas, nas colunas de Lioz da fachada principal.	155
Fig.97 - Pormenor da infestação liquénica do terraço.	156
Fig.98 - Fracturas e estilolitos abertos no Lioz da balaustrada do Terraço.	156
Fig.99 - Pormenor da cúpula do zimbório, onde são visíveis sujidades de cor negra acastanhada, em zonas suficientemente protegidas da accção das águas pluviais.	157
Fig.100 - Aspecto geral do painel em Amarelo de Negrais (estrutura no centro da fotografia). Painel esquerdo junto ao altar de S. Teresa.	158
Fig.101 - Pormenor do estado de desagregação do painel anterior em Amarelo de Negrais. Segunda placa a contar de baixo.	159
Fig.102 - Pormenor de uma das paredes da sala de monitorização dos poluentes atmosféricos (Coro alto). É visível o "destacamento" de pequenas lascas (escamas) do calcário de revestimento.	160
Fig.103 - Concreções no chão do coro alto. São também comuns no chão da igreja (transepto e nave). Resultado, sobretudo, da lixiviação das juntas pelas águas de infiltração.	161
Fig.104 - Aspecto geral da parede do lado direito do altar de S. José. Notar as largas manchas esbranquiçadas de calcite reprecipitada sobre o Lioz e o Amarelo de Negrais.	163
Fig.105 - Pormenor das inúmeras eflorescências na abóbada do coro alto (i.e., junto ao Orgão).	164
Fig.106 - Pormenor da abóbada do zimbório, onde são visíveis as manchas de cor negra acastanhada e, ainda, algumas estalactites (eflorescências).	164
Fig.107 - Pormenor de uma das paredes da galilé, onde são visíveis manchas associadas a diferentes teores de humidade das paredes.	165
Fig.108 - Pormenor de um dos alçados interiores da Basílica, onde se pode ver a implantação da malha de amostragem sobre os "painéis" (Escala: 1/129). . .	167
Fig.109 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	198

Fig.110 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	198
Fig.111 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	198
Fig.112 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	198
Fig.113 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	200
Fig.114 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	200
Fig.115 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	200
Fig.116 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	200
Fig.117 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	201
Fig.118 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	201
Fig.119 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	201
Fig.120 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	201
Fig.121 - Cronogramas dos valores médios mensais. Anos de 1993, 1994 e 1995.	202
Fig.122 - Cronograma dos valores médios anuais.	202
Fig.123 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1994 e de 1993.	202
Fig.124 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1993.	203
Fig.125 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1994.	203
Fig.126 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	205
Fig.127 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	205
Fig.128 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	205
Fig.129 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	205

Fig.130 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	206
Fig.131 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	206
Fig.132 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	206
Fig.133 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	206
Fig.134 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	207
Fig.135 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	207
Fig.136 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	207
Fig.137 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	207
Fig.138 - Cronogramas dos valores médios mensais. Anos de 1993, 1994 e 1995. .	208
Fig.139 - Cronograma dos valores médios anuais.	208
Fig.140 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1994 e de 1993.	208
Fig.141 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1993.	208
Fig.142 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1994.	209
Fig.143 - Diagrama de dispersão: temperatura do ar (1993) e temperatura da parede (1993).	209
Fig.144 - Diagrama de dispersão: temperatura do ar (1994) e temperatura da parede (1994).	209
Fig.145 - Diagrama de dispersão: temperatura do ar (1995) e temperatura da parede (1995).	209
Fig.146 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	210
Fig.147 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	210
Fig.148 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	211
Fig.149 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	211

Fig.150 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	212
Fig.151 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	212
Fig.152 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	213
Fig.153 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	213
Fig.154 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	213
Fig.155 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	213
Fig.156 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	214
Fig.157 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	214
Fig.158 - Cronogramas dos valores médios mensais. Anos de 1993, 1994 e 1995. .	214
Fig.159 - Cronograma dos valores médios anuais.	215
Fig.160 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1994 e de 1993.	215
Fig.161 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1993.	215
Fig.162 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1994.	215
Fig.163 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	217
Fig.164 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	217
Fig.165 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	218
Fig.166 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	218
Fig.167 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	220
Fig.168 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	220
Fig.169 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	220

Fig.170 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	220
Fig.171 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	221
Fig.172 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	221
Fig.173 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	221
Fig.174 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	221
Fig.175 - Cronogramas dos valores médios mensais. Anos de 1993, 1994 e 1995.	222
Fig.176 - Cronograma dos valores médios anuais.	222
Fig.177 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1994 e de 1993.	222
Fig.178 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1993.	223
Fig.179 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1994.	223
Fig.180 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	224
Fig.181 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	224
Fig.182 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	225
Fig.183 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	225
Fig.184 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	227
Fig.185 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	227
Fig.186 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	227
Fig.187 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	227
Fig.188 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.	229
Fig.189 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	229

Fig.190 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	229
Fig.191 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.	229
Fig.192 - Cronogramas dos valores médios mensais. Anos de 1993, 1994 e 1995. .	230
Fig.193 - Cronograma dos valores médios anuais.	231
Fig.194 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1994 e de 1993.	231
Fig.195 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1993.	231
Fig.196 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1994.	231
Fig.197 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	234
Fig.198 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	234
Fig.199 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	235
Fig.200 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	235
Fig.201 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	236
Fig.202 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	236
Fig.203 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	237
Fig.204 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	237
Fig.205 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	238
Fig.206 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	238
Fig.207 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	239

Fig.208 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	239
Fig.209 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	240
Fig.210 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	240
Fig.211 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).	241
Fig.212 - Painel em Amarelo de Negrais, em frente ao túmulo de D. Maria I (DM). Exemplo de rocha sã (escala \approx 1:30).	245
Fig.213 - Painel em Amarelo de Negrais, lado esquerdo do altar de S. Teresa (STE). Exemplo de rocha muito alterada (1:40).	245
Fig.214 - Projecção da grelha de linhas sobre a superfície de uma amostra.	246
Fig.215 - Relação entre a deformação das linhas e as diferenças de altura existentes.	246
Fig. 216 - Linhas projectadas sobre uma superfície menos alterada (e.g. painel esquerdo S.José, SJE). (1/17 escala).	247
Fig. 217 - Linhas projectadas sobre a superfície mais alterada (e.g. painel esquerdo, S. Teresa, STD). (1/17 escala).	247
Fig. 218 - Pormenor das linhas projectadas sobre o painel esquerdo S. José (SJE) (256x256 pixels; 1/7 scale).	247
Fig. 219 - Pormenor das linhas projectadas sobre o painel esquerdo S. Teresa (STE) (256x256 pixels; 1/7 scale).	247
Fig. 220 - Imagem binária das linhas da Fig.218.	249
Fig. 221 - Imagem binária das linhas da Fig.219.	249
Fig. 222 - Contorno das linhas binárias da imagem da Fig.220.	250
Fig. 223 - Contorno das linhas binárias da imagem da Fig.221.	250
Fig. 224 - Índices de alteração calculados para os diferentes painéis.	250
Fig. 225 - Imagem em níveis de cinzento (256x256) de uma área texturalmente representativa do painel da Fig.212 (escala 1:10).	254
Fig. 226 - Imagem em níveis de cinzento (256x256) de uma área texturalmente representativa do painel da Fig.213 (escala 1:10).	254

Fig. 227 - Curvas experimentais das funções de distribuição por aberturas de tamanho crescente das imagens em níveis de cinzento.	255
Fig. 228 - Curvas de densidade granulométrica experimentais por aberturas de tamanho crescente das imagens em níveis de cinzento.	255
Fig. 229 - Correlogramas experimentais horizontal e vertical da imagem Fig.14. . .	257
Fig. 230 - Correlogramas experimentais horizontal e vertical da imagem da Fig.15.	257
Fig. 231 - Correlogramas horizontais das imagens em níveis de cinzento.	257
Fig. 232 - Correlogramas verticais das imagens em níveis de cinzento.	257
Fig.233 - Frequência anual de fenómenos de evaporação.	265
Fig.234 - Variação anual do perfil de frequência de fenómenos de evaporação. . . .	265
Fig.235 - Perfis das frequências globais de fenómenos de evaporação.	265
Fig.236 - Frequência anual de fenómenos de saturação.	265
Fig.237 - Variação anual do perfil de frequência de fenómenos de saturação.	266
Fig.238 - Perfis das frequências globais de fenómenos de saturação.	266
Fig.239 - Frequência anual de fenómenos de condensação.	266
Fig.240 - Variação anual do perfil de frequência de fenómenos de condensação. . .	266
Fig.241 - Perfis das frequências globais de fenómenos de condensação.	267
Fig.242 - Variação horizontal da frequência de fenómenos de evaporação, saturação e condensação, no período 1993-1996.	267
Fig.243 - Perfis das frequências de fenómenos de evaporação, saturação e condensação, no período 1993-1996.	267

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro I - "Metodologia da conservação de um monumento" (Aires-Barros, 1991).	13
Quadro II - Principais processos de alteração das rochas (Aires-Barros, 1991) . . .	26
Quadro III - Síntese da caracterização mineropetrográfica dos calcários estudados. Sistemática usada segundo Folk e Dunham.	86
Quadro IV - Análise química dos calcários estudados (% em peso) (LAMPIST). Valores máximos, médios, mínimos, desvios-padrão, coeficiente de dispersão (c.d) e relação Ca/Mg.	88
Quadro V - Análise química elementar dos calcários estudados	97
Quadro VI - Rochas calcárias estudadas. Classificação quanto à cor pelo sistema de Munsell. Elementos cromóforos presentes	100
Quadro VII - Cores dos sedimentos e respectivas causas. Síntese segundo vários autores	101
Quadro VIII - Elementos cromóforos e cores de minerais associadas (Klein & Hurlbut, 1993)	103
Quadro IX - Propriedades físico-mecânicas das amostras NMM, AZ, LF, EN e AN, segundo Figueiredo, P. (1997 e 1998). Valores máximos, médios, mínimos e desvios-padrão	106
Quadro X - Porosidades e permeabilidades ao ar dos calcários estudados (LAMPIST)	106
Quadro XI - Classificação das rochas quanto à compressão simples, σ_c (MPa), ISRM (1978) (in Figueiredo, P., 1997).	115
Quadro XII - Reflectâncias (%) das amostras ensaiadas no início e no final de cada ciclo do ensaio	118
Quadro XIII - Peso (g) das amostras no final de cada etapa dos ensaios	120
Quadro XIV - Análises químicas (%) das águas dos ensaios de climatização no final de cada etapa (LAMPIST)	121
Quadro XV - Índices de alterabilidade (K) no final de cada etapa do ensaio	123
Quadro XVI - Matriz de correlação	131
Quadro XVII - Resultados da análise mineralógica por DRX e IV dos depósitos de escorrências (LAMPIST)	161

Quadro XVIII - Análise mineralógica dos produtos de alteração (valores em função dos pontos de amostragem)	168
Quadro XIX - Análise química (%) de amostras globais coligidas nos painéis direito e esquerdo localizados junto ao altar de S. Teresa	169
Quadro XX - Temperatura da Parede, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1993.	285
Quadro XXI - Temperatura da parede, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1994.	285
Quadro XXII - Temperatura da parede, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1995.	286
Quadro XXIII - Temperatura da parede, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1996.	286
Quadro XXIV - Temperatura do ar, valores máximos, médios, mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1993.	287
Quadro XXV - Temperatura do ar, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1994.	287
Quadro XXVI - Temperatura do ar, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1995.	288
Quadro XXVII - Temperatura do ar, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1996.	288
Quadro XXVIII - Temperatura húmida, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1993.	289
Quadro XXIX - Temperatura húmida, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1994.	289
Quadro XXX - Temperatura húmida, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1995.	290
Quadro XXXI - Temperatura húmida, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1996.	290
Quadro XXXII - Temperatura do ponto de orvalho, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1993.	291

Quadro XXXIII - Temperatura do ponto de orvalho, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1994.	291
Quadro XXXIV - Temperatura do ponto de orvalho, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1995.	292
Quadro XXXV - Temperatura do ponto de orvalho, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1996.	292
Quadro XXXVI - Humidade relativa, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1993.	293
Quadro XXXVII - Humidade relativa, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1994.	293
Quadro XXXVIII - Humidade relativa, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1995.	294
Quadro XXXIX - Humidade relativa, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS ^{mo} Sacramento. Ano de 1996.	294
Quadro XL - Temperatura da parede. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise horizontal a diferentes cotas, para cada ano de campanha.	295
Quadro XLI - Temperatura da parede. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise vertical segundo diferentes perfis, para cada ano de campanha. . . .	296
Quadro XLII - Temperatura da parede. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise do comportamento no tempo (1993/1996), por ponto de amostragem.	297
Quadro XLIII - Temperatura do ar. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise horizontal a diferentes cotas, para cada ano de campanha.	298

Quadro XLIV - Temperatura do ar. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise vertical segundo diferentes perfis, para cada ano de campanha. . . .	299
Quadro XLV - Temperatura do ar. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise do comportamento no tempo (1993/1996), por ponto de amostragem.	300
Quadro XLVI - Temperatura húmida. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise horizontal a diferentes cotas, para cada ano de campanha.	301
Quadro XLVII - Temperatura húmida. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise vertical segundo diferentes perfis, para cada ano de campanha. . . .	302
Quadro XLVIII - Temperatura húmida. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise do comportamento no tempo (1993/1996), por ponto de amostragem.	303
Quadro XLIX - Temperatura de orvalho. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise horizontal a diferentes cotas, para cada ano de campanha.	304
Quadro L - Temperatura de orvalho. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise vertical segundo diferentes perfis, para cada ano de campanha. . . .	305
Quadro LI - Temperatura de orvalho. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise do comportamento no tempo (1993/1996), por ponto de amostragem.	306
Quadro LII - Humidade relativa. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise horizontal a diferentes cotas, para cada ano de campanha.	307

Quadro LIII - Humidade relativa. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise vertical segundo diferentes perfis, para cada ano de campanha.	308
Quadro LIV - Humidade relativa. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise do comportamento no tempo (1993/1996), por ponto de amostragem.	309
Quadro LV - Valores máximos, médios, mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1993. Painel SS ^{mo} Sacramento.	310
Quadro LVI - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1994. Painel SS ^{mo} Sacramento.	310
Quadro LVII - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1995. Painel SS ^{mo} Sacramento.	311
Quadro LVIII - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1996. Painel SS ^{mo} Sacramento.	311
Quadro LIX - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1993. Painel Túmulo D. Maria I.	312
Quadro LX - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1994. Painel Túmulo D. Maria I.	312
Quadro LXI - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1995. Painel Túmulo D. Maria I.	313
Quadro LXII - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1996. Painel Túmulo D. Maria I.	313
Quadro LXIII - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1993.	

Painel S. José.	314
Quadro LXIV - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1994.	
Painel S. José.	314
Quadro LXV - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1995.	
Painel S. José.	315
Quadro LXVI - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1996.	
Painel S. José.	315
Quadro LXVII - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1993.	
Painel S. Teresa.	316
Quadro LXVIII - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1994.	
Painel S. Teresa.	316
Quadro LXIX - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1995.	
Painel S. Teresa.	317
Quadro LXX - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1996.	
Painel S. Teresa.	317
Quadro LXXI - Coeficientes de correlação espacial para os elementos do clima medidos nos diferentes painéis. Para as séries anuais e globais, i.e., para as séries definidas no período de amostragem (1993-1996).	318
Quadro LXXII - Coeficientes de correlação temporal das séries climatológicas para os diferentes elementos do clima. Painel SS ^{mo} Sacramento.	319
Quadro LXXIII - Aplicação dos "Runs Test for randomness". Séries climatológicas para o período 1993/1996, com os valores acima da respectiva mediana em itálico.	320
Quadro LXXIV - Quadro para testes de aleatoriedade de sequências. Nível de significância de 5% (Langley, 1970).	321

I - PREÂMBULO

A presente dissertação consubstancia todo o trabalho desenvolvido no âmbito do projecto de investigação "DECAIMENTO DE ALGUMAS ROCHAS DE LISBOA FACE À INTEMPÉRIE E POLUIÇÃO URBANAS".

Este projecto enquadra-se numa das principais linhas de investigação do Laboratório de Mineralogia e Petrologia do Instituto Superior Técnico (LAMPYST), denominadamente na linha "Alteração e alterabilidade de rochas: aplicações geotécnicas e no decaimento do património cultural construído". O seu desenvolvimento teve início em Janeiro de 1992 sob a orientação do Prof. Luís Aires-Barros, envolvendo vários tipos de actividades: levantamentos de campo (realizados quer em pedreiras quer no monumento), estudos analíticos realizados em laboratório, pesquisa bibliográfica e, finalmente, o tratamento de dados.

Os trabalhos desenvolvidos centraram-se fundamentalmente no estudo do decaimento das rochas da Basílica da Estrela e monitorização dos gases da atmosfera envolvente. Na estrutura e no revestimento interior deste monumento foram usados diversos calcários de idade jurássico-cretácica de que sobressaem o Azul de Sintra, o Lioz, o Encarnadão, o Amarelo de Negrais e, ainda, o Negro de Mem Martins.

Numa primeira fase, os trabalhos de campo previram, larga e adequada amostragem em pedreiras de onde, provavelmente, as rochas do monumento tenham sido extraídas. No monumento, para caracterização da atmosfera envolvente da Basílica da Estrela, foi instalada uma estação de monitorização, em regime de funcionamento contínuo (i.e., vinte e quatro horas por dia), dos seguintes poluentes atmosféricos: SO₂, NO_x (NO, NO₂), O₃ e CO.

Numa segunda fase, os trabalhos de campo circunscreveram-se, sobretudo, aos trabalhos "in situ" desenvolvidos no monumento que, envolvendo uma equipa de investigação, visavam sobretudo:

- * A observação cuidada dos principais litotipos utilizados na edificação da Basílica da Estrela, através de sumária caracterização macroscópica e correspondente registo fotográfico.
- * O estabelecimento da tipologia dos fenómenos de alteração superficial aí ocorrentes e respectivo registo fotográfico adequado.

- * A amostragem dos produtos de decaimento do material rochoso, nomeadamente de eflorescências e material particulado.
- * A selecção dos pontos críticos e nevrálgicos para os estudos a efectuar, com base em critérios qualitativos de perigosidade (intensidade) que emanaram, nessa fase, de correlações visuais possíveis entre patologias/litologia/ estruturas.
- * A manutenção e acompanhamento da estação de monitorização do microclima envolvente da Basílica.
- * A caracterização do microclima, no interior da Basílica, nomeadamente através da instalação, em diversos pontos do seu interior (altares S. Sacramento, S. José, etc.) de termohigrógrafos para a observação e registo contínuo das temperaturas e humidades relativas do ar e, ainda, da definição de uma malha de amostragem repartida pelas paredes do transepto e da nave, para a observação e registos discretos das seguintes variáveis: humidade relativa, ponto de orvalho, temperatura húmida, temperatura do ar junto à parede, temperatura da superfície da parede e velocidade de propagação dos ultrassons através de diversas estruturas em pedra (colunas, painéis, etc.).
- * A instalação de um pluviómetro no terraço da Basílica e captação das águas de infiltração (no coro da igreja);
- * O enquadramento global do monumento e dos pontos seleccionados com base em critérios geográficos e geométricos, face aos factores exógenos.

Os estudos e os ensaios laboratoriais incidiram particularmente sobre as amostras coligidas em pedreiras e sobre os produtos de alteração (eflorescências e material particulado) provenientes da Basílica da Estrela. Os trabalhos efectuados envolveram:

- * A caracterização petrográfica cuidada e rigorosa do material "tal qual", tendo em vista a escolha do material para a preparação, quer de lâminas delgadas, quer de superfícies polidas.
- * Estudos mineropetrográficos, aplicando técnicas de microscopia óptica de refacção e reflexão utilizando microscópicos ópticos petrográfico e metalográfico; microscopia electrónica de varrimento; análises por difracção de raios-X e por espectrometria de absorção de raios infravermelhos; análises químicas das rochas; e, finalmente, processamento e análise de imagem.

- * Ensaaios laboratoriais de envelhecimento acelerado (fadiga térmica) que visaram sobretudo seguir, averiguar e compreender os fenómenos de alteração laboratorial, de forma a poder comparar o comportamento relativo das amostras em laboratório com os casos de decaimento observados no monumento. Estes ensaios, dado que pretendem também a definição de índices de alteração e alterabilidade, foram acompanhados concomitantemente por estudos de análise de imagem e determinações da variação do peso e do poder reflector das amostras ensaiadas. Foram, ainda, realizadas análises químicas das águas de lixiviação, doseando nomeadamente os seguintes componentes: CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, etc.
- * A caracterização físico-estrutural das rochas que foi realizada através da determinação das seguintes propriedades físicas e mecânicas: porosidade (aberta ao ar e à água, total e às 48 horas), teor em água máximo, coeficiente de capilaridade e de saturação natural (coeficiente de Hirschwald), permeabilidade ao ar, massas volúmicas (real, aparente) e resistência mecânica à compressão simples.

Os trabalhos de pesquisa bibliográfica e de tratamento de dados foram feitos em paralelo e pretenderam, por um lado, obter o enquadramento teórico dos fenómenos associados aos processos de decaimento das rochas aplicadas no património cultural construído e, por outro lado, a inserção, nesse vasto quadro, da situação particular da Basílica da Estrela.

Fez-se o levantamento histórico documental do monumento, com particular ênfase para as possíveis intervenções que tenha sofrido, assim como o tratamento adequado do registo fotográfico obtido na Basílica da Estrela por aplicação de técnicas de processamento e análise de imagem. Estas técnicas permitiram a realização de estudos "in situ" sobre a quantificação do estado de alteração superficial de grandes estruturas inamovíveis, designadamente através do desenvolvimento de técnicas não-destrutivas, "contact-free", de que a perfilometria e a aplicação da análise granulométrica e de covariância de funções de cinzentos constituem exemplos concretos. Construíram-se, ainda, bases de dados integrando toda a informação coligida na Basílica da Estrela e com origem nos termohigrógrafos, psicrómetro e monitores de poluentes atmosféricos. A estes dados foram aplicadas técnicas

de processamento e análise de dados, nomeadamente métodos de análise exploratória de dados (Estatística descritiva).

O tratamento preliminar da informação que ia sendo coligida foi permitindo uma reapreciação progressiva dos estudos então efectuados "in situ" no monumento. Isto conduziu a realização de novas visitas ao monumento com o propósito de acompanhar "in loco" a evolução dos processos de decaimento e realizar nova amostragem dos seus produtos e respectivos registos fotográficos e, sempre que foi necessário, a selecção de novos pontos críticos.

Nesta fase, como resultado da primeira inspecção sobre o tipo e intensidade das patologias diagnosticadas e das respectivas localização e associação com determinadas unidades arquitecturais, foram fixadas como áreas de referência para o estudo a desenvolver, quatro das inicialmente eleitas e que se localizam no interior da Basílica da Estrela (Fig. 1). Estas áreas, que passaram a concentrar uma larga parte do trabalho desenvolvido, referem-se designadamente ao altar do Santíssimo Sacramento e à zona em frente ao túmulo de D. Maria I (localizadas no transepto) e aos altares de S. José e de S. Teresa (localizados na nave). Estas quatro áreas têm, essencialmente, em comum a presença de grandes estruturas arquitecturais bidimensionais (painéis), com cerca de 4-5 m² de área, construídas em Amarelo de Negrais e que mostram evidentes sinais de comportamento diferenciado face à envolvente microclimática quando comparadas com outras unidades estruturais contíguas construídas com a "mesma" rocha ou com outra variedade petrográfica ("Lioz", "Encarnadão", "Azul de Sintra") (Figs. 1 e 2). Foi, efectivamente, nestas estruturas, que passam, por comodidade de linguagem, a ser designadas por painel Santíssimo Sacramento, painel D. Maria, painel S. José e painel S. Teresa, que se concentrou grande parte do trabalho realizado na Basílica da Estrela.

O tratamento integrado da informação sobre as propriedades intrínsecas dos materiais, com a informação coligida sobre o seu comportamento, quer em laboratório (ensaios de envelhecimento), quer no monumento (poluição, chuvas, etc.), conduziu à interpretação petrofísica dos processos de decaimento, i.e., à pesquisa de possíveis relações entre estes processos e algumas propriedades físicas, químicas e texturais dos materiais, que pudessem conduzir a previsões de durabilidade e ao enquadramento do seu comportamento futuro "em obra".

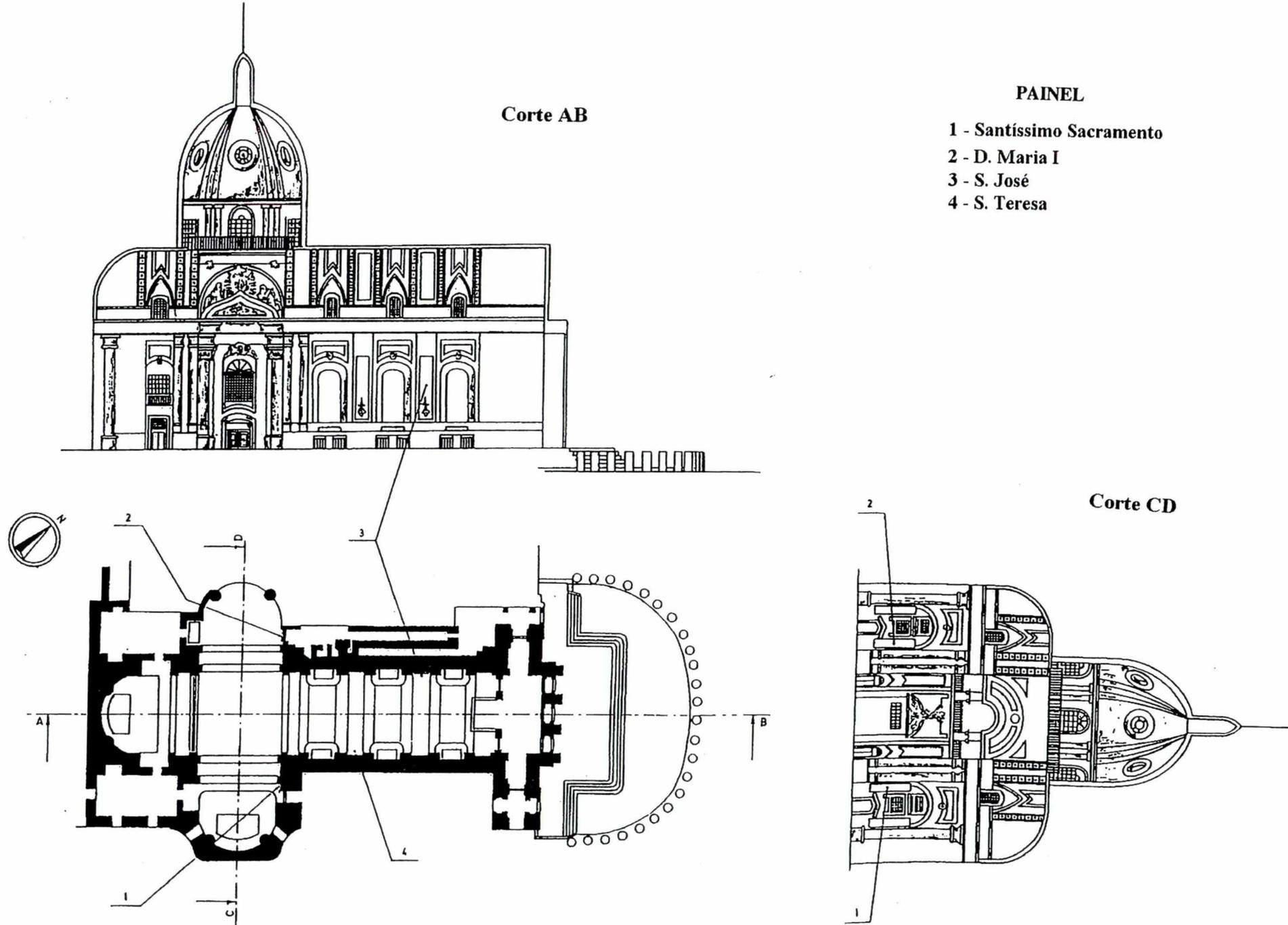


Fig.1 - Localização dos painéis estudados no interior da Basílica da Estrela (Escala: 1/667).



Fig.2 - Aspecto geral dos painéis em Amarelo de Negrais, estudados no interior da Basílica. Ilustra-se, também, o seu comportamento diferenciado face à envolvente microclimática.

II - INTRODUÇÃO

II.1 - A PEDRA, OS MONUMENTOS EM PEDRA, A CONSERVAÇÃO DO PATRIMÓNIO CULTURAL CONSTRUÍDO: um pouco de história

A questão da alteração e alterabilidade dos materiais pétreos naturais do património cultural construído tem merecido nos últimos anos, em Portugal, uma crescente atenção, à semelhança da tendência generalizada em toda a Europa e um pouco por todo o mundo. Isto decorre da progressiva consciencialização da importância e riqueza do vastíssimo património cultural construído e, ainda, da possibilidade de o ver destruir rapidamente depois de ter sido fruído por várias gerações e da perplexidade perante a magnitude do problema que é o de prioritar o que salvar.

Começemos, todavia, pelo princípio, recuemos um pouco no tempo, façamos um pouco de história. A pedra foi um dos primeiros materiais que proporcionou ao Homem um espaço para se abrigar das intempéries. Primeiramente, oferecendo-lhe espaços naturais - grutas - e, mais tarde, a matéria prima para ele próprio construir locais melhor apropriados à sua subsistência, culto de Deus e dos mortos - casas, templos e túmulos.

Na Pré-História, logo no seu alvorecer, começou o Homem a aproveitar enormes blocos de pedra para erigir monumentos e, à medida que inventava processos e ferramentas mais perfeitos para os cortar e lavrar, ia-lhes dando formas cada vez mais regulares, até conseguir definir bem os seus ângulos - cantos -, donde, decorridos muitos séculos, derivou a palavra canteiro com que se passou a designar o operário especializado em lavrar a pedra.

A pedra natural tem tido, pois, uma influência profunda na nossa cultura, quer como material de construção, quer como material para trabalhos de arte. Cidades inteiras, edifícios e esculturas isoladas foram feitas de pedra natural. Todas essas estruturas são testemunhos importantes do nosso desenvolvimento técnico e cultural.

"Até há bem pouco tempo, a pedra foi o material de construção mais largamente ou quase exclusivamente utilizado nas edificações, mormente nos edifícios mais exigentes como são os monumentos. A utilização de materiais artificiais, como o tijolo e o betão, não faz esquecer a nobreza das obras construídas com materiais rochosos naturais - as pedras.

Desde os arenitos que integram algumas das maiores obras construídas no Egipto Antigo, passando pelos mármores da Acrópole, pelos calcários utilizados largamente na

civilização romana até diversos tipos de rochas ígneas, pode dizer-se que é muito vasto o número de tipos petrográficos que podem ser encontrados em obras que hoje fazem parte do património cultural da Humanidade.", acentua Rodrigues (1981).

Encontramos, ainda, no *Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas*, as seguintes referências: "A arte de trabalhar a pedra deixou, no nosso País, bem marcados os traços da sua incessante evolução desde as épocas a que remontam os instrumentos e os monumentos Pré-Históricos que chegaram até nós, ..., atestando sempre a eficiente utilização dessa matéria-prima ao tirar partido das suas naturais qualidades de beleza, durabilidade e fácil conservação.

Em particular, pontes, calçadas e edifícios romanos, castelos dos primeiros tempos da nacionalidade, os mosteiros de Alcobaça, da Batalha e dos Jerónimos, o grandioso convento de Mafra, palácios e outras obras monumentais de diversas épocas, encontram-se intrinsecamente ligadas à nossa História constituindo marcos vivos dos tempos decorridos e exibem, na sua robustez ou na sua sumptuosidade, o rigor das técnicas de trabalho desenvolvidas pelos nossos antepassados.

A grande variedade de tipos de rochas que, de Norte a Sul, abundam em território nacional - mármore, granitos, calcários e brechas, entre outras - faz delas, ainda hoje, a matéria-prima por excelência para diversos trabalhos de Engenharia Civil.

É deste modo que toda uma legião de arquitectos, engenheiros, construtores civis, escultores, decoradores e canteiros dá largas à sua criatividade e acentua a procura de novas soluções técnicas e estéticas prevendo o emprego da pedra, contribuindo, ao mesmo tempo, para o melhor aproveitamento e valorização dos recursos de que o País dispõe."

No entanto, se bem que, para os geólogos, não seja novidade que à escala geológica (cuja unidade de tempo é o milhão de anos) as rochas se alteram, transformando-se noutras e dando origem a solos, não é menos verdade que se prestarmos atenção, verificamos que, à escala da vida humana (a década, o século), se processam alterações significativas de que os monumentos constituem um dos exemplos flagrantíssimos.

A este propósito, Aires-Barros (1990) diz que: "Se a degradação das rochas dos monumentos face à meteorização preocupou já os povos da antiguidade, o problema agravou-se no nosso século com o advento galopante da poluição que se traduz num violento acréscimo da taxa de alteração em relação ao tempo.

A poluição actua como um catalizador que acelera as acções físico-químicas da meteorização."

De facto, exemplos mostram que é notório o aumento da taxa de alteração das pedras utilizadas em obras (monumentos, objectos de arte, etc), após o início da industrialização, conduzindo, em algumas situações, à sua completa destruição (*vide* Fig.3).

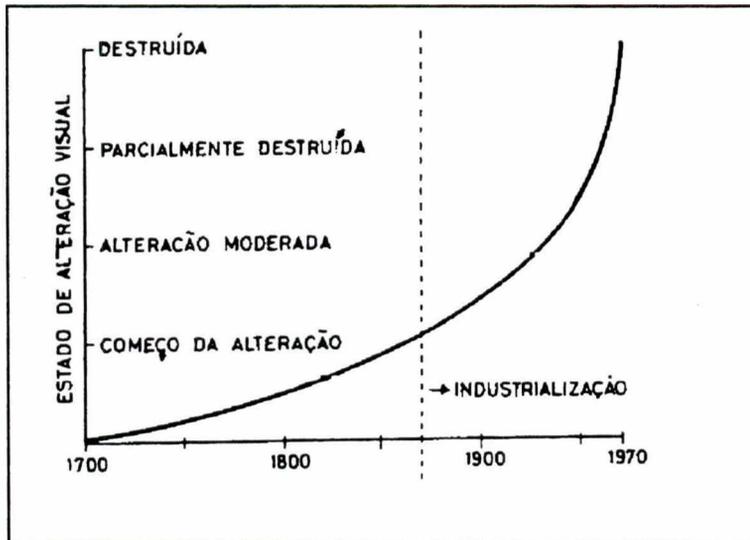


Fig.3 - Taxa de evolução do estado de alteração de uma estátua de arenito (Winkler, E., 1973).

Estes factos têm, pois, dado origem a um considerável incremento do número de iniciativas de natureza e objectivos diversos. Exemplo acabado disto são, pois, neste domínio, alguns dos trabalhos efectuados pelos investigadores do Centro de Petrologia e Geoquímica do IST em que me integro, assim como os projectos, congressos, seminários nacionais ou internacionais em que estes se viram e, ainda, se encontram igualmente envolvidos. Só para citar algumas das iniciativas, sem pretender ser exaustivo e sem prejuízo das que não forem referidas, passo a sublinhar as seguintes:

- * Aires-Barros, L. (1980, 1981). Relatórios internos da actividade do LAMPIST durante o período de 1980-1981 referentes a estudos sobre amostras do Mosteiro da Batalha e Mosteiro de Celas de Coimbra e, ainda, das pedreiras do Reguengo do Fetal e do Lagedo.

- * Aires-Barros et al. (1983). Estudos da alteração de calcários empregues em monumentos de Coimbra. Relatório interno.
- * Aires-Barros et al. (1984, 1985 e 1986). Relatórios internos dos estudos efectuados sobre os fenómenos de alteração ocorrentes, respectivamente, no Portal Axial ou de S. Vicente, no Claustro e no Portal Sul (lateral) do Mosteiro dos Jerónimos, Lisboa.
- * Artigos publicados e comunicações apresentadas em vários congressos internacionais por Aires-Barros et al., nomeadamente:
 - , (1988). Geoquímica e Génese das "Crostras Negras" dos Calcários dos Portais do Mosteiro dos Jerónimos. *Geociências*, nº408, pp. 417-422.
 - , (1989). The decay of limestones caused by saxicolous lichens: the case of Jerónimos Monastery (Lisboa - Portugal). *Proceed. 1st Int. Symp. The conservation of Monuments*, pp. 225-229, Bari.
 - , (1989). Stone Decay: Effects of Weathering and Air Pollution. The Case of Jerónimos Monastery (Lisbon - Portugal). *Proceed. Symp. Science, The Technology and European Cultural Heritage*, pp. 876-880, Bologna, Italy.
 - , (1990). Weathering and air pollution on limestones of Jerónimos Monastery, Lisbon, Portugal. *Men. Not.*, nº109, pp. 117-130.
 - , (1991). Experimental Correlation between alterability indexes obtained by laboratorial ageing tests and by image analysis. *Proceed. Colloque Int. La détérioration des Matériaux de Construction*, pp. 199-208, La Rochelle, France.
 - , (1991). Aplicação do perfilómetro da linhas à caracterização da alteração e alterabilidade de rochas ornamentais carbonatadas. Comunicação ao III^o Congresso Nacional de Geologia, Coimbra.
 - , (1994). Profilometer and Image analysis applications to "in-situ" study of stone decay phenomena. *Proceed. 3rd Int. Symp. The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, pp. 19-24, Venice.

Longe dos primeiros trabalhos e relatórios da década de setenta, de que se destacam, designadamente, a "Nota¹ preliminar sobre a geoquímica do calcário dolomítico empregue na Sé-Velha de Coimbra" e os "Relatórios internos sobre a actividade do LAMPIST, durante o período de 1978-1979, relacionada com estudos e ensaios com resinas sobre amostras de rochas de monumentos nacionais", do exposto parece ficar claro que o grande "boom" de iniciativas neste domínio ocorreu, de facto, nas décadas de oitenta e noventa, constituindo, ainda, referências obrigatórias:

- em 1991, a publicação, por Aires-Barros, da obra "Alteração e Alterabilidade de Rochas", (INIC), 384 pp., Lisboa, em que o autor dedica cerca de 135 páginas ao tema "O decaimento das rochas dos monumentos";
- em 1992, a organização em Lisboa, no LNEC, do "7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone"; e
- , em 1994, a defesa da tese de doutoramento "Descrição, Análise e Modelagem de Alguns Factores de Alteração e Alterabilidade de Rochas Carbonatadas (O Caso do Mosteiro dos Jerónimos)", pelo Eng. António M. A. S. Maurício do IST.

Aires-Barros (1991), no artigo "Os Monumentos e a Doença da Pedra", pergunta: "Porquê conservar? Porquê restaurar?". Nesse mesmo artigo, o Autor responde dizendo: "A resposta mais simples e imediata está em que a cultura não aparece por geração espontânea. Ela desenvolve-se lentamente, geração após geração, explica o que somos, onde estamos, como estamos e ilumina-nos o caminho por onde desejamos prosseguir. Eis porque a herança cultural é importante e deve persistir e ser passada aos vindouros". E continua: "Os monumentos são entidades com características próprias. Modificam-se com a idade, mostram as marcas do tempo e podem mesmo morrer ou seja, deixar de ter valor dada a sua degradação avançada. É esta degradação que temos de evitar a todo o transe. Ganha enorme acuidade a taxa de decaimento dos monumentos, desde as pedras lavradas aos vitrais, couros e papéis, que vem aumentando assustadoramente nos últimos decénios. Urge, pois, preservar e conservar as mensagens e os valores intrínsecos dos monumentos. E são vários os valores que eles nos transmitem."

¹ Com. Serv. Geol. Portugal, t. LXII, pp. 135-160. Lisboa. (Aires-Barros et al., 1977).

O património cultural construído para além do seu valor artístico e histórico intrínseco tem, ainda, um carácter único e insubstituível. Um edifício histórico, contrariamente às edificações correntes que são dimensionadas para um tempo de vida útil da ordem dos cinquenta anos, tem um tempo de vida indeterminado que pode atingir os 5000 anos ou mesmo mais. É corrente reportar a sua escala de tempo ao número de séculos em vez de anos. Esta dimensão temporal alargada dá origem a que a fruição e a conservação desse tipo de edifícios seja atribuída a várias gerações; acresce, pois, que o património dum povo não é propriedade exclusiva das gerações que vivem numa dada época, mas é também pertença das gerações futuras e para elas deve ser preservado tão bem quanto possível. Constituindo o património dum povo uma das suas heranças mais importantes e, simultaneamente, um legado essencial às gerações futuras, as quais julgarão de forma implacável os erros e omissões cometidos no presente, conservar é a palavra de ordem.

As acções de conservação dos edifícios históricos constituindo, possivelmente, actividades tão antigas como a própria construção de edifícios têm, pois, necessidade de recorrer à contribuição de todas as ciências relevantes nessa área, conforme está, aliás, consignado na Carta de Veneza (Henriques, 1991).

II.2 - OBJECTIVOS DO TRABALHO

É, pois, face a este carácter inter e multidisciplinar da conservação, essencial à prespectivação de medidas adequadas e à prossecução de acções correctas e eficazes, que se definem os objectivos que se pretendem alcançar com a realização deste trabalho. Contribuir para:

- * o melhor conhecimento dos materiais pétreos naturais utilizados na edificação da Basílica da Estrela, designadamente através da sua caracterização tecnológica;
- * a averiguação dos fenómenos de alteração actuantes sobre as rochas da Basílica;
- * a correcta avaliação e determinação das causas do seu decaimento, promovendo, se possível, a necessidade do seu controlo e a pesquisa de soluções no sentido de se obviar os efeitos nefastos observados e, ainda, prevenir acontecimentos futuros;

* a possibilidade de, com base na informação coligida ao longo deste trabalho, se constituir uma base sólida para possíveis trabalhos e intervenções que se pretendam efectuar no âmbito de acções de conservação.

II.3 - METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE ALTERAÇÃO DAS ROCHAS DE UM MOUMENTO

Para a concretização desses objectivos, procurou seguir-se a metodologia apresentada no Quadro I, e que foi denominada "Metodologia da conservação de um monumento", por Aires-Barros (1991) e por ele consagrada em muitos outros artigos.

1 - Estudo histórico e arqueológico	Origem e situação dos materiais do monumento.
2 - Estudo arquitectural	Localização e morfologia das degradações. Relações com aspectos arquitecturais peculiares.
3 - Conhecimento da pedra.	Geologia, petrografia, propriedades físicas, mecânicas e químicas.
4 - Estudo das alterações.	Mineralogia e propriedades físico-químicas. As acções biológicas.
5 - Caracterização do microclima.	Temperatura do ar e das paredes, humidade do ar, ponto de orvalho, escorrências nas paredes. Regimes pluvial, eólico e solar.
6 - Simulação e modelagem.	Tratamento de dados. Funções de decaimento.

Quadro I - "Metodologia da conservação de um monumento" (Aires-Barros, 1991).

Importa, todavia, realçar que os trabalhos desenvolvidos com base nesta metodologia, enquadravam-se nas propostas de estudo apresentadas no âmbito do projecto já mencionado e que aqui se recordam: "Propõe-se o estudo *in situ* dos principais fenómenos de decaimento ocorrentes nas rochas da Basílica da Estrela (...) a coadjuvar estas determinações será instalada uma estação de monitorização dos gases da atmosfera envolvente da Basílica da Estrela, caracterizando o microclima da área e o peso dos poluentes aí predominantes (...) paralelamente aos estudos referidos e realizados na Basílica da Estrela, propomo-nos estudar os tipos de "Lioz", "Encarnadão" e "Amarelo de Negrais", nas pedreiras da região de Lisboa-Sintra (aliás onde se localizavam as pedreiras de onde provinham as rochas usadas na construção do monumento) e em laboratório."

II.4 - ORGANIZAÇÃO DA TESE

Foi com base no que ficou exposto que a estrutura deste trabalho se foi definindo. Este encontra-se dividido em 13 capítulos. Para além do preâmbulo e da presente introdução, que constituem respectivamente o primeiro e o segundo capítulos, existem ainda mais 11 capítulos e 6 anexos.

No terceiro capítulo introduzem-se e definem-se os conceitos de alteração e alterabilidade de uma rocha. Abordam-se, ainda, os factores extrínsecos e intrínsecos e os mecanismos de alteração. Finalmente, dá-se ênfase aos processos de decaimento das pedras calcárias em monumentos.

No quarto capítulo "fala-se" um pouco da Basílica da Estrela. Faz-se o seu enquadramento histórico, arquitectónico e geográfico. Apresentam-se, ainda, algumas notas históricas sobre o tipo e a origem dos materiais utilizados na sua edificação. Procura-se situá-los no quadro das pedras ornamentais e de cantaria da área de Lisboa.

No quinto capítulo faz-se a caracterização tecnológica dos principais tipos de pedras naturais utilizadas na edificação da Basílica da Estrela. Esta começa com a definição do seu enquadramento geológico. Aqui apresentam-se os aspectos gerais do Cretácico e do Jurássico da região de Lisboa (envolvendo obviamente, os concelhos de Lisboa, Cascais, Sintra e Loures). Segue-se a caracterização macro e microscópica de amostras coligidas em pedreiras da região de Lisboa. Faz-se, ainda, a sua caracterização química, física e descrevem-se e

comentam-se os ensaios laboratoriais de fadiga térmica. Fecha-se, finalmente, este capítulo com um brevíssimo apontamento sobre a cor das rochas e suas possíveis causas.

No sexto capítulo apontam-se os principais fenómenos de decaimento da Basílica da Estrela. Sublinham-se as principais patologias, quer no exterior, quer no interior do monumento.

No sétimo capítulo apresenta-se o estudo mineroquímico dos produtos de alteração dos painéis interiores, em "Amarelo de Negrais", da Basílica da Estrela. Para além da sua caracterização mineroquímica, faz-se um enquadramento dos tipos de patologias dominantes e da respectiva localização no monumento, face às variáveis exógenas (que envolvem o microclima interior e a execução de "Trabalhos de consolidação e de conservação") e à natureza do substrato. Apontam-se, ainda, os principais mecanismos e agentes atmosféricos a ter em conta na génese dos fenómenos de deterioração dos painéis.

No oitavo capítulo apresentam-se algumas notas sobre alguns trabalhos ditos de "Consolidação e de Conservação" que terão sido levados a cabo na Basílica da Estrela, no período de 1979-1987.

No nono capítulo apresenta-se a caracterização do microclima no interior da Basílica da Estrela. Caracteriza-se a variabilidade espacial dos elementos do microclima à superfície de cada painel. Faz-se, também, a análise comparativa do microclima junto à cada um dos painéis estudados e a caracterização das séries climatológicas de cada elemento de clima medido. Apresentam-se e analisam-se os resultados dos estudos de correlação e regressão linear, da aplicação de testes de aleatoriedade de sequências ("Runs Test for randomness") e, ainda, os cronogramas dos valores médios mensais e médios anuais e os gráficos dos desvios cumulativos.

No décimo capítulo apresentam-se algumas aplicações de técnicas de análise de imagem ao estudo e caracterização das superfícies de alteração dos painéis em "Amarelo de Negrais". Sublinha-se a sua potencial utilidade como técnicas "não-destrutivas" e "contact-free", sobretudo, na abordagem "in situ" deste tipo de fenómeno para grandes superfícies. A perfilometria e a aplicação da análise granulométrica e de covariância de funções de cinzento constituem exemplos concretos.

No décimo primeiro apresentam-se, sob a forma de considerações finais, as ideias principais a reter em cada um dos capítulos deste trabalho. Faz-se a análise integrada de toda a informação coligida, sublinhado-se o contributo que ela empresta à compreensão dos

fenómenos de decaimento observados na Basílica da Estrela. Como resultado, apontam-se quais os principais mecanismos e agentes promotores do decaimento da pedra a ter em consideração no caso da Basílica da Estrela. Neste contexto, analisa-se em pormenor o papel da temperatura e da humidade.

No décimo segundo capítulo apresentam-se as perspectivas para trabalhos futuros a desenvolver ainda neste domínio.

No décimo terceiro faz-se referência à bibliografia que serviu de suporte à realização deste trabalho.

No anexo I procura ilustrar-se, para os elementos de clima medidos, a respectiva estrutura dos dados utilizados no estudo do microclima interior da Basílica da Estrela.

No anexo II apresentam-se os resultados da análise espaço-temporal realizada com base em métodos de correlação e regressão linear. Isto é, encontram-se neste anexo as matrizes das correlações espaço-temporais investigadas.

No anexo III ilustra a estrutura dos dados saídos da análise anterior.

No anexo IV apresentam os resultados da análise comparativa das séries climatológicas obtidas para os diferentes painéis.

No anexo V apresentam os coeficientes de correlação temporal das séries climatológicas dos diferentes elementos do clima, obtidos na caracterização da sua estrutura.

No anexo VI apresentam-se as tabelas usadas na aplicação dos testes de aleatoriedade de sequências às séries climatológicas.

III - CONCEITOS E DEFINIÇÕES

III.1 - ALGUMAS QUESTÕES DE TERMINOLOGIA

A expressão "alteração de uma rocha", em sentido estritamente petrológico, é entendida como sendo a sua *desagregação e decomposição* levadas a cabo por agentes físicos e químicos *naturais*, que transformam essa rocha noutra produto natural, agora em equilíbrio físico-químico com o meio ambiente (Aires-Barros, 1991). A meteorização ou alteração meteórica refere-se, pois, a um estágio de *transformação natural* que dada rocha ostenta, função de agentes ditos meteóricos, isto é das condições físico-químicas que caracterizam a superfície do Globo: pressão e temperaturas relativamente baixas, presença de água, de oxigénio, de dióxido de carbono, etc, promovendo um conjunto de transformações químicas de que se podem destacar a oxidação, a hidratação e a hidrólise (Carvalho, 1979; Aires-Barros, 1991).

A alteração das rochas, usada como sinónimo de meteorização das rochas, é o processo geológico que, iniciando a parte externa do ciclo geoquímico da litosfera, actua sobre os materiais litológicos transformando-os, *in situ*, por acções físicas e/ou químicas noutros produtos. É "um processo de transformação dos minerais das rochas em que a entropia do sistema (a rocha) aumenta com o estabelecimento da desordem sobre a ordem nas fases desse sistema (os minerais) pela destruição das redes cristalinas dos minerais e a movimentação dos seus catiões constituintes que se deslocam para novas posições em estruturas mais abertas." (Aires-Barros, 1991). É o ataque das rochas realizado pelos agentes meteóricos que conduz à sua desagregação² (destruição das ligações físicas) e decomposição³ (desmoronamento das ligações químicas com remoção de elementos químicos) (Aires-Barros, 1990).

Quando se fala nas acções de alteração ou decaimento dos monumentos é, no entanto, necessário contemplar o conjunto de factores sintetizados no diagrama apresentado na Fig.4 (Aires-Barros, 1991). Importa, todavia, não perder de vista que o maior perigo, depois da ameaça humana directa devido ao vandalismo, guerras, incúria e actividades técnicas

²Também denominada alteração mecânica ou física (Carvalho, 1979).

³Também denominada alteração química, sendo, contudo, preferível considerá-la como alteração bioquímica visto que é praticamente impossível concebê-la sem a participação da actividade biológica (Carvalho, 1979).

(restauros, limpezas, etc), vem, sobretudo, da alteração meteórica dos materiais utilizados na construção, hoje incrementada de forma preocupante pela acção catalítica da galopante poluição urbano-industrial (Fitzner, 1990) (vide ainda Fig.3).

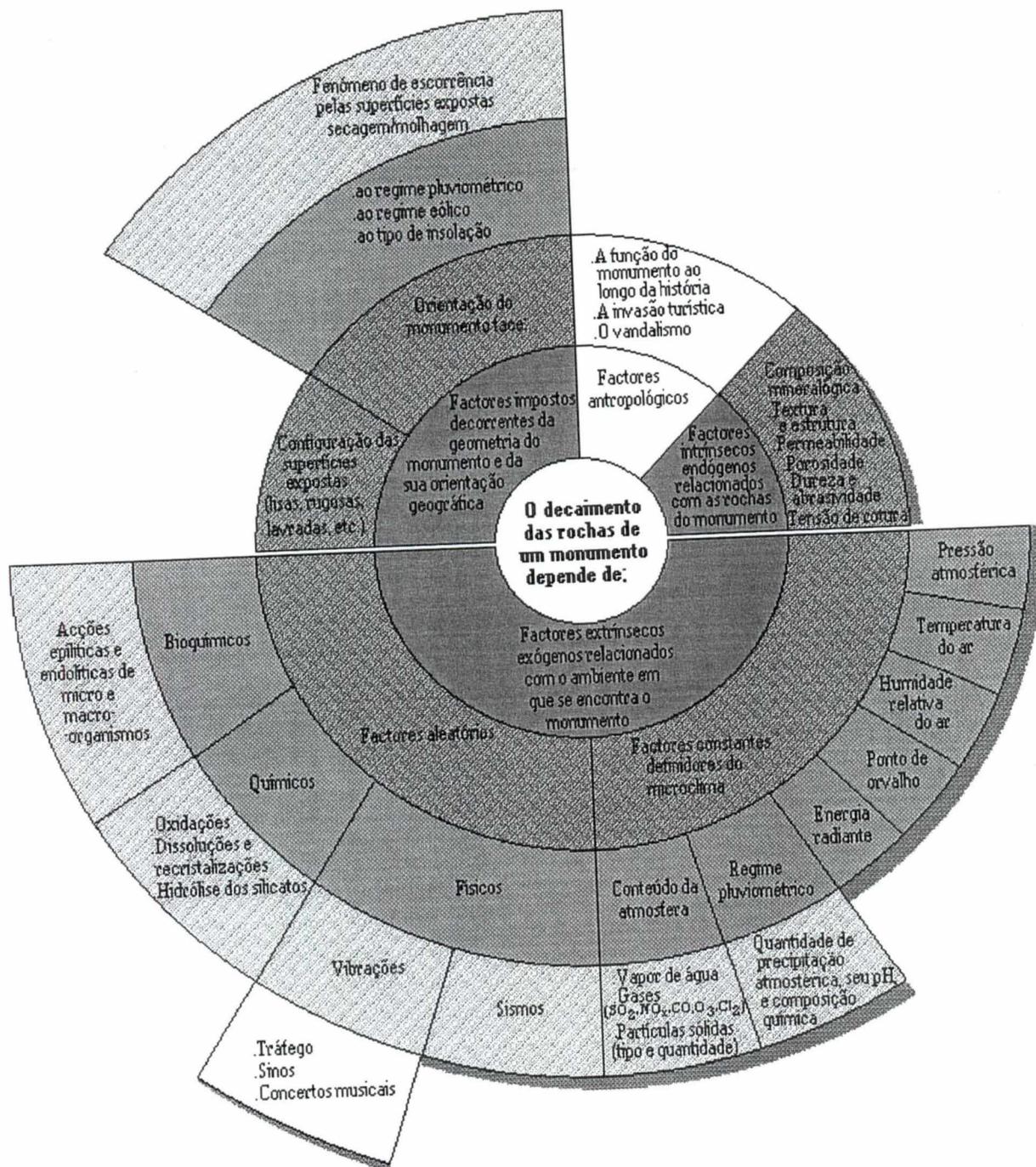


Fig.4 - Factores de alteração ou decaimento das rochas dos monumentos (Aires-Barros, 1991).

III.2 - FACTORES DE ALTERAÇÃO

A resposta de uma determinada rocha à meteorização é função de uma série de factores que lhe são próprios (factores intrínsecos), de que se salientam a constituição mineralógica e a sua textura. Estes factores, que são peculiares às rochas e traduzem as vicissitudes da sua génese e evolução espaço-temporal, dão conta da incidência da composição químico-mineralógica dos seus constituintes - os minerais - bem como do seu arranjo na rocha desenhando vários agregados texturais que se vão repercutir na sua porosidade e permeabilidade (Aires-Barros, 1990).

A definição clássica de meteorização, que podemos encontrar em várias publicações (Carvalho (1979); Miranda (1986), por exemplo), como sendo a resposta dos materiais, que tendo estado em equilíbrio no interior da litosfera, são expostos às condições prevalentes no contacto com a atmosfera, a hidrosfera e a biosfera. Esta definição põe já em consideração outros factores de natureza distinta dos intrínsecos. Deste modo a meteorização dá conta das transformações que sofre um sistema químico em equilíbrio termodinâmico com determinado meio (por exemplo, a rocha ígnea em condições endógenas), que quando trazido às condições exógenas procura atingir novas condições de equilíbrio (Aires-Barros, 1991).

A meteorização é função do meio ambiente, pelo que há que enfatizar e caracterizar os factores definidores da envolvente exógena em que as rochas hoje se encontram ou a que foram sujeitas ao longo dos tempos (Aires-Barros, 1990; Carrol, 1970; Maurício, 1994).

Se à intensidade dos agentes externos e à susceptibilidade das rochas à meteorização (isto é, à sua maior ou menor estabilidade face aos agentes externos) se juntar o tempo durante o qual actuam aqueles agentes, define-se o grau de alteração (Carvalho, 1979).

Com efeito, para o mesmo tipo de rocha, sujeita aos mesmos tipos de agentes, os efeitos da alteração são tanto mais acentuados quanto mais prolongado for o período de actuação daqueles.

Querendo formalizar, diremos que no grau de alteração de uma rocha (**m**), sujeita à acção meteórica, influem os chamados factores intrínsecos à natureza própria das rochas (**i**), as características e intensidade *e*, ainda, o tempo de actuação dos denominados factores extrínsecos (**e**), tal como definiu Aires-Barros (1990, 1991):

$$m = f(i, e) \quad (1)$$

em que:

$$\begin{cases} i = \varphi(n, s) \\ e = \psi(T, HR, p, pH, Eh, l, qm, b, \dots) \end{cases} \quad (2)$$

e, ainda, que:

n - refere-se à composição mineralógica;

s - dá conta da superfície exposta ao ataque (que é função da textura e dos vazios da rocha (fracturação e poros));

T - é a temperatura do ar;

HR - é a humidade relativa do ar;

p - é a pressão atmosférica;

pH - é o potencial de hidrogénio;

Eh - é o potencial redox;

l - refere-se à quantidade de água de percolação sobre e na rocha⁴;

qm - dá conta da acção química resultante⁵;

b - representa as múltiplas acções bióticas promovidas por micro e/ou macro-organismos.

Se fixarmos os factores extrínsecos definidores, sobretudo, do clima⁶ prevalecente numa determinada zona e, ainda, não perdermos de vista a noção de grau de alteração apresentada, a alterabilidade das rochas face a dado ambiente (m_1), isto é, a sua aptidão para alteração em função do tempo, pode ser definida como:

⁴Considerando-se a sua acção física de remoção ou de deposição de material, de abertura de fissuras por cristalização de sais, etc. (Aires-Barros, 1990).

⁵Quer da lixiviação promovida pela hidrólise dos silicatos, quer de fenómenos de oxidação, hidratação, reduções ou simples dissoluções de elementos e compostos químicos (Aires-Barros, 1990).

⁶O clima é definido pelo conjunto de "factos" meteorológicos (temperatura, humidade do ar, a precipitação e pressão atmosférica, ventos, componentes sólidos e gasosos) que caracterizam o estado médio da atmosfera numa dada região. É, portanto, uma generalização do conceito das condições meteorológicas que se verificam, numa dada região, dia a dia (Aires-Barros, 1990 e 1991).

$$m_1 = \frac{\Delta(m)_e}{\Delta t} \quad (3)$$

A alterabilidade de uma rocha é, pois, um conceito dinâmico que avalia a sua capacidade para se alterar, emergindo como a taxa de alteração num dado intervalo de tempo. Esta tem particular aplicação em estudos de fenómenos de alteração no domínio das obras de engenharia (construção de barragens, por exemplo) ou da preservação de um edifício ou monumento⁷. À escala geológica, o fenómeno de alteração das rochas pode considerar-se como independente do "tempo humano", isto é, a influência do tempo nos processos de alteração, enquanto variável geológica, é de difícil avaliação (Miranda, 1986).

III.3 - MECANISMOS DE ALTERAÇÃO

O problema da vulnerabilidade das rochas à meteorização reside principalmente na maior ou menor estabilidade dos seus minerais. Porém, outros factores inerentes às rochas não podem ser minimizados, como é o caso da textura, da porosidade, do grau de fissuração das rochas, e outros.

As rochas sedimentares, neste particular, são menos vulneráveis à meteorização, dado que o seu conteúdo mineralógico detrítico é, já de si, uma fracção residual de certa estabilidade. Por outro lado, os minerais de neoformação são, naturalmente, estáveis nas condições superficiais.

O tipo de alteração sofrido pelas rochas, de uma dada região, pode ser definido pelo conjunto de transformações supergénicas que as afectam e, assim, depende em larga medida das condições morfoclimáticas existentes, com todas as implicações resultantes da intensidade e tipo de ocupação biológica associada. O clima e o relevo determinam e condicionam o tipo e a intensidade da cobertura vegetal, a qual tem também um papel preponderante nos fenómenos de alteração.

⁷Como vimos no capítulo "Introdução" deste trabalho, no âmbito da política de preservação do património cultural construído em pedra, interessa sobretudo considerar a resposta do material pétreo à meteorização em "tempo humano" (a década, o século) e não na unidade de tempo geológico (milhão de anos).

São, pois, vários os mecanismos que têm sido postos em evidência para a actuação da meteorização, de que destacamos como principais (Aires-Barros, 1991 e Miranda, 1986):

Acções físicas {

- * expansão devida a efeitos térmicos (amplitude térmica dia-noite ou sazonal) : fenómenos de termoclastia, crioclastia e gelivação
- * expansão por descompressão
- * expansão por congelação da água retida nos vazios (poros e fissuras)
- * acções mecânicas da água de circulação sub-aérea e dos ventos
- * acções mecânicas devidas à actividade de seres vivos

Acções químicas (da água e do ar) {

- * dissolução
- * oxidação
- * redução
- * oxidação-hidratação
- * hidrólise

Do exposto decorre que a alteração mecânica resulta essencialmente de acções de natureza física, tais como variações de volume produzidas por oscilações térmicas, congelação e descongelação de água contida nos poros das rochas e, ainda, da cristalização de sais dissolvidos na água de impregnação das fissuras e poros das rochas após evaporação (Carvalho, 1979).

Os mecanismos físicos citados provocam a constante fissuração das rochas até estados de desagregação mais ou menos avançados. As rochas perdem, assim, a sua coerência sem modificação das suas composições mineralógicas e químicas.

Este tipo de alteração está confinado a certas zonas que têm em comum acentuada carência de água no estado líquido e, conseqüentemente, muitíssimo pobres de vegetação e, portanto, de reduzidíssima actividade bioquímica. Não obstante poder afirmar-se que, praticamente, não existem zonas de absoluta inércia química e bioquímica, há, no entanto, zonas onde os processos mecânicos prevalecem sobre aqueles.

Contrariamente às zonas em que as variações diurnas da temperatura são pouco significativas e a variação é lenta e gradual, nas zonas em que a amplitude térmica diurna pode atingir valores consideráveis e as variações se processam com grande rapidez, as rochas estalam e fragmentam continuamente. Uma vez que muitas rochas contêm minerais escuros e minerais claros, portanto, com diferentes graus de absorção da energia radiante, estes minerais aquecem e dilatam-se de modo diferente o que conduz a contínua "descolagem" dos grãos da rocha que acaba por se desagregar. Isto é, devido à pequena condutibilidade térmica das rochas, verifica-se o aquecimento da película externa dos materiais rochosos que

contrasta com a temperatura do seio da rocha. Tal facto origina como que a descamação das rochas, tanto mais intensa quanto maiores forem as amplitudes térmicas sofridas. Designa-se por termoclastia a fragmentação pelo calor (Carvalho, 1979).

É sabido que o gelo ocupa maior volume do que a quantidade de água que lhe deu origem. Nesses termos, desde que a temperatura desça abaixo de 0 °C, a água contida nos poros e fissuras das rochas gela, aumenta de volume e produz o estalamento e desagregação da rocha. Este fenómeno é designado por gelivação. A crioclastia consiste na desagregação produzida por variações de volume dos componentes da rocha motivadas por frio intenso.

A alteração bioquímica encerra, fundamentalmente, mecanismos químicos e, sobretudo, bioquímicos, na sequência da actividade própria dos seres vivos (micro e macroorganismos), em especial do mundo vegetal, quer através da sua acção fisiológica, quer por efeito dos seus produtos de decomposição, após a morte. Poderá, mesmo, dizer-se que num ambiente estéril a decomposição das rochas é rara e pouco significativa. O que é comum na natureza é a sobreposição das acções do domínio biológico aos mecanismos físico-químicos do mundo mineral.

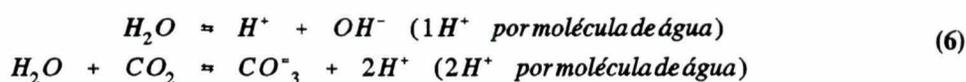
A água no estado líquido é factor essencial a este tipo de alteração. Por um lado, é a água que desencadeia e permite a maioria das reacções químicas; é a água que evacua os produtos alterados; é, ainda, a água que determina o equilíbrio da cobertura vegetal e, conseqüentemente, condiciona os processos bioquímicos a ela ligados.

Entre os principais processos decorrentes no conjunto da alteração bioquímica, têm lugar de relevo a hidrólise, a oxidação e certas reacções químicas realizadas com produtos orgânicos de origem biológica (complexação e formação de quelatos, Schalscha et al., 1967, in Miranda, 1986).

A temperatura tem aqui, também, um papel importante na medida em que, como é sabido, a velocidade das reacções varia no sentido daquela grandeza. Bastará referir que para uma elevação de 10 °C a velocidade com que se processa a hidrólise duplica (Carvalho, 1979).

A decomposição aumenta pois com a humidade, com a temperatura e com o grau de importância do mundo orgânico associado. Estabelece-se, assim, relação entre o clima e a alteração das rochas, para a qual se pode esboçar uma zonalidade que acompanha de perto a zonalidade climática.

Quanto maior for a precipitação atmosférica, maior é a circulação e a renovação da água no seio das rochas, isto é, a drenagem, e mais rápida e profunda será a alteração. Para além disso, a água que penetra nas fendas das rochas ao gelar, devido a abaixamentos de temperatura, actua como uma verdadeira cunha de gelo, que as destrói; outra parte infiltra-se no solo, e ao dissolver e desagregar as partículas das rochas, contribui igualmente para a sua destruição (Casquilho, 1971). O pH do ambiente tem grande influência, pois a acidez acelera a velocidade da hidrólise (Carvalho, 1979). Também a presença de ácidos orgânicos ou de CO₂ aumenta o número de hidrogeniões da água:



Com base em conhecimentos de natureza química, cristalográfica, termodinâmica, entre outros, foi possível definir o grau de susceptibilidade dos minerais das rochas e estabelecer sequências desde os termos mais instáveis aos mais resistentes (séries de Goldich, 1938, in Aires-Barros, 1991).

Vê-se que a estabilidade aumenta da olivina e da plagioclase cálcica para o quartzo, passando pelos respectivos termos intermediários. Vê-se, também, que a estabilidade diminui com o teor de ferro e magnésio; que há maior estabilidade dos feldspatos potássicos relativamente às plagioclases e que, nestas, a estabilidade decresce da albite para a anortite. Entre os minerais acessórios, convém referir a grande estabilidade da turmalina, rútilo e zircão, que por essa razão merecem a designação de ultraestáveis.

Tão flagrante paralelismo entre as séries de Goldich e de Bowen reside, afinal, no facto natural de que tanto a ordem de cristalização dos minerais no magma, como o grau de polimerização evidenciado pela estrutura dos silicatos e a respectiva estabilidade (maior ou menor resistência à destruição) estão condicionados pela energia de formação dos minerais. Estas relações encontram explicações através de conceitos como os de tipo de ligação, potencial iónico, electronegatividade, potencial de ionização, energia de formação, comportamento de iões na água, hidrólise dos silicatos, etc. (Carvalho, 1979; Aires-Barros, 1991).

III.4 - PROCESSOS DE DECAIMENTO DAS PEDRAS CALCÁRIAS EM MONUMENTOS

As pedras calcárias, depois de lavradas e assentes na obra, estão sujeitas, aliás como todas as outras, a processos físicos, químicos e físico-químicos, desencadeados por factores exógenos, tais como, por exemplo, o estado da atmosfera e os seus componentes sólidos, líquidos e gasosos, Aires-Barros (1991).

Os primeiros provocam a desagregação das rochas por acções mecânicas sobre a sua textura-estrutura, não lhes alterando a composição química. Produzem geralmente acções de desgaste nas arestas e cantos e desagregações destes elementos e da restante superfície. De uma maneira geral, quando a pedra é de boa qualidade, isto é, compacta, dura e isenta de defeitos, os estragos produzidos por estes processos só são apreciáveis no decorrer dos séculos (Casquilho, 1971).

Os processos químicos alteram-lhes a composição, originando a sua destruição, através da decomposição química da rocha (Aires-Barros, 1991). Em geral, com origem nos gases e vapores normalmente existentes na atmosfera dos aglomerados urbanos, os processos químicos ao atacarem o carbonato de cálcio provocam estragos, geralmente, mais consideráveis e difíceis de remediar nas zonas industriais, tanto mais que, quase sempre, se combinam com os processos de natureza física (Casquilho, 1971).

Os processos físico-químicos actuam simultaneamente sobre os minerais (decomposição) e sobre a trama textural (desagregação) (Aires-Barros, 1991).

Resumindo, os principais processos de alteração meteórica e respectivas acções podem ser sintetizados como se consigna no Quadro II (Aires-Barros, 1991):

Processo de alteração	Acção de alteração
Processos físicos	
Ciclos de secagem-molhagem Ciclos de gelo-degelo Choques térmicos Crescimento de cristais	Estes processos provocam a desagregação das rochas por acções mecânicas sobre a textura-estrutura.
Processos químicos	
Hidrólise Oxidação e redução Dissolução Quelação Sulfatação, nitrificação	Estes processos provocam a decomposição química dos minerais da rocha.
Processos físico-químicos	
Cristalização de sais Hidratação	Estes processos actuam simultaneamente sobre os minerais (decomposição) e sobre a trama textural (desagregação).

Quadro II - Principais processos de alteração das rochas (Aires-Barros, 1991)

No domínio dos processos físicos, merecem destaque: a acção das areias movimentadas pelo vento; a acção mecânica das águas pluviais; a acção da temperatura, que, em virtude de as pedras possuírem calor específico, condutibilidade e difusão muito baixos e libertarem calor muito lentamente, origina dilatações e contracções nas capas superficiais, provocando fendas por onde se infiltram as águas, especialmente nas regiões onde a um forte calor diurno se segue um brusco arrefecimento nocturno; a acção da água absorvida pelos poros e fissuras das pedras, cuja quantidade varia com os seus coeficientes de saturação e que ao gelar, por aumentar de volume, provoca a destruição das pedras geladiças (fenómenos de

gelo-degelo); e, ainda, a limpeza das pedras por meio de ferramentas, que não só destrói o induto protector que cobre as superfícies, como também constitui um verdadeiro processo de desgaste (Casquilho, 1971).

São também comuns as acções físicas (bioabrasão, desagregação) levadas a cabo pelos organismos que podem viver, desenvolver-se e actuar nas pedras de um monumento e que pertencem a várias categorias, desde bactérias, algas, fungos e líquenes a pequenos arbustos e animais. Não é, por exemplo, despicienda, a acção física (bicadas, unhas, instalações de ninhos) que as aves exercem sobre o lavrado dos monumentos (Aires-Barros, 1991).

No domínio dos processos químicos importa sublinhar:

* A acção destruidora do dióxido de enxofre, existente na atmosfera dos grandes centros industriais, que forma com a água o ácido sulfuroso que ao atacar o carbonato cálcico das pedras calcárias, especialmente as magnesianas, origina o sulfito de cálcio. Este ao combinar com o oxigénio transforma-se em sulfato de cálcio.

O fenómeno de sulfatação é, segundo Aires-Barros (1991), o principal responsável pelos processos de decaimento químico observados nos monumentos construídos em pedra calcária. Este conduz à transformação da calcite (CaCO_3) em gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Dado que o volume molar do gesso ($60.0 \text{ cm}^3/\text{mol}$) é quase duplo do da calcite ($37.7 \text{ cm}^3/\text{mol}$), as crostas de gesso têm tendência a "explodir", expondo novas superfícies de calcite a posteriores deposições gipsíferas. Quanto à solubilidade do gesso, ela é 40 vezes maior do que a da calcite. Assim nas zonas de lavagem, o gesso formado é removido facilmente.

Como consequência dos fenómenos de sulfatação, dissolução e recristalização que se realizam na interface rocha (monumento)- atmosfera, ganha especial relevo a formação das crostas negras. Estas crostas gipsíferas podem "crescer" e capturam partículas sólidas da atmosfera, em especial partículas carbonosas resultantes da queima incompleta de combustíveis, ganhando a cor negra. No interior da camada de gesso, as partículas carbonosas contendo elevado teor de enxofre e de cations metálicos, funcionam como catalizadores, provocando a oxidação do SO_2 (Aires-Barros, 1991).

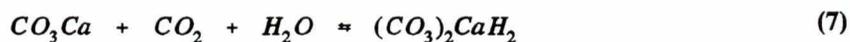
* A acção da humidade sobre materiais impregnados de sais higroscópicos. Função do estado higroscópico da atmosfera ambiente, os ciclos de dissolução-recristalização de alguns sais, carregados pela água que circula e se evapora no interior ou à superfície dos materiais pétreos e que os vai obtendo a partir da rocha hospedeira onde circula ou os

transporta do exterior, produzem modificações de volume por variação do estado de hidratação, com consequências mecânicas nefastas (Aires-Barros, 1991).

Especial atenção merecem as cripto ou sub-florescências que, por corresponderem à recristalização de sais no interior da parte afectada da pedra, desencadeam um processo de destruição impossível de suster e que vai corroendo a pedra mais ou menos profundamente (Casquilho, 1971).

* A acção da água carregada de dióxido de carbono, que pode ser benéfica ou prejudicial, conforme a natureza da pedra. Segundo R. M. Lamartie, quando a água carregada de dióxido de carbono penetra moderadamente e em pequenas quantidades na pedra calcária e dissolve o carbonato de cálcio, deixa, por evaporação, um depósito nos poros da pedra (Casquilho, 1971). Pela repetição deste fenómeno forma-se uma capa impermeável dita «calcin» que constitui um verdadeiro processo de autoconservação. Quando, pelo contrário, a água, depois de penetrar profundamente, dá origem à precipitação de sais na superfície da pedra, a acumulação de novos sais nos poros já destruídos provoca a esfoliação da pedra, conduzindo, deste modo, à sua destruição.

Trata-se, pois, da formação de eflorescências e sub-eflorescências a partir da precipitação do carbonato de cálcio dissolvido nas águas de percolação. Estas carregadas de dióxido de carbono corroem por dissolução as rochas calcárias, transformando-as em bicarbonatos, que precipitam sob a forma de carbonato de cálcio ao cederem facilmente o CO_2 , conforme se exprime na seguinte equação reversível⁸:



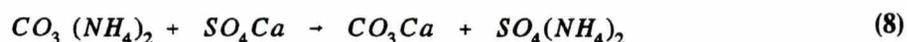
A precipitação do CaCO_3 pode ser desencadeada por mecanismos físico-químicos e/ou biológicos (Jung, 1969). O carbonato de cálcio dissolvido nas águas precipita se a concentração do CO_2 baixar. No que respeita aos mecanismos físico-químicos, isto pode acontecer por várias razões que aqui se recordam:

⁸O sentido da reacção desloca-se da esquerda para a direita, quando o teor em CO_2 aumenta, e da direita para a esquerda, quando o teor decresce (Jung, 1969).

- ** aumento de temperatura;
- ** diminuição da pressão (menos frequente, mas observa-se quando águas de profundidade ascendem e precipitam o CaCO_3 quando atingem a superfície);
- ** agitação da água (a agitação provoca a libertação do CO_2 , conduzindo à formação de CaCO_3 em zonas de grande agitação).

Quanto aos mecanismos biológicos, estes envolvem a actividade de organismos (animais ou vegetais) que são responsáveis pela precipitação directa ou indirecta do CaCO_3 . Diz-se directa quando houve fixação do carbonato de cálcio nos tecidos dos seres vivos. A precipitação diz-se indirecta quando envolveu o consumo do CO_2 . É, por exemplo, o caso das algas que fixando o dióxido de carbono dissolvido na água, através da fotossíntese, provocam a precipitação do carbonato de cálcio.

Podem, ainda, formar-se eflorescências de carbonato de cálcio devido a reacção entre produtos amoniacais, resultantes da decomposição de matéria orgânica em meios pobres em oxigénio, com os sais de cálcio, conforme a reacção seguinte (Jung, 1969; Casquilho, 1971):



* A acção dos agentes químico-biológicos que transformam o carbonato de cálcio das pedras calcárias em sais que, por serem solúveis, originam um processo progressivo de destruição, muitas vezes impossível de deter (Casquilho, 1971).

São inúmeras as acções biológicas, quer químicas, quer físicas, promovidas por microorganismos como diversos tipos de bactérias, por algas, fungos e líquenes, musgos e mesmo arbustos. Quer à superfície dos materiais pétreos, quer no seu seio, estes organismos têm, fundamentalmente, acções químicas directas (biocorrosão) ou funcionam como catalizadores de reacções químicas como as de hidrólise, sulfatação, etc. (Aires-Barros, 1991).

* A acção da humidade sobre o ferro não protegido que dá origem ao óxido de ferro (ferrugem) que pode manchar de vermelho escuro as pedras envolventes. No caso do ferro se encontrar embutido nas pedras, a sua oxidação ao conduzir ao aumento de volume pode levar à fracturação destas.

IV - BASÍLICA DA ESTRELA

IV.1 - ENQUADRAMENTO HISTÓRICO, ARQUITECTÓNICO E GEOGRÁFICO

A Real Basílica da Estrela (Fig.5), de estilo que se pode designar neo-clássico, não obstante alguns elementos barrocos, é o monumento mais notável do século XVIII da cidade de Lisboa. É considerado o mais importante monumento religioso levantado em Lisboa, depois do Terramoto de 1755, e, com o seu imponente zimbório, que se eleva sobre o casario circundante, é, sem dúvida, um dos edifícios que mais influencia a paisagem urbana da parte ocidental da cidade (Moita, 1988). São, ainda, várias as citações que podemos encontrar, por exemplo, em Vasconcelos (1989), que reforçam esta ideia de notabilidade de que se investe a Basílica da Estrela. Sublinhamos, a título de exemplo, apenas as seguintes: "(...) começaria a surgir, (...), o convento e igreja do Santíssimo Coração de Jesus - ou «Covento Novo», como então lhe chamavam -, o primeiro templo do mundo consagrado àquela piedosa invocação (Verbo, vol. V, p. 1699) e, «na sua época e no seu gosto, a última grande igreja da Cristandade» (...); e, ainda, o primeiro elogio e também o mais caloroso e o mais ingénio que, segundo Vasconcelos (1989), tinha sido feito por escrito à Basílica da Estrela pelo padre Manuel Pereira Cidade⁹: " (...) «sendo portanto esta obra hoje a admiração do Mundo, por se vêr aqui um Templo, que pela vastidão, e primor da sua Architectura poucos se conhecem pela Europa, que se pössão com elle comparar» (op. cit., p. 164)".

⁹Capelão fidalgo da mesma Basílica que escreveu, em 1790, as "Memórias da Basílica de Estrêla", publicadas e prefaciadas por António Baião. Imprensa da Universidade, Coimbra 1926 (Vasconcelos, 1989).



Fig.5 - Fachada da Basílica do Coração de Jesus com a estatuária de Machado de Castro e dos seus discípulos.

Foi mandada construir pela rainha¹⁰ D. Maria I e por ela dedicada ao SS.^{mo} Coração de Jesus em cumprimento de um voto, feito aos 6 de Junho de 1760: " ...Que, se desse favorável despacho ás suas fervorosas supplicas, concedendo sucessão a este seu Reino, lhe fundaria em honra sua huma Igreja e Convento para Religiosas reformadas debaixo da Regra de Santa Tereza..." (Ayres de Carvalho, 1979).

¹⁰D. Maria I, neta de D. João V, Rei de Portugal e, também, de Isabel Farnesio e de Filipe V (espanhóis), também conhecida como Maria Francisca e, ainda, por princesa do Brasil, nasceu em 17 de Dezembro de 1734, do matrimónio de D. Mariana Vitória (espanhola) e D. José. Sobrinha de D. Pedro, vem a ser sua mulher aos 6 de Junho de 1760 e coroada Rainha em 1777, com a morte do rei D. José.

"A esta obra que seria magnífica e quase sem par desde que o Magnânimo erigiu o grandioso Convento e Basílica de Mafra dedicada aos pobres franciscanos, ficaria para sempre ligado o nome do confessor da rainha Fr. Inácio de São Caetano, então já Arcebispo de Tessalónica e que há quase vinte anos exercia a sua missão espiritual.", ainda segundo Ayres de Carvalho (1979).

Aos 2 de Agosto de 1761 nasce o príncipe D. José e "Aproximava-se o momento da rainha cumprir com fé e entusiasmo a promessa feita ao SANTÍSSIMO CORAÇÃO DE JESUS, de fundar um convento e uma igreja dedicada às religiosas da Ordem de Carmelitas Descalças.". Com a princesa do Brasil já rainha, tem lugar, em 1779, o "(...) lançamento da primeira pedra fundamental da Basílica, aos 24 de Outubro, (...)", em terras do Infantado, no Casal denominado de Estrela (Ayres de Carvalho, 1979; Pereira, 1992), situado na parte ocidental da cidade de Lisboa (Fig.6). A este propósito sublinha Norberto de Araújo (1993): "Esta Basílica chama-se «da Estrêla» por efeito da sua localização: da Estrêla, como vimos, era o pequeno Convento beneditino, hoje Hospital Militar, e que lhe ficava quási fronteiro."

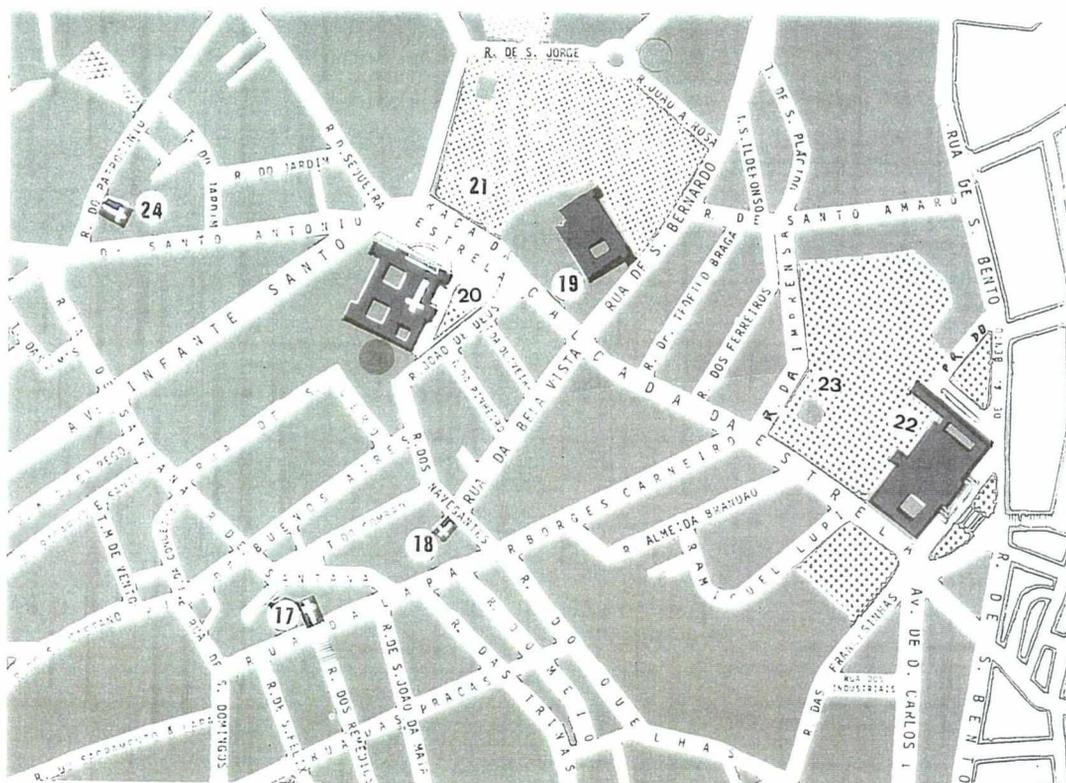


Fig.6 - Localização da Basílica da Estrela na Cidade de Lisboa (nº 20, no mapa).

No que respeita à origem dos materiais importa sublinhar, citando ainda Vasconcelos (1989), que "(...), muito se deve louvar o facto de, tirante os retábulos de Batoni, tudo ser português: desde os arquitectos aos materiais empregados; desde a mão-de-obra ao trabalho artístico, às alfaias, ao mobiliário; e também o órgão, os sinos, o relógio."

A sua construção, pelas mãos dos arquitectos Mateus Vicente e Reinaldo Manuel, ambos da escola de Mafra, durou onze anos, tendo decorrido entre 1779 e 1790, embora as cerimónias da sua solene sagração tivessem decorrido entre 15 e 19 de Novembro do ano de 1789 (Vasconcelos, 1989).

A igreja é coberta por um terraço que pode ser alcançado depois de subidos 114 degraus: "(...) aqui já o panorama é de certo modo compensador da estafadeira.", diz Noberto de Araújo (1993) numa das suas *Peregrinações em Lisboa*. Sobre o cruzeiro levanta-se o majestoso zimbório, coroado no alto por um lanternim com varanda a toda a volta, só alcançado por uma escada com 232 degraus cavados na espessura da parede, e donde se disfruta uma vista magnífica: "Panorama magnífico é êste que daqui se disfruta, em certos aspectos superior ao do Castelo de Jorge: êle maravilha pela amplidão, distribuição de luz, que, conforme o tom das superfícies nas quais incide, varia pela diversidade dos quadros, das perspectivas, das manchas urbanas, (...), do espelho do Tejo, (...)", citando, ainda, o mesmo autor. Sobre o lanternim ergue-se a esfera, encimada por uma cruz de ferro.

Classificada como monumento nacional, por Decreto de lei de 16-6-1910, a Basílica da Estrela tem mantido, desde a sua inauguração em 24 de Outubro de 1789, inalterável o seu traçado inicial, funcionando nela, deste 1886, a sede paroquial da Lapa, transferida da Igreja de Nossa Senhora da Lapa (Moita, 1988).

Segundo Vasconcelos (1989), "Não é menos de elogiar que, entre os monumentos históricos de Lisboa, seja a Estrela dos poucos que ficaram completamente acabados - o que não acontece aos Jerónimos, à bela igreja de S. Vicente-de-Fora, à de St.º António à Sé, ao palácio da Ajuda e talvez outros, para já não falar de St.ª Engrácia."

A seu lado mandara, entretanto, a rainha edificar um Convento para as religiosas Carmelitas Descalças, actualmente ocupado por dependências do Estado, que "(...) já estava em grande adiantamento.", aquando do lançamento da primeira pedra fundamental da Basílica.

IV.2 - OS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO (As rochas calcárias usadas na sua edificação)

Recordando, uma vez mais, Vasconcelos (1989), importa sublinhar que: "Outras das grandes rubricas, (...), é a de *materiaes* sem qualquer especificação. A alguns deles reservaram, porém, lançamento à parte. É o caso da pedra, a que chamam *pedraria*, (...). Sobre a qualidade e procedência deste material, escreve o p.^o Cidade: «ao Mestre canteiro Cypriano Francisco encarregou (Reinaldo Manuel dos Santos) a direcção dos dois Telheiros, e o mandar vir para elles toda a pedraria competente; isto é a pedra branca chamada liós, do Lugar de Peropinheiro; a azul de Cintra; a vermelha dos Negrais; a amarella chamada Sallema de Loisa; e a preta que se acha nas molduras dos Retabulos da Bazilica, de Cascães» (*Memórias*, p.163). Tudo pedra nacional como, de resto, praticamente todos os materiais empregados no monumento - o que, além de patriótico, muito contribuiu para lhe embaratecer o custo. No mapa, apenas em dois lançamentos se nomeia a qualidade da pedra: num, a lioz; no outro, a salema."

A única referência à utilização de pedra não nacional deve-se a Irisalva Moita (1988): "Sobre a porta principal, ao nível do 1º andar, sobressai um belo e aparatoso baixo-relevo que representa *O Santíssimo Coração de Jesus assistido por anjos e serafins*, atribuído a Machado de Castro que, ainda com a colaboração de outros, o esculpiu em mármore de Carrara."

Fica, todavia, vincada a ideia de que foi essencialmente utilizada pedra da região de Lisboa na edificação da Basílica da Estrela. Na área de Lisboa assistiu-se ao uso das pedras regionais desde a época romana (*vide* Teatro Romano, ao Caldas, construído no século I da nossa era).

Desde o final do séc. XIX, com os trabalhos de Choffat (1885) e Pereira de Sousa (1898), que são conhecidos os tipos de pedras ornamentais e de cantaria da área de Lisboa. Num trabalho sobre os calcários ornamentais da área de Lisboa, Miranda et al. (1991) destacam os seguintes (Fig.7):

- * Calcário molássico do Casal Vistoso (Miocénico)
- * Banco Real (Miocénico)
- * Lioz e Vidraço (Cretácico)
- * Busano, Apinhado e Abancado (Cretácico)

- * Azulino de Cascais (Cretácico)
- * Negro de Mem Martins (Jurássico)
- * Azul de Sintra (Jurássico)

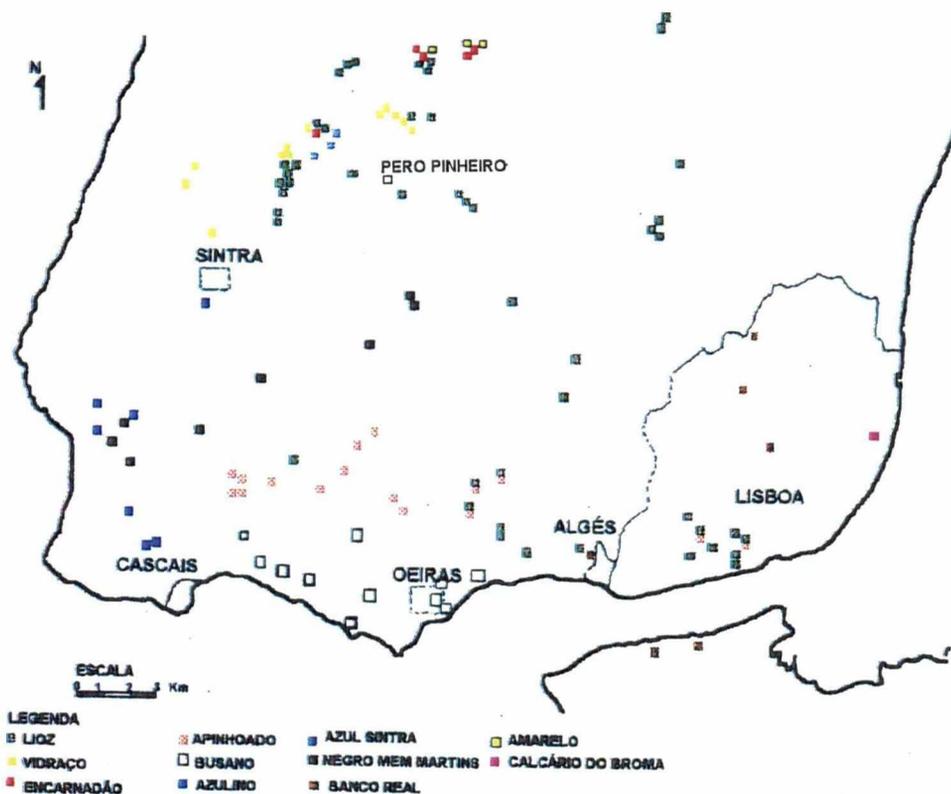


Fig.7 - Ocorrências e localização das cortas de calcários ornamentais na zona de Lisboa. (Miranda et al., 1991).

A estes tipos litológicos acrescentaria, ainda com interesse particular para a Basílica da Estrela, os «marmores rosas» do Cretácico definidos por Pereira de Sousa (1898).

As rochas calcárias usadas na edificação da Basílica da Estrela são sobretudo de idade jurássico-cretácica. Relativamente às formações jurássico-cretácicas, na região abrangida pela

«Carta Geológica dos Arredores de Lisboa»¹¹ existiram explorações de calcários em níveis que datam, segundo Zbyszewski (1955, 1961, 1963, 1964) e Ramalho et al. (1981 e 1993), do Cenomaniano superior¹² (C³_c) ao Oxfordiano superior (J³_b).

Do Cretácico sublinhem-se, todavia, o «Vidraço», o «Lioz» e os «marmores rosas», obtidos da camada de calcário de rudistas que, segundo Pereira de Sousa (1898), "A quasi totalidade (...) é (...), constituída por moldes de rudistas..." e "... é geralmente, crystallina, translúcida, branca ou rosada, ...".

O «Vidraço» é um calcário cristalino, branco amarelado, da parte superior do calcário de rudistas, menos fossilífero, mais compacto, mais duro, sem brilho e com fractura esquirolosa, fonolítico quando reduzido a placas delgadas, muito vidracento como dizem os canteiros, daí o nome. Às vezes, é susceptível de nele se talharem arestas vivas. Podem distinguir-se três qualidades de «Vidraço» (que nem sempre se reconhecem nas diferentes pedreiras abertas):

- * «Vidraço fino»: calcário branco levemente amarelado, muito empregue na ornamentação arquitectural;
- * «Vidraço azulado»: calcário levemente arroxado, mais duro que o vidraço fino e empregue em cantaria grosseira;
- * «Vidraço ordinário»: calcário mais grosseiro que o vidraço azulado, mas com as mesmas aplicações.

¹¹Área abrangida pelas folhas geológicas de Lisboa (4), Cascais (3), Sintra (1) e Loures (2).

¹²Sublinhe-se no entanto, na área de Lisboa, a exploração de pedreiras (em Campolide, Serra de Monsanto, Vale de Alcântara, Rio Seco e Belém) abertas, apenas, nos calcários cretácicos do Cenomaniano e Turoniano (Zbyszewski, 1963). A este propósito, dizia Pereira de Sousa (1898) que: "Os calcareos do Cretacico que são explorados em Lisboa pertencem aos dois grandes horisontes geologicos: *Cretacico superior e Cretacico medio*. (...)" e, ainda, que do «Cretacico medio ou Bellasiano»: "Só a parte superior do *Bellasiano superior* é que tem sido explorada em Lisboa (...)". Relativamente ao «concelho de Cascaes», diz, ainda, este autor que: "São, porém, os calcareos do Cretacico medio que constituem a maior exploração de rochas d'esta região (...)", por exemplo, nas pedreiras "do Morganhall, da Abobada, Mattos Cheirinhos, Polima, Tires, S. Domingos de Rana, etc. (...) da «folianas» ou da Folia, da Busana e algumas da Parede, do Mortal, de Manique, etc.". Quanto ao «concelho de Cintra», acrescenta: "São os calcareos de rudistas que constituem, principalmente, a riqueza em pedreiras do concelho de Cintra e são d'estas camadas que se extrahem a maior quantidade de marmores e cantarias d'esta região", pelo que "E' provavel que fossem as pedreiras de Pero Pinheiro, pela grande quantidade de pedra que n'ellas se reconhece ter sido antigamente extrahida, as que primeiro foram mais conhecidas e exploradas, e, por isso, ficou-se chamando *cantaria de Pero Pinheiro* a toda a d'aquella região, comprehendendo Morlenas, Lameiras, Fervença, Penedo da Colhoa, Maceira, Pedra Furada, etc.".

O «Lioz» é um calcário do «banco real» de rudistas, fossilífero, menos quebradiço que o «Vidraço», de grão mais grosseiro e mais adequado para ser talhado e polido, aparecendo, nas pedreiras, por baixo do «Vidraço». Em Cascais, por exemplo, os cabouqueiros distinguem duas espécies de «Lioz»:

- * o «Lioz mole»: calcário branco cendrado, sacaróide;
- * o «Lioz duro»: calcário mais vidrarento e algumas vezes manchado de vermelho e roxo (Pedreira do Murganhal, por exemplo).

O «Lioz» típico aparece definido, segundo Martins (1984 e 1991), como o «lioz» "...de cor clara, creme, ceroso, por vezes levemente amarelado ou rosado, com abundantes e belos fósseis de rudistas (assumindo desenhos caprichosos, de belo efeito decorativo), com raros estilolitos, cerrados, pouco quebradiço, próprio para ser trabalhado e polido ...". Este, ainda segundo esse mesmo autor, sobrepõe-se "... ao Lioz Azulino e ao Lioz Almiscado, diferindo estes daquele essencialmente pela coloração acinzentada, ligeiramente rosada nos estilolitos (sempre cerrados), no primeiro caso, e encarniçada e amarelada no segundo...", que constituem outras variedades de reconhecida projecção económica.

«Mármore» rosas: denominação genérica que compreende as variedades rosas do calcário com rudistas, assim designadas pelos canteiros: «Barriga de Freira», «Almiscado», «Lioz Almiscado ou Almiscado», «Abancado», «Encarnadão» e «Bastardo ou Bastardão»:

- * «Barriga de Freira»: «mármore» rosa maculoso de mais bonito aspecto, cristalino, com veios brancos ou amarelos e muito utilizado em altares, mesas e revestimentos luxuosos;
- * «Almiscado ou Almiscado»: «mármore» vermelho com manchas brancas ou amarelas; apresenta manchas maiores ou menores, sendo, às vezes, de um vermelho muito unido, como o da Pedra Furada;
- * «Lioz Almiscado ou Almiscado»: «mármore» que estabelece pela sua cor a transição entre o «mármore» «lioz branco» e o «mármore» «almiscado»; é branco, com algumas manchas ou veios rosados, pouco empregado polido;
- * «Abancado»: «mármore» rosa mais grosseiro que os antecedentes, semelhante o «almiscado», mas com manchas ou veios maiores, apresentando algumas vezes muitos «lizins», e assim chamado por se

apresentar em bancos de pequena espessura, variando entre 0^m,15 e 0^m,40;

- * «*Encarnadão*»: «mármore» «abancado», assim designado por apresentar uma cor vermelho arroxeada com manchas branco-amareladas e tendo as mesmas aplicações que aquele;
- * «*Bastardo ou Bastardão*»: embora, às vezes, um pouco acinzentado, é, geralmente, branco com manchas vermelhas concrecionadas ou o inverso.

Do Jurássico merecem destaque os «mármore» cristalino e compacto de Sintra. O «*Mármore*» «*Azul de Sintra*» é um calcário cristalino azul-acinzentado, apresentando diferentes tonalidades, desde a coloração quase branca até a cor negra. Os restos orgânicos que contêm na sua massa dão-lhe a sua diferente coloração e tornam-no fétido, sendo também chamado espato-fétido. Umaz vezes apresenta um fundo branco-acinzentado, no qual se desenham grandes veios azulados que dão ao conjunto um todo azulado mais ou menos escuro donde lhe vem o nome; outras vezes é de um cinzento azulado mais ou menos claro, uniformemente distribuído. Como principal defeito tem o facto de ser muito rijo e de grão muito grosseiro. Podem distinguir-se neste «mármore» as seguintes variedades:

- * *Azul raiado*
- * *Azul escuro*
- * *Azul claro*
- * *Azul acinzentado*

A exploração destes mármore «azues de Sintra» foi feita em maior escala em S. Pedro de Sintra.

O «*Mármore*» compacto ou «mármore» «*preto de Mem Martins*», toma bastante brilho quando polido, raras vezes é homogéneo, e apresenta uns veios amarelos ou brancos que diminuem o seu valor e o distinguem do mármore preto da Bélgica muito empregue no nosso país. Polido dá bom «mármore». Como principais defeitos apontam-se os veios brancos ou amarelos e o facto de se tornar alourado quando exposto ao sol. Encontra-se, também, em vários pontos da região de Sintra (Malveira, Penha Longa, Tapada, etc.).

No quadro das rochas ornamentais calcárias portuguesas, os calcários utilizados na edificação da Basílica da Estrela são sobretudo calcários microcristalinos do Cretácico superior (Turoniano-Cenomaniano). Como exceções mais importantes, temos o Azul de Sintra (calcário cristalino do Jurássico superior), o Negro de Mem Martins (calcário sedimentar, do Jurássico superior) e, ainda, outras variedades não pertencentes aos calcários de rudistas (como por exemplo, o «Bastardo» e outras variedades margosas) utilizadas na estrutura do edifício.

V - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS PRINCIPAIS TIPOS DE PEDRAS NATURAIS UTILIZADAS NA EDIFICAÇÃO DA BASÍLICA DA ESTRELA

V.1 - INTRODUÇÃO

A qualidade de uma rocha é função, quer da composição química e mineralógica, quer da respectiva estrutura e textura. Os principais factores de qualidade dos calcários são: a pureza, a cor, a finura do grão, a uniformidade da textura, a presença de fósseis, de estilólitos de carga, de minerais de dissolução, de poros, a facilidade de serem trabalhados, a capacidade e facilidade de tomarem e conservarem polimento e a durabilidade (Martins, 1991). A durabilidade de uma rocha depende da composição química e mineralógica e da permeabilidade à água e a outros fluidos.

Uma rocha ornamental fica bem definida pela sua cor, textura, composição mineralógica, pelos valores dos seus índices físicos (em particular, massa volúmica aparente e grau de absorção de água) e pela sua resistência mecânica à compressão (Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas, 1983).

A caracterização tecnológica dos materiais pétreos utilizados na edificação da Basílica da Estrela incidiu essencialmente sobre elementos de índole geológica e litológica, deixando de fora aspectos que interessam, sobretudo, directamente à exploração (como, por exemplo, estudos geológicos e estruturais das pedreiras, i.e., estudos dos principais sistemas de fracturação, dimensão média dos blocos extraídos, aspecto ornamental mais favorável e utilização mais comum) e que foram tratados e estudados por Figueiredo, P. (1997).

A descrição geológica é geral e breve. A caracterização litológica incidiu especialmente, quer sobre os aspectos macroscópicos da rocha tais como a estrutura, cor e possíveis defeitos que afectem o seu aspecto geral (nomeadamente a presença de heterogeneidades diversas como, por exemplo, estilólitos, "fios"¹³, etc.), quer ainda sobre estudos micropetrográficos, químicos e das propriedades físico-mecânicas.

Ao microscópio polarizante estudaram-se, quer lâminas delgadas talhadas segundo as

¹³Designação utilizada pelos canteiros para vénulas de calcite.

rocha (forma, tamanho, distribuição e arranjo espacial dos grãos), a composição mineralógica (minerais essenciais e acessórios) e fizeram-se, ainda, observações de índole microestrutural.

Este estudo possibilitou a detecção de causas penalizadoras (defeitos microestruturais e presença de minerais facilmente alteráveis, por exemplo) da qualidade dos materiais e contribui para a interpretação do comportamento tecnológico de cada um dos tipos litológicos estudados.

As análises químicas foram também importante elemento de caracterização. Referem-se os resultados do doseamento dos elementos maiores e menores constituintes das rochas estudadas obtidos com recurso a várias técnicas analíticas.

Para cada tipo de rocha apresentam-se fotomicrografias onde se podem reconhecer os vários aspectos texturais acima mencionados, bem como a composição mineralógica resultante de determinações efectuadas por microscopia e complementadas com uma estimativa semi-quantitativa por difracção de raios-X.

Para a caracterização físico estrutural das rochas estudadas realizaram-se, quer ensaios físico-mecânicos (resistência mecânica à compressão uniaxial, capilaridade, etc.), quer ensaios de envelhecimento laboratorial acelerado.

A realização de ensaios de envelhecimento laboratorial acelerado revestem-se de grande interesse para o estudo da alterabilidade dos materiais por permitirem simular e controlar as variáveis exógenas de molde a ser possível recriar diversos tipos de ambientes. Permitem, através do estudo do comportamento geoquímico dos elementos constituintes dos materiais e da determinação de algumas propriedades físicas (perda de peso, por exemplo), o cálculo de índices de alterabilidade e o estudo do comportamento das amostras face ao ambiente, o que se reveste de grande interesse na caracterização tecnológica dos materiais, dado que possibilita a classificação das rochas estudadas quanto à sua resistência à alteração meteórica. Os ensaios de envelhecimento laboratorial acelerado consistiram em ensaios de fadiga térmica com ciclos de secagem-molhagem.

Os estudos foram realizados sobre um conjunto de amostras representativo das variedades mais importantes empregues na Basílica da Estrela. Estudaram-se, assim, dez variedades dos calcários ornamentais da região de Lisboa amostradas, quer em pedreiras produtoras de bloco actualmente em actividade, quer em pedreiras já desactivadas mas de onde é provável terem também sido exploradas no passado.

A informação técnica obtida a partir do estudo da variabilidade dos valores das propriedades determinadas, constituiu apoio directo à interpretação dos fenómenos de decaimento observados "in situ" e nos ensaios de laboratório. Isto é, o comportamento singular de determinados litotipos relativamente a alguns ensaios tecnológicos, pode, em grande parte, ser explicado pela variabilidade associada a características intrinsecamente correlacionadas com a estrutura e textura da rocha e, ainda, com a sua composição minero-química e respectivas propriedades físicas, que no seu conjunto determinam a durabilidade da rocha e condicionam fortemente a sua aptidão para uma dada aplicação.

Todavia, a análise do comportamento em obra das rochas estudadas exigiu que, para além de se ter em conta as naturais diferenças existentes entre as rochas e que decorrem da sua génese e das características particulares da sua jazida, se não perdesse de vista o seu enquadramento no conjunto da obra ou monumento (i.e., por exemplo, a sua associação estreita a determinado tipo de estrutura arquitectural, ou a sua justaposição a outros litotipos muito diferenciados), o que confere à rocha condições muito particulares de comportamento "in situ".

V.2 - ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A geologia do distrito de Lisboa, região onde se localizam as pedreiras de rocha calcária citadas neste trabalho, é razoavelmente bem conhecida através de vários trabalhos e das cartas geológicas editadas pelos Serviços Geológicos de Portugal, nomeadamente das folhas nºs 1 (Sintra), 2 (Loures), 3 (Cascais) e 4 (Lisboa), da «Carta Geológica dos Arredores de Lisboa», e 34-A (Sintra) e 34-C (Cascais), da «Carta Geológica de Portugal», na escala de 1:50 000.

As descrições que em seguida são apresentadas são baseadas, essencialmente, nos trabalhos publicados e nas notícias explicativas das referidas cartas geológicas.

"O districto de Lisboa, constituido por terrenos jurassicos, cretacicos e terciarios, é riquissimo em rochas calcareas. (...), e n'elle se encontra os bellos marmores brancos, amarellados ou rosados do Cretacico superior e cinzentos azulados do Cretacico medio, e os marmores negros do Jurassico de Cintra (...). Lisboa, collocada no centro d'este districto,

é das poucas cidades do mundo que possui, quasi por assim dizer na sua propria area, materiaes de tão boa qualidade e os mais indispensaveis para as suas contrucções. (...). O eixo da abobada, em que se acha principalmente edificada a cidade de Lisboa, tem a direcção OSO a ENE (1) e não é horisontal mas sim mais elevado para oeste, de modo que as camadas que affloram d'este lado são mais antigas e principalmente cretácicas, e as para este são mais modernas e terciarias. D'aqui resulta que na parte occidental de Lisboa é mais explorado o Cretacico e na oriental o Terciario. (...). Teem sido, comtudo, mais exploradas por serem de melhor qualidade e mais facil exploração as do concelho de Cintra, aonde se encontram riquissimos marmores. (...), as grandes pedreiras antigas, que existem em Pero Pinheiro, Morlenas e outros pontos, mostram-nos quanto esta pedra foi apreciada pelos antigos. E' provavel que fossem as pedreiras de Pero Pinheiro, pela grande quantidade de pedra que n'ellas se reconhece ter sido antigamente extrahida, as que primeiro foram mais conhecidas e exploradas, e, por isso, ficou-se chamando cantaria de Pero Pinheiro a toda a d'aquella região, comprehendendo Morlenas, Lameiras, Fervença, Penedo da Colhoa, Maceira, Pedra Furada, etc." (Pereira de Sousa, 1898).

Estratigraficamente, o quadro geológico que nos interessa no âmbito deste trabalho, começa a desenhar-se com as formações sedimentares do Cretácico médio do concelho de Lisboa e acaba nas formações sedimentares do Jurássico superior de Cascais-Sintra.

O topo do Jurássico e a base do Cretácico são, na região de Cascais-Sintra, constituídos por calcários de fácies idêntica, com passagem gradual, quer do ponto de vista litológico, quer paleontológico, de um sistema ao outro. Nos terrenos cretácicos verifica-se a existência de variações de facies importantes dentro da mesma unidade estratigráfica (Teixeira et al., 1980; Ramalho et al., 1981 e 1993).

Na península de Lisboa, os terrenos jurássico-cretácicos estão, de modo geral, sub-horizontais, sofrendo deformação, apenas, na área do maciço eruptivo de Sintra, onde ocorrem inclinados mergulhando suavemente para S e SE (C. Teixeira et al., 1980; Ramalho et al., 1981 e 1993).

V.2.1 - CRETÁCICO DA REGIÃO DE LISBOA

Relativamente ao Cretácico, nesta região, estão representados o Cretácico inferior e médio¹⁴. O Cretácico médio (C², C^{2s}, C²⁻³) aparece representado pelos seguintes andares (Choffat (1885, 1900); Zbyszewski (1955, 1961, 1963, 1964); C. Teixeira et al. (1980); Ramalho et al., (1981, 1993)):

* Cenomaniano superior (C^{3c}) (Calcários com Rudistas¹⁵ e Camadas com *Neolobites vibrayeanus*). Este andar inicia-se por calcários cristalinos esbranquiçados de *Praealveolina cretacea tenuis* e *Neolobites vibrayeanus*, a que se seguem calcários de rudistas, erodidos e lapiesados e que são recobertos e fossilizados, quer pelo "Complexo vulcânico de Lisboa" (Paleogénico), quer por níveis detríticos atribuídos igualmente ao Paleogénico. A assentada de *Neolobites vibrayeanus*, base do Cenomaniano superior, é constituída por calcários onde, além desta amonite, existem, *Nerinea schiosensis*, *N. olisiponensis*, e microfauna abundante de alveolinídeos, globotruncanídeos, algas, etc. A parte superior do Cenomaniano superior é representada por um conjunto recifal com rudistas, em que se definem dois níveis da base para o topo: 1 - Bioermes com caprínulas (*Caprínula boissyi* (D'Orb.), *C. brevis* (Sharpe), *C. d'orbignyi* (Sharpe), *C. doublieri* (D'Orb.), *Sauvagesia sharpei* (Bayle)), e uma macrofauna rica em rudistas e uma microfauna muito limitada (alguns miliolídeos, lituolídeos e fragmentos de dasicladáceas), que coexistem lateralmente com formações biodetríticas constituídas pela acumulação de restos finos e grosseiros provenientes da destruição das bioconstruções (25 m); 2 - Calcário "wackestone" e margas com *Durania arnaudi* (Choffat), *D. arnaudi intermedia* (Choffat), *Radiolites lusitanicus* (Bayle) (rara), etc., com alguns bancos em que são comuns *Nerinea schiosensis*, *N. olisiponensis* e *Chondrodonta joannae*, e uma microfauna abundante de que fazem parte foraminíferos, algas e ostracodos. No conjunto, na região de Lisboa, o Cenomaniano atinge cerca de 400 m de espessura.

¹⁴O Cretácico superior ou Senoniano foi reconhecido apenas na Beira litoral, entre Aveiro e Condeixa, e na plataforma continental, a norte do desfiladeiro da Nazaré (Teixeira et al., 1980). Todavia, Ribeiro et al. (1979), incluíram o Cenomaniano no Cretácico superior.

¹⁵Estudos micropaleontológicos modernos desta formação conduziram à conclusão de que os calcários de rudistas, da região de Lisboa, considerados por Choffat do Turoniano, devem ser incluídos no Cenomaniano, segundo Berthou, em 1971. Sendo assim, aquele andar falta, portanto, nesta região (Teixeira et al., 1980). O Turoniano incontestável é, pois, conhecido apenas a norte da linha Nazaré-Leiria (Ribeiro et al., 1979, pp. 69-71).

* Albiano-Cenomaniano inferior e médio (C^2_{AC}) (Calcários e margas («Belasiano»)¹⁶). Relativamente às unidades definidas por Choffat, as formações de idade cenomaniana correspondem essencialmente às «Camadas com *Exogyra pseudo-africana*» e às «Camadas com *Pterocera incerta*». Estes dois níveis constituem o Cenomaniano margoso (Zbyszewski, 1963). O Cenomaniano médio corresponde, relativamente às unidades definidas por P. Choffat (1855), à parte superior das «Camadas com *Exogyra pseudo-africana*» e às «Camadas com *Pterocera incerta*». Neste, predominam, em geral, calcários argilosos, argilo-dolomíticos e margas. A microfauna é rara, desaparecendo as orbitolinas e surgindo as primeiras *Praealveolina cretacea* e *Ovalveolina ovum*. O andar inicia-se por calcário argiloso com *Praealveolina iberica*, frequente, *Simplalveolina simplex*, rara, e *Ovalveolina ovum*, muito rara. Existem, além disso, bancos de *Exogyra pseudo-africana*. A espessura do Cenomaniano médio é de cerca de 130m. O Cenomaniano inferior corresponde, relativamente às divisões estratigráficas de Choffat (1885-1900), à parte superior das «Camadas de *Polyconites subverneuli*» e à parte inferior das «Camadas de *Exogyra pseudo-africana*». Litologicamente é constituído, essencialmente, por calcários argilosos, um pouco gresosos e bioclásticos, margas e argilas por vezes dolomitizadas e azóicas. São frequentes ostreídeos, pequenos rudistas toucasiformes, detritos de conchas de moluscos e de equinóides, etc. A oeste da região de Lisboa o Cenomaniano inferior tem cerca de 120 m de espessura.

No Cretácico inferior desta região estão representado os seguintes andares (Choffat (1885, 1900), Zbyszewski (1955, 1961, 1963, 1964), Teixeira et al. (1980), Ramalho et al., (1981, 1993)):

* Albiano. As camadas albianas estão em continuidade sedimentar e estrutural com as formações aptianas e correspondem respectivamente às Camadas com «*Knemiceras uhligi*» e «*Polyconites subverneuli*» de P. Choffat (1885-1900). Estas estão, em geral, representadas por calcários argilo-margosos e margas, localmente, entrecortadas por níveis gresosos ou arenosos, onde abundam restos de macrofauna, inteiros ou em fragmentos (cardídeos, ostreídeos, gasterópodes e equinodermes). São, também, frequentes foraminíferos bênticos (*Orbitolina* (M.) *texana*, *Pseudocyclammia rugosa*, algas (*Neomeris cretacea*, *Permocalculus*

¹⁶Às formações cenomanianas, excluídas as camadas de *Neolobites*, Choffat deu o nome de andar «Belasiano», designação hoje abandonada, embora se utilize, atribuindo-se-lhe, apenas, carácter regional.

sp., etc.), bancos com rudistas (*Radiolites cantabricus* Douvillé, *Polyconites subverneuili* Douvillé e pequenos rudistas toucasiformes, etc.) e, ainda, alguns níveis ricos em ostracodos etc.

* Aptiano superior (C¹_{AS}) (Arenitos e argilas ("Grés superiores")). Ao subandar Gargasiano, topo do Aptiano, são atribuídos os «Arenitos superiores de Almargem», nos quais se identificou palinoflora desta idade. Nesta formação essencialmente detrítica, embora com variações horizontais e verticais distinguem-se três níveis sobrepostos: 1 - Argilas, arenitos e lenhites inferiores que constituem alternância de arenitos finos amarelos ou cinzentos, de siltes e argilas versicolores, ricos em restos lenhitosos, com estratificações horizontais e estruturas nodulares predominantes; 2 - Arenitos e conglomerados médios, que constituem grés grosseiros e conglomerados com seixos de quartzo, lenticulares e de estratificações entrecruzadas; 3 - Arenitos e argilas superiores, apresentando, na região, três fácies diferentes. A espessura não atinge meia centena de metros.

* Aptiano inferior (C¹_A) (Calcários e margas com *Palorbitolina lenticularis* ("Camadas com orbitolinas")). Esta formação, tradicionalmente designada por «Camadas com Orbitolinas», constitui o termo médio das «Camadas de Almargem» e pode ser decomposta em três unidades sedimentares distintas, segundo Rey, em 1972: 1 - Unidade do «margocalcários com *Heteraster oblongus*», constituída por margas, calcários e grés ricos em ostras, equinodermes, dasicladáceas e foraminíferos aglutinados; 2 - Unidade dos «calcários recifais superiores», constituída por calcários recristalizados, calciclásticos ou microbréchicos com madreporários, estromatoporídeos, nerineas, rudistas (requienídeos, monopleurídeos) e algas incrustantes; 3 - Unidade das «margas com ostras». A associação orgânica indica uma idade beduliana para estas três unidades. No entanto, o limite entre o Barremiano e Beduliano não pode ser localizado com precisão (Ramalho et al., 1993).

* Barremiano superior (C¹_{Ba}) (Arenitos, argilas e dolomias). Este conjunto, também designado «Grés inferiores» por J. Rey, em 1972, constitui a parte inferior das «Camadas de Almargem» ("Grés de Almargem inferiores"). Litologicamente é constituído por arenitos finos a grosseiros, podendo localmente compreender, i.e., a leste do meridiano de Sintra, um termo inferior (formado por dolomias ocreas e argilas) e um termo superior (formado por arenitos com estratificação entrecruzada, siltes e argilas versicolores, ordenados em sequências elementares positivas), ou então ser exclusivamente detrítica e composta por várias sequências de arenitos médios a grosseiros, cinzentos-claros, com elementos de

quartzo e de feldspatos alterados, de siltes gresosos e argilas vermelhas a cinzento-azuladas (como, por exemplo, na Região de Mafra e da Malveira). Esta formação é atribuída ao Barremiano, quer em razão da idade das camadas que a enquadram, quer devido aos esporos e pólenes identificados na Ericeira, na vizinha Folha de Torres Vedras, que confirmam tal atribuição estratigráfica. A sua espessura é cerca de 20 m.

* Hauteriviano superior-Barremiano inferior (C_{HBa}) (Calcários recifais inferiores e Calcários com *Choffatellas* e *Dasicladáceas*). Representam, quer os «*Calcários recifais inferiores*» (com espessura ≥ 30 m), quer os «*Calcários com Choffatellas e Dasicladáceas*» (cerca de 100 m de espessura). Sobre estes assentam as argilas e grés da base das «Camadas de Almargem». Em Sintra, o limite entre o Hauteriviano e o Barremiano deve situar-se na formação dos Calcários com choffatellas e dasicladáceas. A parte superior dos calcários com choffatellas e dasicladáceas dataria do Barremiano inferior e os calcários recifais inferiores e a parte inferior dos calcários com choffatellas e dasicladáceas seriam, portanto, aqui hauterivianos.

* Hauteriviano inferior (C^1_H) (Margas e calcários margosos com *Toxaster*). Esta formação constituída, em geral, por calcários amarelos, \pm argilosos e margas \pm calcárias cinzento azuladas, localmente amarelas na base, compactas ou nodulares, corresponde aos níveis que Choffat (1885) designou por «*Margas com Toxaster*» e por «*Calcários com Crioceras lusitanicum*». A fauna é essencialmente composta por braquiópodes, ostreídeos (*Lopha rectangularis*, *Exogyra couloni*), madreporários, equinídeos (*Toxaster retusus*, *Orthopsis repellini*, etc.). Esta formação é, todavia, caracterizada pela sua rica fauna de equinídeos, várias vezes descrita (por De Loriol, entre 1887-1888 e Rey, em 1972), e pela sua abundância em *Everticyclammina virguliana*. A idade hauteriviana inferior desta formação é confirmada pelas amonites recolhidas na jazida de Mexilhoeira, Cascais, (segundo Rey & Busnardo, em 1969).

* Valanginiano (e Berriasiano superior) (C^1_V) (Calcários, margas e arenitos). Desaparece a *Anchispirocyclina lusitanica*. Litologicamente a parte inferior do Valanginiano é constituída por calcário e margas com intercalações areníticas e a parte superior por calcários areníticos, de oolitos ferruginosos, de amonites (*Neocomites*) e de ouriços. A espessura, variável, é de cerca de uma centena de metros. Segundo Rey, em 1972, podem considerar-se, na área de Sintra-Cascais, para o Valanginiano, dois conjuntos ou unidades litostratigráficas sobrepostas: 1 - *Conjunto inferior* ou dos «Margo-calcários com *Ampulina*

leviatan», constituído essencialmente por margas e calcários, cinzentos claros, com cerca de 60-77,5 m de espessura, com uma macro e microfauna variadas; 2 - *Conjunto superior* ou dos «Calcários encarniçados», essencialmente calcários, margosos e gresosos, («calcaires roux» cf. Rey) de cor amarelada ou encarniçada, e muito rico em limonite, com espessura entre 16,5 m e 23 m. A biofase é essencialmente composta por lamelibrânquios (ostreídeos (*Exogyra couloni*, etc.), etc.), gasterópodes (nerineias, naticídeos (*Nerinea guinchoensis*, etc.), ..), braquiópodes, foraminíferos (Everticyclammina, miliolídeos, Choffatella pyrenaica, etc.). As faunas de amonites encontradas em Cascais, permitem atribuir os " Calcários ruivos" ao Valanginiano superior (segundo Rey & Busnardo, em 1969).

* Berriasiano (C¹_{Be}) (Calcários e margas com *Anchispirocyclina lusitanica*, *Mantelliana purbeckensis*, e *Trocholina*, incluindo os níveis de calcário amarelo nanquim («Infravalanginiano»; Purbequiano). São, em geral, calcários compactos, cinzentos escuros, calcários margosos e margas, com macrofauna (*Aptyxiella infravalanginiensis* (Choffat), *Cyprina infravalanginiensis* (Choffat), *Trigonia caudata* Ag., entre outros) e microfauna diversificada e abundante. Como microfósseis mais significativos foram identificados foraminíferos (*Anchispirocyclina lusitanica* (Egger), *Pseudocyclammina lituus* Yokoyama, por exemplo), ostracodos (*Mantelliana purbeckensis* Forbes, *Cypridea valdensis praecursor* Oertli, etc), carófitas (*Globator maillardi* Sap., *Flabellochara grovesi* Harris, etc) e algas dasicladáceas (*Dictyoclavator*, etc). As formações que representam este andar, de espessura que atinge cerca de 35 a 50 m, incluem os seguintes níveis de Choffat (1885) e Rey, em 1972: («calcários inferiores» cf. Choffat; «Calcários e margas com *Mantelliana purbeckensis*» cf. Rey), («Camadas com foraminíferos» cf. Choffat; «Margas com *Anchispirocyclina lusitanica*» cf. Rey) e («Camadas com *Cyprina infravalanginiensis*», cf. Choffat; «Calcários e margas com Trocolinas» cf. Rey). Micrograficamente são, essencialmente, micritos mais ou menos intraclásticos, com macro e microfauna variada.

Pode, no entanto, dizer-se que o Cretácico inferior (C¹) da região de Lisboa está representado, principalmente, pelas «Camadas de Almargem», datadas do Barremiano superior ao Aptiano (Teixeira et al., 1980).

Assinale-se, ainda, que a oeste da linha que passa por Sintra-Tires, o Albiano superior, o Cenomaniano inferior e médio afloram largamente; a leste desta linha, situam-se os afloramentos do Cenomaniano superior, particularmente bem desenvolvidos na região de Pêro Pinheiro-Negrais e nas cercanias de Lisboa (Teixeira et al., 1980).

V.2.2 - JURÁSSICO DA REGIÃO DE LISBOA

O Jurássico da região de Sintra-Cascais, está apenas representado pelo Jurássico superior que se inicia pelos «Calcários de S. Pedro», parcialmente metamorfizados na faixa de contacto com a rocha eruptiva, em que foram encontradas algumas amonites mal conservadas (*Orthosphinctes delgadoi* Choffat e *Racophylites silenus* Font., já referidas por Choffat, em 1901) (Zbyszewski (1955, 1961, 1963, 1964), Ramalho et al., (1981, 1993), C. Teixeira et al. (1980)). São, pois, os seguintes os andares do Jurássico representados nessa região:

* Portlandiano (J⁵) (Calcários nodulares e compactos com algumas intercalações margosas - «Calcários nodulares»; «Pteroceriano» sup. e «Freixialiano»-). Trata-se de uma formação com cerca de 400 m de calcários nodulares e calcários compactos, cinzento escuros, com intercalações margosas, mais ou menos carbonatadas, geralmente acastanhadas. Os calcários são, em geral, micríticos com abundantes microorganismos bentónicos de ambiente marinho interno, dos quais se destacam diversos foraminíferos de estrutura interna complexa (*Pseudocyclamina* gr. *parvula-muluchensis* Hottinger, *P. lituus* (Yokoyama)) etc., além de um conjunto diversificado de algas calcárias, em especial dasicladáceas (*Macroporella espichelensis* Dellofre & Ramalho, *Heteroporella lemmensis*, (Bernier), etc., e ostracodos (Ramalho et al., 1981).

* Kimeridgiano-Portlandiano (J⁴⁻⁵) (Calcários margosos, margas e calcários com corais e oncolitos, também designados - «Margo-calcários xistosos», «Calcários corálicos», «Calcários com oncolitos» - ("Calcários de Mem Martins")). Esta unidade apresenta uma maior diversidade faciológica nos afloramentos da área da Folha de Cascais (Ramalho et al., 1981) e corresponde a cerca de 400 a 500 m de calcário argiloso e margas, em leitos finos a espessos com níveis bioclásticos com conteúdo microfossilífero monótono (i.e., os microrrestos orgânicos são bastante abundantes mas, praticamente, não variam ao longo da formação), embora diversificado: fragmentos de moluscos, equinodermes, braquiópodes e briozoários, espículas de esponjas, etc. A formação margo-calcária de Mem Martins foi incluída, por Choffat, nas «Camadas de *Lima pseudo-alternicosta*», de que se conhece fauna amonítica de *Lithacoceras*, *Virgataxioceras*, *Taramelliceras* e correspondente provavelmente ao topo do Kimeridgiano (zona de *Hybonotoceras beckeri*) e à base do Portlandiano (zona de *Glochiceras lithographicum*).

* Oxfordiano superior-Kimeridgiano inferior (J^{3-4}) (Calcoxistos com intercalações margosas e níveis conglomeráticos - «Lusitaniano¹⁷ p.p.; Xistos do Ramalhão» -). É uma formação muito espessa (400-1000 m), constituindo uma orla, cuja maior largura pode atingir cerca de 1500 m, afectada por metamorfismo metassomático que lhe confere o aspecto típico de alternância de bandas esbranquiçadas e entrecruzadas que atingem preferencialmente os níveis mais argilosos. É, essencialmente, constituída por uma alternância de bancos geralmente finos (2-10 cm) de calcário compacto cinzento escuro, com passagens bioclásticas por vezes micro-conglomeráticas a conglomeráticas e de margas xistificadas. A microfauna é escassa e, essencialmente, pelágica ou bentónica de profundidade, com algumas intercalações, alodápicas neríticas (Ramalho, *op. cit.*): espículas de esponjas, pequenos aglutinados, etc. Foram encontrados diversos níveis com amonites, o que permitiu atribuir esta formação ao intervalo Oxfordiano superior-Kimeridgiano (Ramalho, em 1971).

* Oxfordiano superior (J_b^3) (Calcários compactos metamorfizados -"Calcários de S. Pedro"-). Trata-se de uma formação com cerca de 90 m de espessura, constituída por calcário cristalino, metamorfizado em mármore branco a cinzento azulado, em bancos espessos, alternando, para o topo, com níveis margosos, xistificados. No topo desta formação, i.e., no limite desta formação com os "Xistos do Ramalhão", ocorre um nível conglomerático, de elementos calcários biogénicos, em grande parte grosseiros e deformados, que foi reconhecido em diversos locais (Ramalho & Gonçalves, em 1962).

¹⁷O andar «Lusitaniano» definido por Choffat (1885-1888), nas regiões de Torres Vedras e no maciço de Montejunto foi retirado da escala estratigráfica internacional, a partir do 1.º Colóquio do Jurássico, no Luxemburgo, em 1962, embora se conserve com significado regional, em virtude de se ter verificado que abrangia terrenos do Oxfordiano e do Quimeridgiano (Teixeira et al., 1980).

V.3 - CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA

Após a apresentação geral da geologia da região de Lisboa (s.l.), vai agora iniciar-se, com a caracterização macroscópica, a descrição das amostras coligidas em pedreiras e que constituem um conjunto representativo das variedades mais importantes utilizadas na Basílica da Estrela.

Lioz do Murganhal (referência LM, Pedreira de Laveiras, Concelho de Oeiras): Calcário microcristalino, creme, por vezes, com manchas levemente rosadas, fossilífero. São frequentes bioclastos, raramente excedendo os 5 mm de secção, dispersos na matriz, sem orientação preferencial marcada. Observam-se, ainda, alguns "fios" ("vénulas") de calcite de grão grosseiro, e alguns estilolitos de carga, de morfologia e dimensão diversas, nem sempre fechados e preenchidos localmente por uma fracção mais fina de cor avermelhada. Toma bom polimento.

Negro Mem Martins (referência NMM, Pedreira Domingos Ferreira, entre Birre e Malveira da Serra, Concelho de Cascais): Calcário compacto, vidrarento, de fundo negro, raras vezes homogéneo, com inúmeros "fios" brancos calcíticos ("vénulas de calcite"), e onde se podem observar não raros microestilolitos de carga ("lizins")¹⁸, geralmente fechados. Bom polimento.

Azul de Sintra (referência AZ, Pedreira do Azul de Sintra, Concelho de Sintra): Calcário cristalino de grão grosseiro, de um cinzento-azulado, mais ou menos claro, uniformemente distribuído. Esta cor resulta do facto de existir um fundo homogéneo de cor azul cinza, por vezes, interrompido por "veios" de tom azulado mais carregado. Pouco rijo, bom polimento, de textura cristalina, aproximadamente equigranular grosseira xenomórfica.

Encarnadão tipo vidro (referência ETV, Pedreira do António Lino, Campo Raso-Campo de Lapiás, Concelho de Sintra): Calcário compacto, de cor vermelha manchada de branco, por vezes concrecionada, muito rijo, vidrarento (fractura esquirolosa), mais ou

¹⁸Designação atribuída pelos canteiros aos estilolitos de carga.

menos translúcido, com raros fósseis, muitos "lizins" ("estilolitos de carga") preenchidos, por vezes, por uma calcite translúcida. Pontualmente, observam-se, ainda, alguns nódulos de calcite mais grosseira, brilhante e translúcida. Bom polimento.

Encarnadão fino (referência **EF**, Pedreira do António Lino, Campo Raso-Campo de Lapiás, Concelho de Sintra): Calcário compacto, rijo, algo vidrarento, de cor avermelhada, manchada de "pontos brancos" de diferentes tamanhos e formas (redondas ou alongadas), devido à presença de possíveis alveolinídeos. Pontualmente observam-se, ainda, manchas de calcite grosseira, brilhante e translúcida.

Lioz da Colhoa (referência **LC**, Pedreira do Sr. Rocha, Empresa Marmogal, para cá de Fervença, Concelho de Sintra): Calcário microcristalino, creme, muito rico em fósseis, com alguns biofragmentos exibindo calcite recristalizada, de grão grosseiro e translúcida. São visíveis alguns estilolitos fechados e frequentemente preenchidos por um material fino de cor avermelhada. Relativamente ao Lioz do Murganhal (amostra **LM**), este é claramente mais cristalino, mais rico em fósseis e com estilolitos mais fechados.

Lioz de Fervença (referência **LF**, Pedreira de Fervença, Concelho de Sintra): Calcário creme, microcristalino, rico em fósseis (alguns dos quais apresentam sinais de fenómenos de recristalização em calcite grosseira translúcida), por vezes levemente manchado de um tom avermelhado e com estilolitos de carga frequentemente preenchidos por material fino de cor avermelhada. Adquire bom polimento. É macroscopicamente o mesmo calcário que o da amostra **LC** (Lioz da Colhoa).

Encarnadão de Negrais (referência **EN**, Pedreira da Empresa Moucheira Lda., Concelho de Sintra): Calcário compacto, vidrarento, de cor vermelha, manchado de vermelho em tons diversos (desde mais intenso a mais claro) e, pontualmente, de concreções em tom branco leitoso. São frequentes estilolitos de carga ("lizins") geralmente preenchidos por um material muito fino ferruginoso de tom vermelho intenso e, pontualmente, ligeiramente abertos. Bom polimento.

Amarelo de Negrais (referência AN, Pedreira da Empresa Moucheira Lda., Concelho de Sintra): Calcário de cor amarela, levemente pigmentado de vermelho, algo margoso, pontualmente friável, fossilífero, com secções de fósseis heterométricas, de dimensões com pouco mais de 2 mm de diâmetro a secções de grandes rudistas, o que traduz clara descontinuidade de tamanhos dos elementos figurados. Observam-se, ainda, resultados de fenómenos de recristalização parcial em calcite translúcida que parecem atingir sobretudo intensa e selectivamente os elementos bioclásticos e que aparecem, também, materializados em frequentes vénulas de calcite que cortam o material micrítico de preenchimento das secções de rudistas. São frequentes estilolitos de carga ("lizins"), preenchidos por material argilo-ferruginoso, em geral fechados, sublinhando o contacto entre os elementos figurados e a matriz margo-calcária. As variedades menos margosas tomam melhor polimento.

Encarnadão vidro (referência EV, Pedreira do Domingos, Pedra Furada, Concelho de Sintra): Calcário compacto, vidrarento (fractura esquirolosa a subconchoidal), de cor vermelha com manchas de cor creme e com muitos estilolitos ("lizins") preenchidos por material argilo-ferruginoso. Toma bom polimento.

V.4 - CARACTERIZAÇÃO MICROSCÓPICA

Na caracterização micropetrográfica foram adoptadas as classificações de Folk e de Dunham. Na construção dos nomes dos litotipos com mais de um componente aloquímico preponderante (i.e, com presença superior a 10%), seguiu-se a sugestão feita por Chillingar et al. (1967), de se disporem os prefixos alusivos aos elementos figurados da esquerda para a direita no sentido crescente do seu peso na composição global da rocha. Neste contexto, por exemplo, a designação "Biointramicrito", significa que estamos na presença de um calcário micrítico em que os intraclastos predominam relativamente aos bioclastos.

Para aplicação destas classificações fizeram-se estimativas semi-quantitativas ao microscópio óptico petrográfico.

Segue-se a descrição breve de cada amostra estudada, apresentada pela designação pela qual é conhecida a rocha e sucede-se a referência usada neste estudo, a localização da amostragem, a classificação atribuída, primeiro segundo Folk e depois segundo Dunham.

O mesmo critério de apresentação da classificação foi usado nas legendas das fotografias figuradas.

Lioz do Murganhal (referência LM, Pedreira de Laveiras, Concelho de Oeiras, Biomicrosparito, Wackstone-Packstone). Calcário microcristalino, fossilífero, com bioclastos (grão aloquímicos dominantes) dispersos aleatoriamente numa matriz microcalcítica inequigranular, diferentemente recristalizada e em que se observam manchas de calcite granular grosseira xenomórfica (*vide* Figs. 8 e 9). Os bioclastos são heterométricos, com dimensões variando entre 8 mm e $\approx 40 \mu\text{m}$, predominantemente alongados e, em geral, constituídos por calcite fibrosa com disposição irregular (Fig.10). Outros fragmentos apresentam-se sob a forma de calcite granular fina a grosseira, exibindo, neste caso, as fronteiras entre os grãos bem definidas. Observam-se pontualmente alguns grãos de quartzo ou outras formas de sílica, possivelmente como resultado de fenómenos de silicificação.

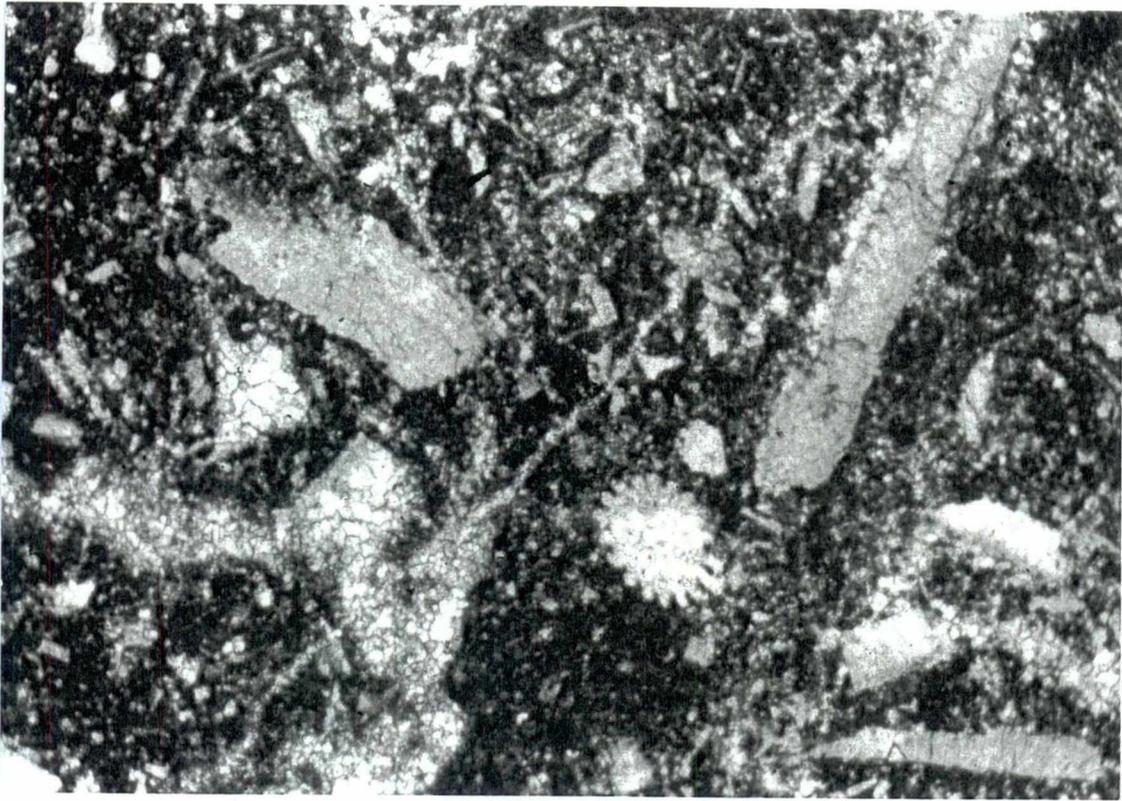


Fig.8 - Aspecto geral do Lioz do Murganhal. Biomicrosparito, Wackstone-Packstone (x 37; N | |).

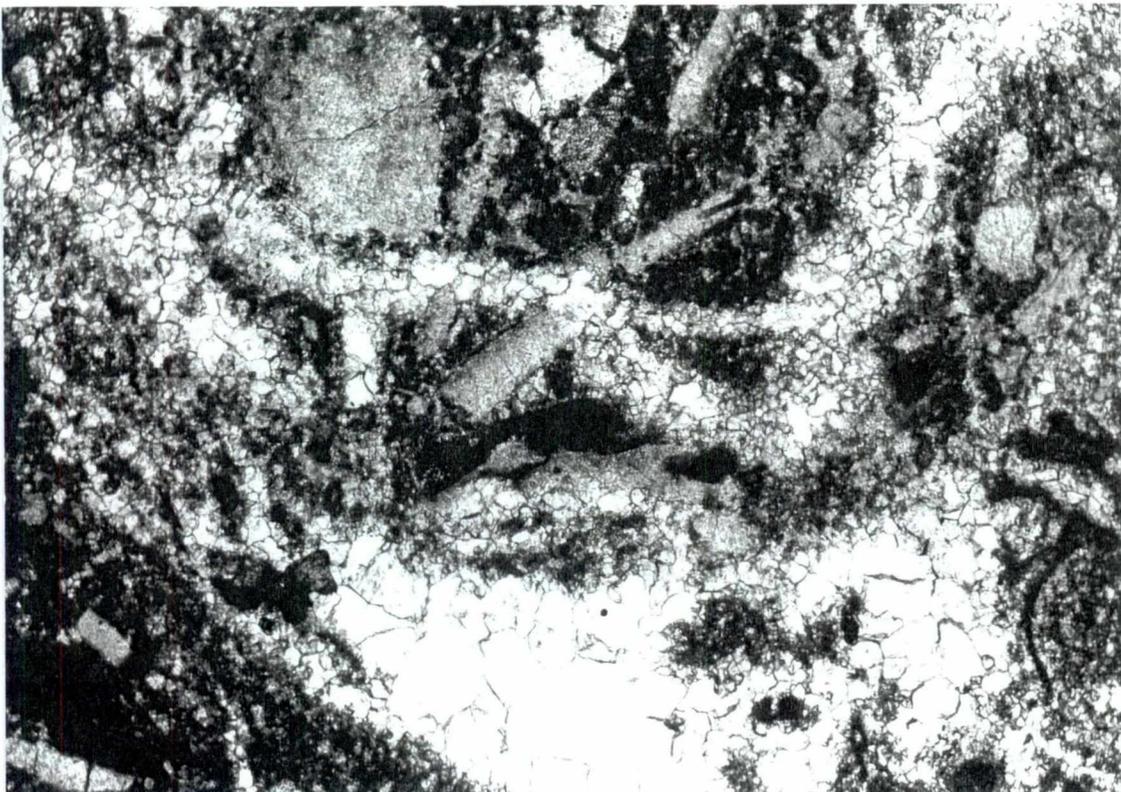


Fig.9 - Lioz do Murganhal. Manchas de calcite de grão grosseiro xenomórfica. (x 37; N | |).



Fig.10 - Lioz do Murganhal. Secções de rudistas em disposição sub-paralela. Observa-se a calcite fibrosa de alguns bioclastos. (x 37; N +).

Negro Mem Martins (referência NMM, Pedreira Domingos Ferreira, entre Birre e Malveira da Serra, Concelho de Cascais, Pelmicrito fossilífero muito fino, Wackstone). Na matriz calcítica microcristalina, de cor castanha, dispersam-se finos calciclastos ("pellets") ovais ou esféricos, bem calibrados e frequentemente recristalizados, cuja maior dimensão, de modo geral, raramente ultrapassa os $160 \mu\text{m}$ (Fig. 11). Os bioclastos observados são raros, heterométricos, com dimensões variando entre cerca de $40 \mu\text{m}$ e $\approx 6 \text{ mm}$ (Fig.11). Observam-se, ainda, raros intraclastos, cujo maior diâmetro pode atingir cerca de 2 mm, em geral sub-rolados, mostrando por vezes sinais de recristalização parcial, com relíquias micríticas da textura original (Figs.12). Encontram-se algumas estruturas oolíticas com micritização parcial, mas com a estrutura concêntrica ainda visível quando sublinhada por impregnações ferruginosas. Algumas "cavidades"¹⁹, por vezes irregulares, são preenchidas por mosaico cristalino de grão

¹⁹Designação atribuída pelos canteiros às cavidades preenchidas por calcite espática.

grossoiro, gerado pela implantação em drusa dos cristais de calcite nas suas paredes da cavidade inicial, que vão crescendo para o seu interior, suprimindo o crescimento de alguns cristais e tornando outros dominantes, com dimensões que chegam a atingir cerca de 2 mm e exibindo fronteiras intercristalinas bem definidas (Fig.13). Devem referir-se alguns "fios" de calcite granular de grão médio, clara e transparente, com orientação diversa e que cortam outras estruturas (Fig. 12). Os raros estilolitos presentes encontram-se preenchidos, sobretudo, por material argilo-ferruginoso de cor escura. Também se encontram alguns minerais opacos, com formas e dimensões muito variadas (de $\leq 12 \mu\text{m}$ a $\approx 120 \mu\text{m}$), ora dispersos ora dispendo-se em torno de bioclastos e abelheiras (Figs.14 e 15). Alguns romboedros de dolomite testemunham fenómenos de dolomitização parcial (Fig.16). Nestas zonas em que a dolomitização ocorreu é frequente a presença de minerais opacos.

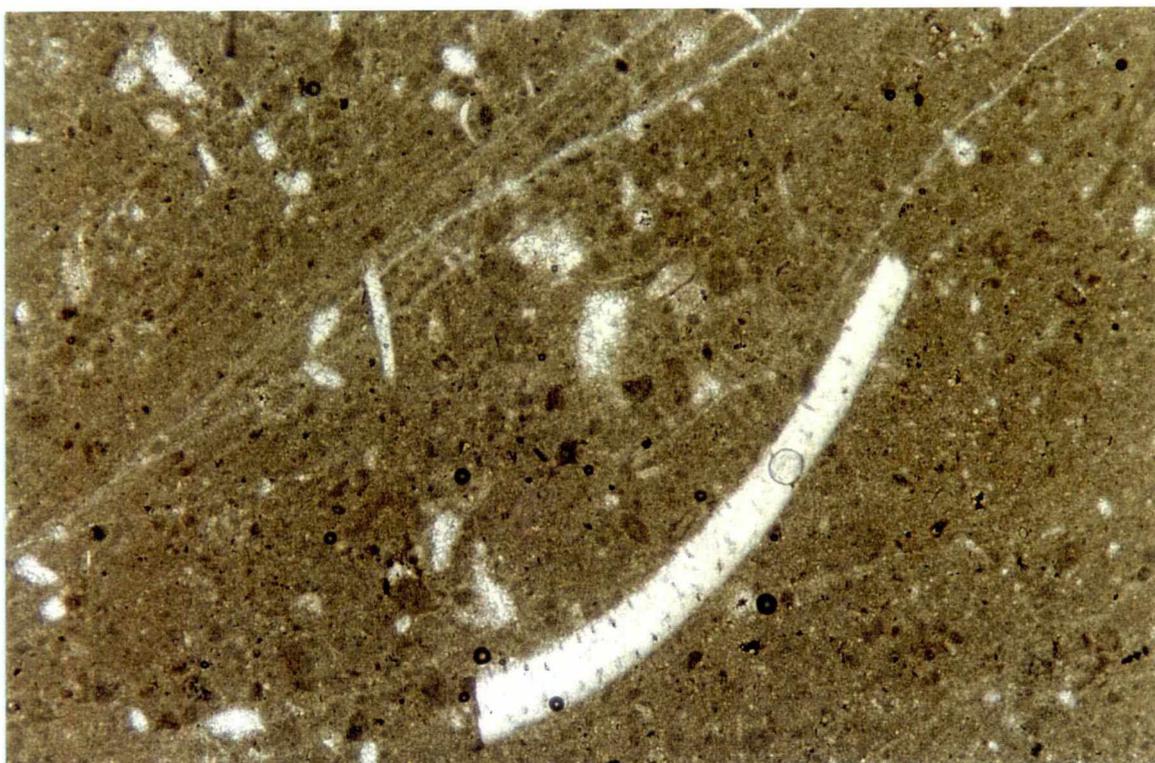


Fig.11 - Aspecto geral do Negro de Mem Martins. Pelmicrito, Wackstone. Observam-se, ainda, bioclastos mal calibrados (x 37; N | |).

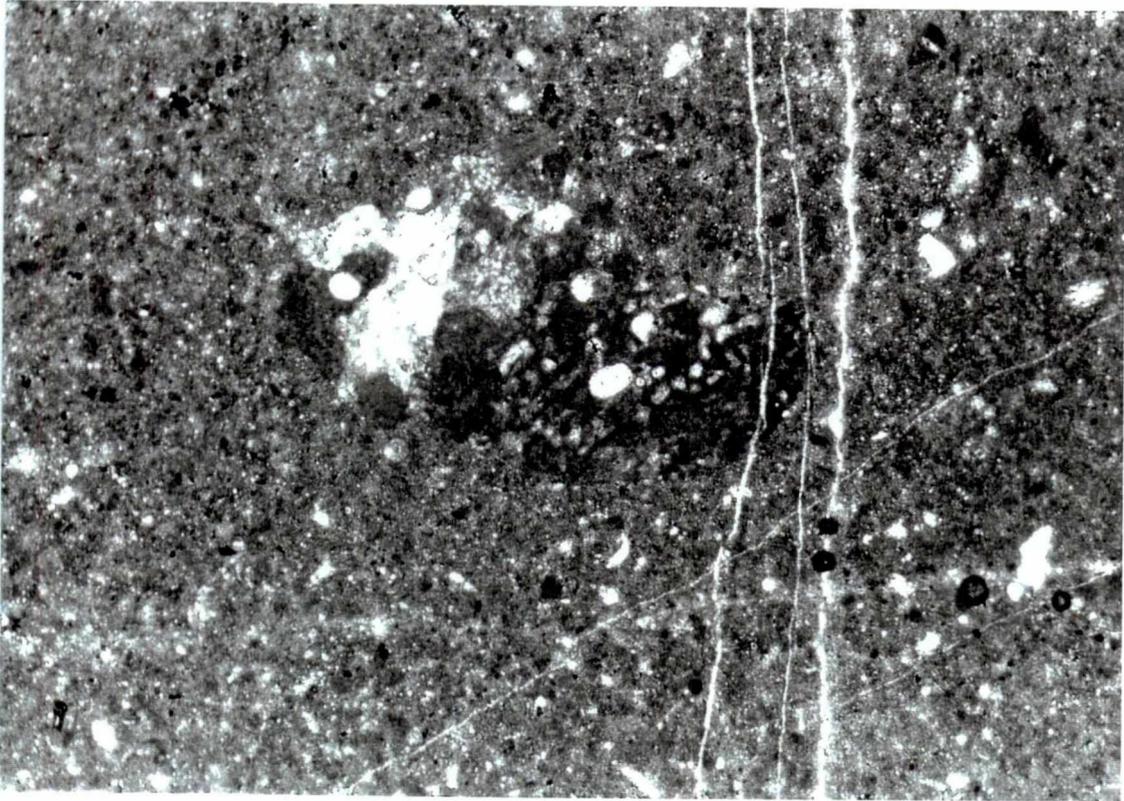


Fig.12 - Negro de Mem Martins. Intraclasto parcialmente recristalizado. Observam-se, ainda, alguns "fios" de calcite granular, clara e transparente cortando outras estruturas (matriz e intraclasto, por exemplo)(x 37; N | |).

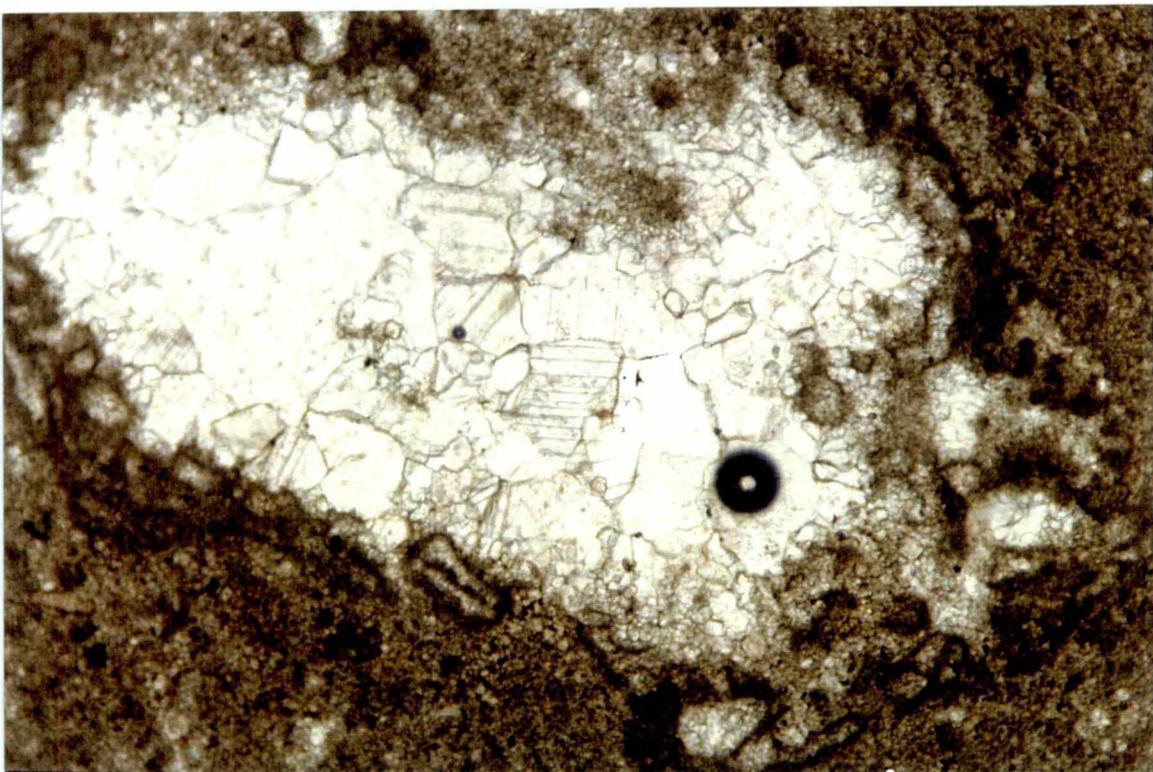


Fig.13 - Negro de Mem Martins. Revestimento em drusa das paredes de uma "abelheira". A calcite exhibe fronteiras intercristalinas bem definidas e os traços de clivagem são nítidos (x 93; N | |).

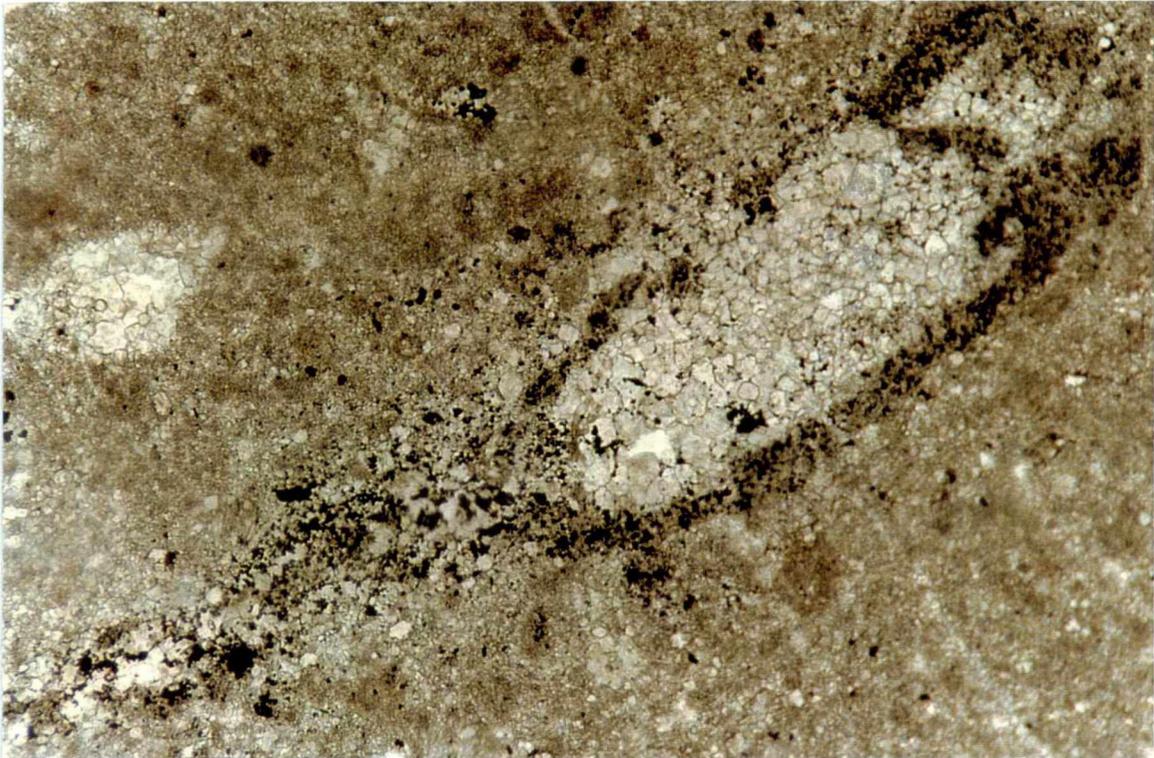


Fig.14 - Negro de Mem Martins. Opacos com formas e dimensões muito variadas, delimitando uma abelheira. (x 93 ; N | |).

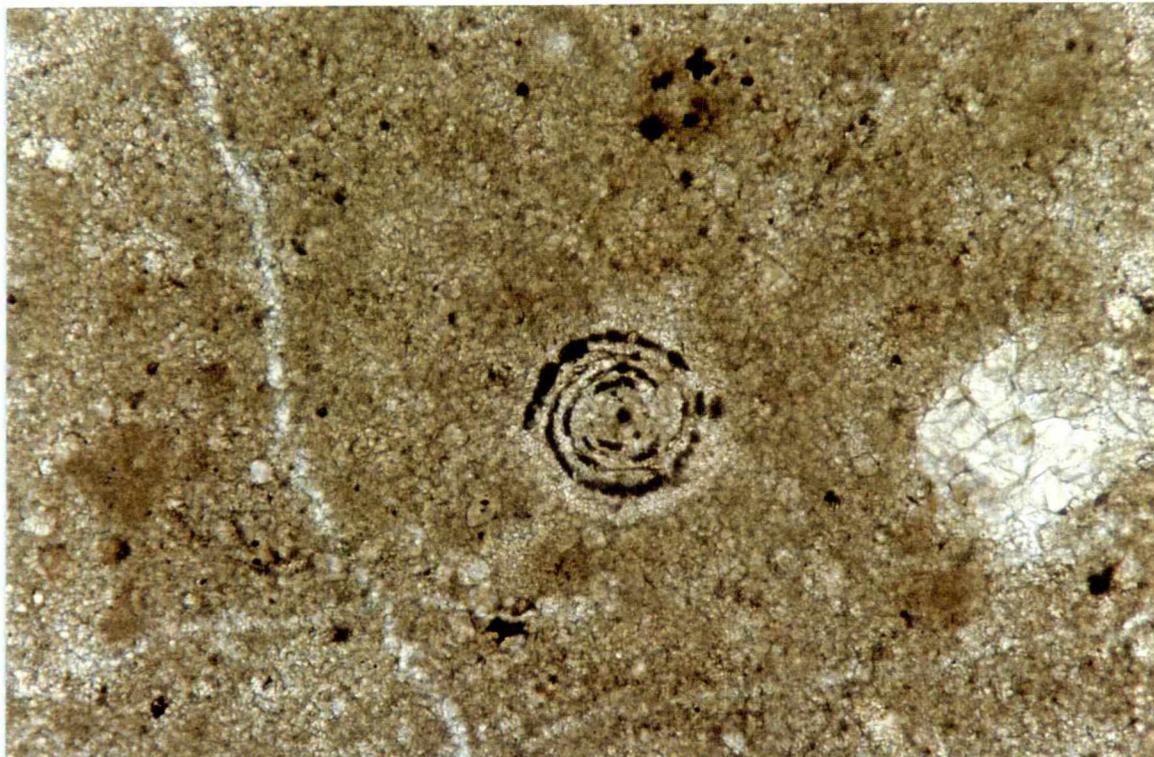


Fig.15 - Negro de Mem Martins. Envolvente ferruginosa sublinhando a estrutura de um fóssil recristalizado. Alguns minerais opacos dispersos na matriz. (x 235; N | |).

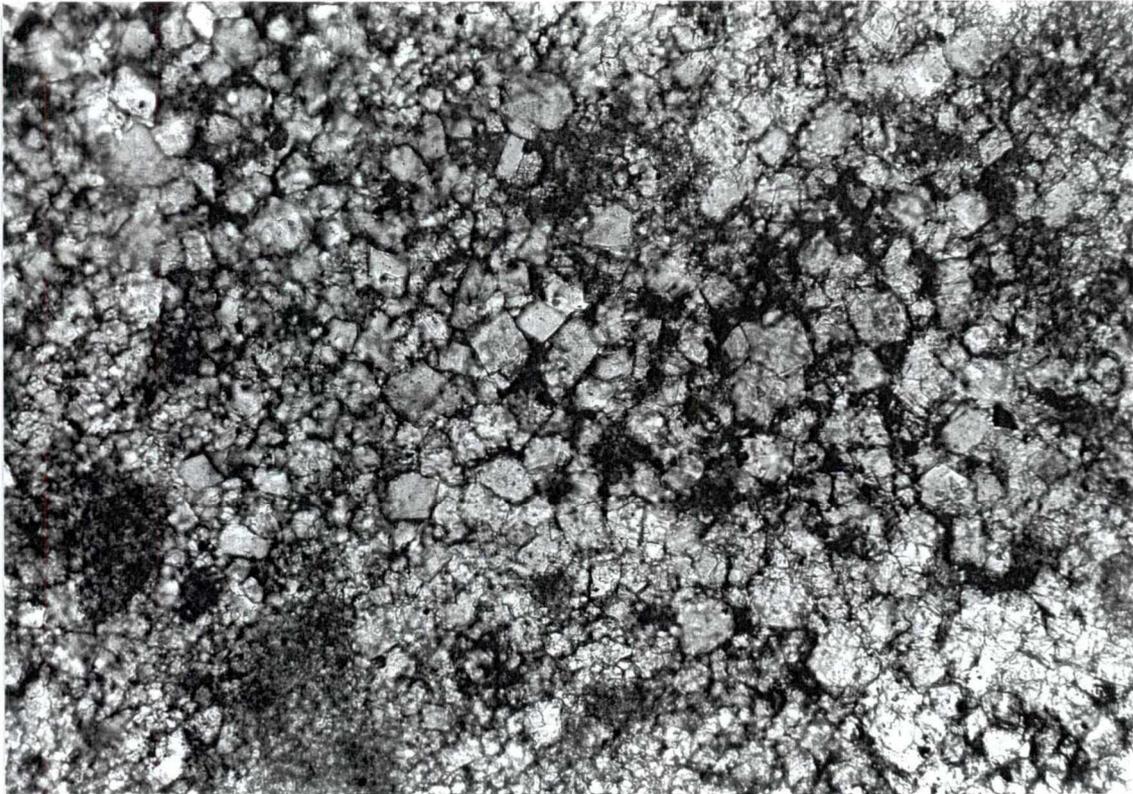


Fig.16 - Negro de Mem Martins. Romboedros de dolomite, formando um mosaico cristalino em que se dispõem alguns minerais opacos (x 235; N | |).

Azul de Sintra (referência **AZ**, Pedreira do Azul de Sintra, Concelho de Sintra, Esparito, Grainstone). Calcário macrocristalino de calcite granular grosseira, clara. Textura inequigranular grosseira (entre 0.32 mm e 2 mm), constituindo agregado cristalino xenomórfico, em que a calcite neomórfica raramente se apresenta euédrica (Fig.17). Localmente é notável o contraste entre os cristais de calcite, de grandes dimensões, e os de outros minerais presentes (quartzo, moscovite, zircão, apatite, etc.) que constituem pequenas inclusões intra ou intergranulares (Fig.18). Observam-se, ainda, pontualmente algumas secções de minerais opacos.

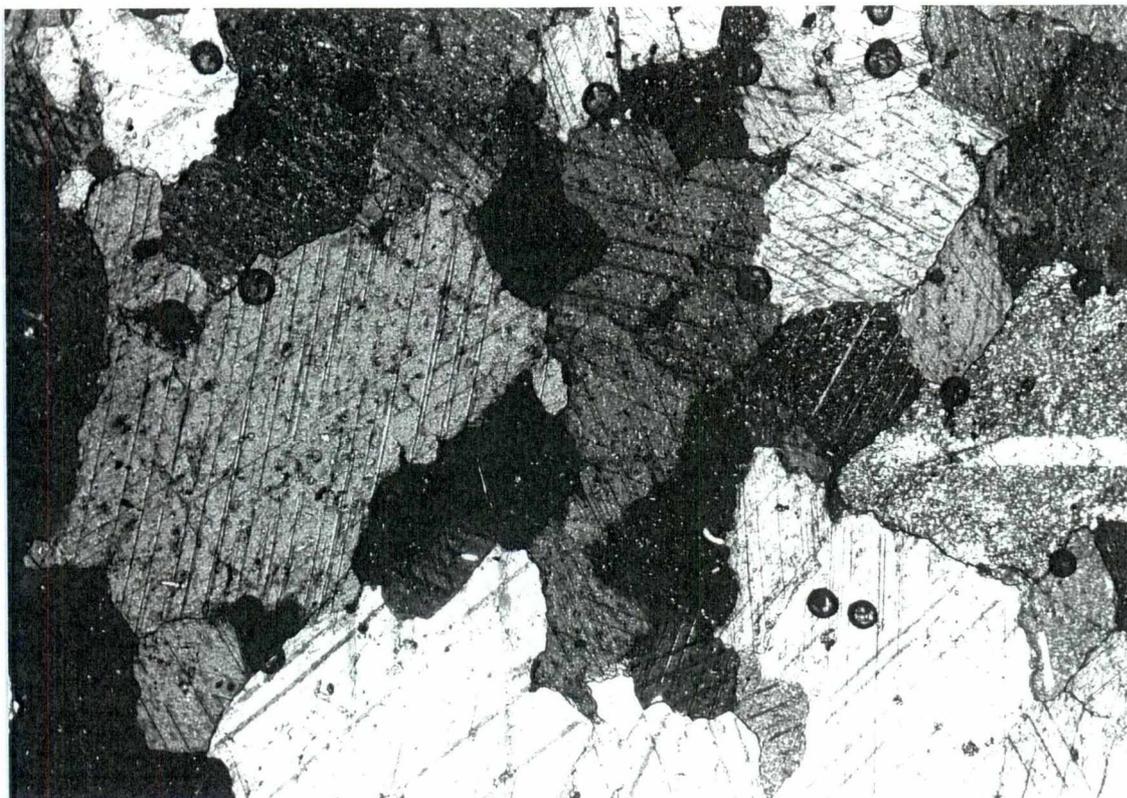


Fig.17 - Azul de Sintra. Esparito, Grainstone. Textura inequigranular grosseira xenomórfica (x 37; N +).

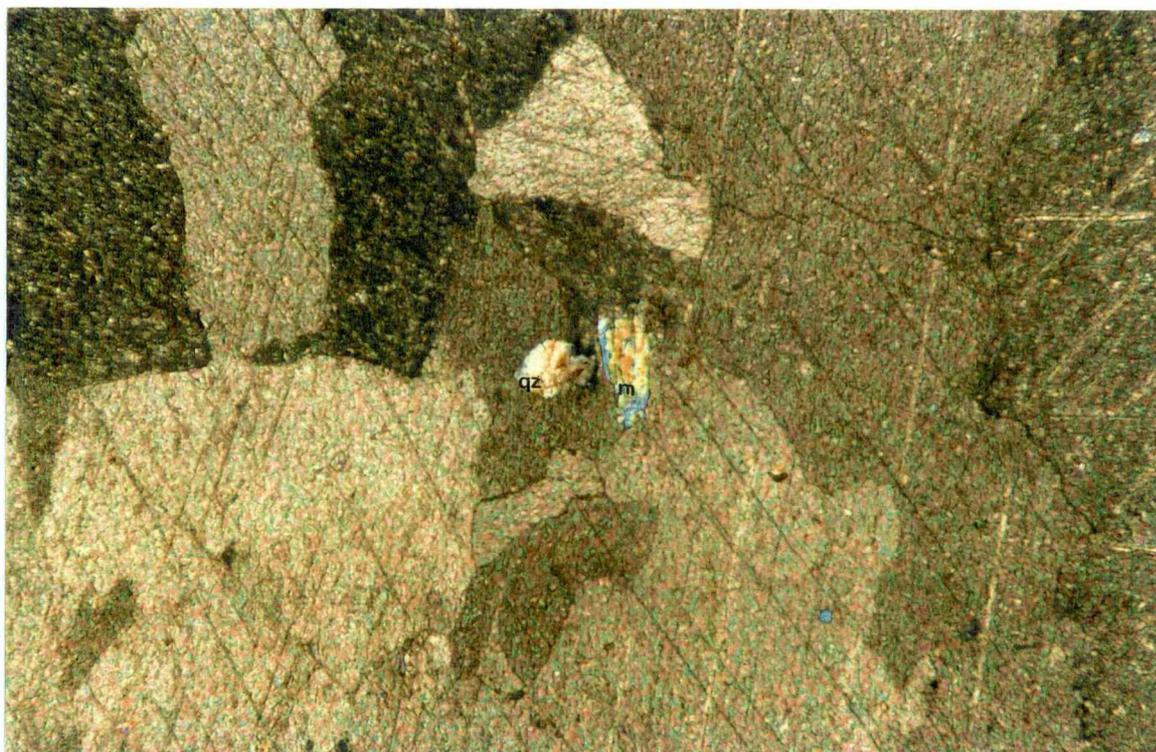


Fig.18 - Azul de Sintra. Grãos de quartzo (qz) e de moscovite (m) rodeados de grandes cristais de calcite geminada polissinteticamente. (x 93; N +).

Encarnadão tipo vidraço (referência ETV, Pedreira do António Lino, Campo Raso-Campo de Lapiás, Concelho de Sintra, Biointrasparito, Grainstone). Calcário em que os intraclastos constituem os componentes aloquímicos dominantes, bem calibrados e rolados ($\varnothing_m \approx 80 \mu\text{m}$ e $800 \mu\text{m}$), de forma subesférica a oval (Fig.19). Os intraclastos apresentam-se, muitas vezes, parcialmente recristalizados, fenómeno que terá tido lugar a partir do centro para o exterior como é mostrado pela presença de mosaicos cristalinos mais grosseiros envolvidos por uma coroa micrítica (epimatriz de Dickinson, 1970, in Pettijohn, 1975) (Fig.19). Raros intraclastos, com diâmetro médio de 1.2 mm, constituem estruturas complexas. Incluem outros intraclastos, finos, desprovidos de qualquer estrutura interna e algum cimento granular de calcite espática (Fig.20).

O cimento é cristalino grosseiro, com predomínio de juntas intercristalinas planares bem definidas, com algumas delas do tipo "enfacial" ("enfacial junction"). A maior dimensão dos grãos, em geral, não ultrapassa os $900 \mu\text{m}$. São, no entanto, visíveis algumas secções de cristais que chegam a medir $\approx 1200 \mu\text{m}$, como resultado da precipitação em sistema poroso (Fig.21). São frequentes abelheiras de calcite espática dispersas na matriz e com formas irregulares e fronteiras com impregnações ferruginosas (Fig.22) e raros "fios" preenchidos por calcite também granular, clara e transparente, que cortam indistintamente a rocha (i.e. cimento, matriz e elementos estruturais) (Fig.23). São também frequentes alguns grãos de quartzo sub-rolados a rolados, com dimensões entre $24 \mu\text{m}$ e $720 \mu\text{m}$, em geral, dispersos mas também concentrados sobretudo ao longo dos microestilolitos (Fig.23). Os fósseis diversificados, em geral preenchidos por calcite espática (Figs.19 e 23), são também frequentes. Alguns bioclastos apresentam orlas micríticas (epimatriz de Dickinson) (Fig.19). Há alguns minerais opacos, cuja maior dimensão é $\approx 160 \mu\text{m}$ (Figs.22 e 23), e, ainda, raros microestilolitos que se apresentam preenchidos por material ferruginoso e alguns grãos de quartzo, que sublinham os limites de algumas cavidades preenchidas por calcite espática (Fig.22).



Fig.19 - Encarnadão tipo vidro. Biointrasparito, Grainstone. Bioclasto com envolvente micrítica ((e) epimatriz de Dickinson, 1970, in Pettijhon, 1975)(x 37; N | |).

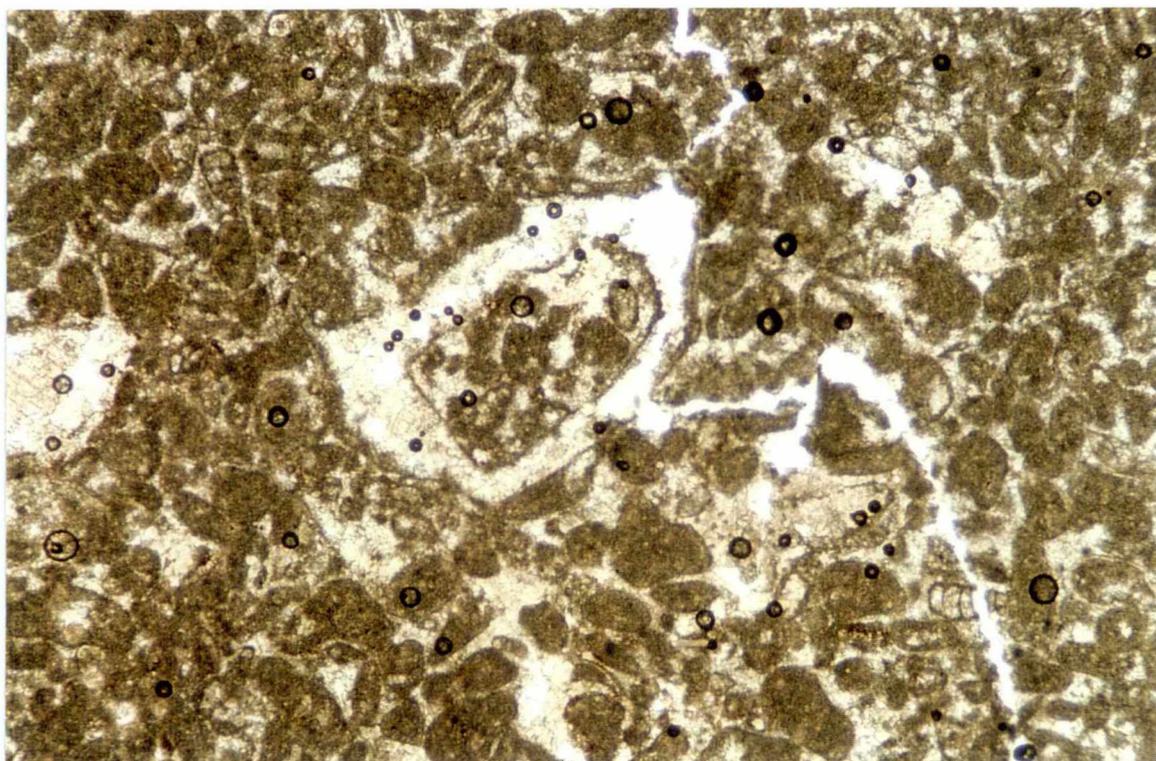


Fig.20 - Encarnadão tipo vidro. Intraclasto fortemente recristalizado ao centro da fotografia, apresentando estrutura complexa (x 37; N | |).



Fig.21 - Encarnadão tipo vidro. Calcite intersticial de grão grosso, com predomínio de juntas intercristalinas planares bem definidas (x 235; N | |).

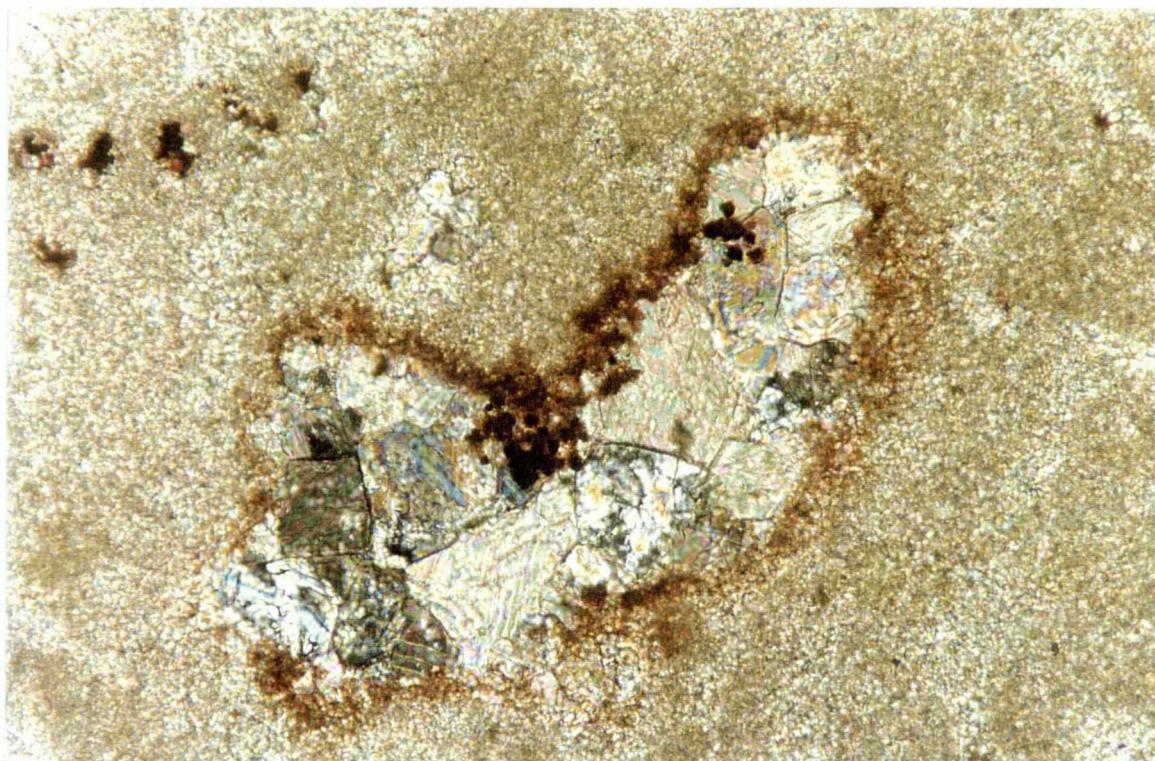


Fig.22 - Encarnadão tipo vidro. Envolvente ferruginosa de uma abelheira, preenchida com calcite granular grosseira. (x 235; N +).

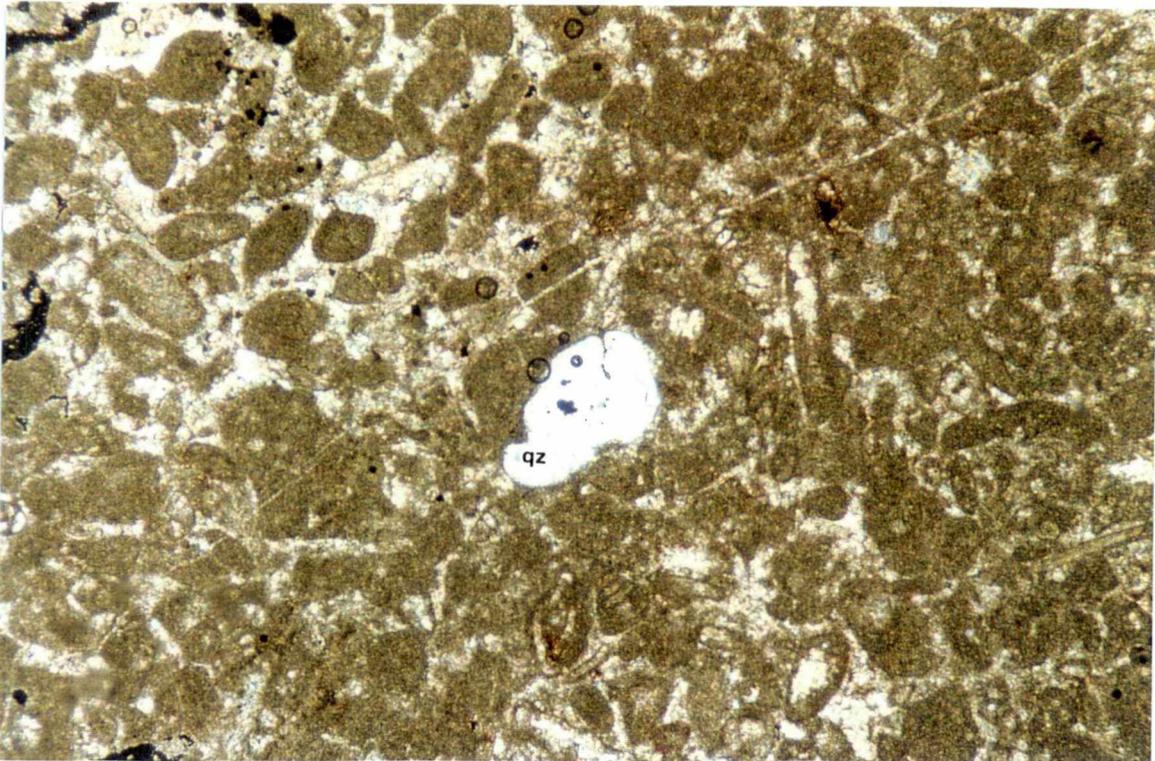


Fig.23 - Encarnadão tipo vidro. "Fios" cortando indistintamente toda a rocha. Observam-se, ainda, um grão de quartzo anédrico, alguns fósseis e intraclastos recristalizados e alguns minerais opacos (x 37; N +).

Encarnadão fino (referência EF, Pedreira do António Lino, Campo Raso-Campo de Lapiás, Concelho de Sintra, Intrabiosparito, Grainstone). Calcário fossilífero. Nas lâminas delgadas desta rocha observam-se várias secções transversais e longitudinais de alveolinídeos de dimensões variadas (algumas das quais com impregnações ferruginosas), e, ainda, secções de outros fósseis (Fig.24). Alguns fósseis apresentam preenchimento de calcite esparítica granular grosseira, clara e translúcida (Fig.25). Outros estão profusamente recristalizados, com a sua estrutura inicial sublinhada por envoltentes micríticas (Fig.26). Os intraclastos, parcialmente recristalizados, constituem os componentes aloquímicos mais finos e têm dimensões que variam, em geral, entre os 80 μm e 800 μm . Observam-se, no entanto, raros intraclastos de grandes dimensões ($\geq 2 \text{ cm}$), parecendo corresponder a fragmentos do mesmo calcário, menos recristalizados, que marcam, localmente, aspectos de inversão textural (Fig.27). São também visíveis algumas abelheiras preenchidas de calcite espática, por vezes,

grosseira (grãos com cerca de 1100 μm) e orlada por envolvente micrítica com impregnações ferruginosas. A matriz mostra recristalização diferencial num mosaico granular grosseiro predominantemente xenomórfico em que se dispersam alguns minerais opacos (Fig.28). São frequentes cristais anédricos de quartzo, por vezes, com inclusões (embora não tenha sido possível a identificação destas) que podem ser indícios de ocorrência de fenómenos de silicificação. A sua dimensão varia, em geral, entre 26 μm e 800 μm . São, no entanto, também visíveis secções de grãos de quartzo com diâmetros aproximadamente iguais a 1400 μm (Fig.29).

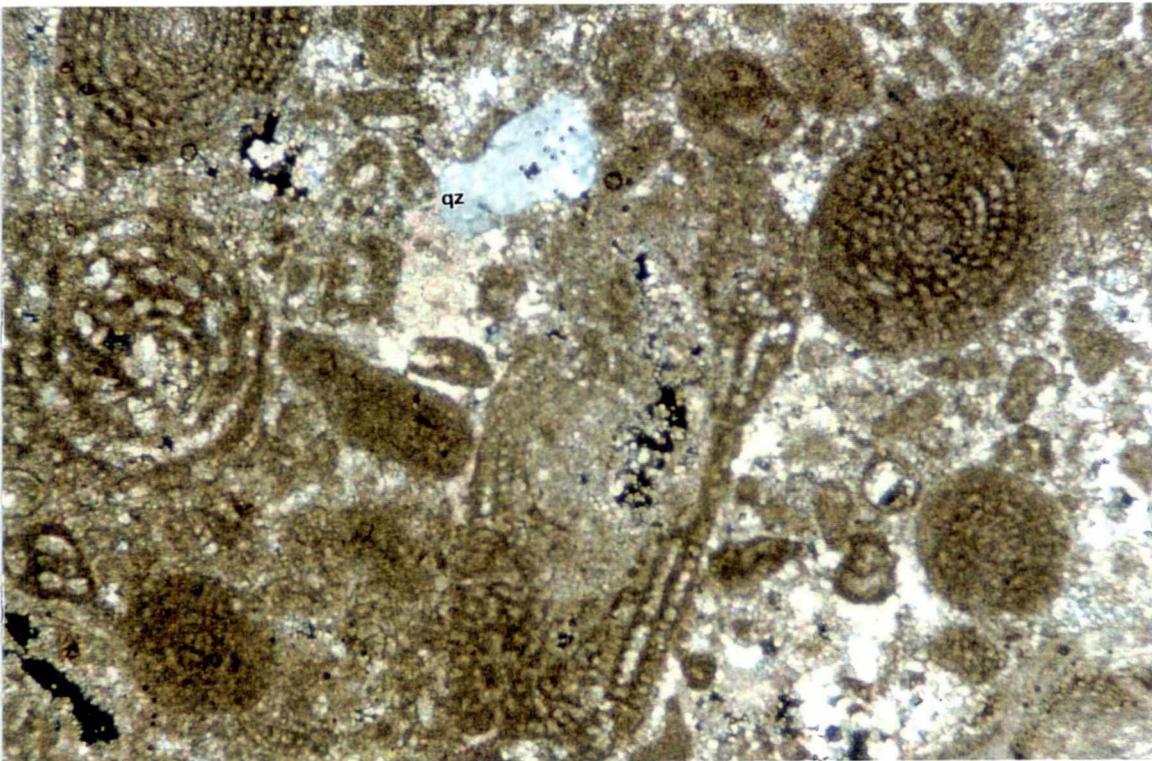


Fig.24 - Encarnadão fino. Intrabiosparito, Grainstone. Aspecto geral apresentando várias secções de alveolinídeos (x 37; N +).

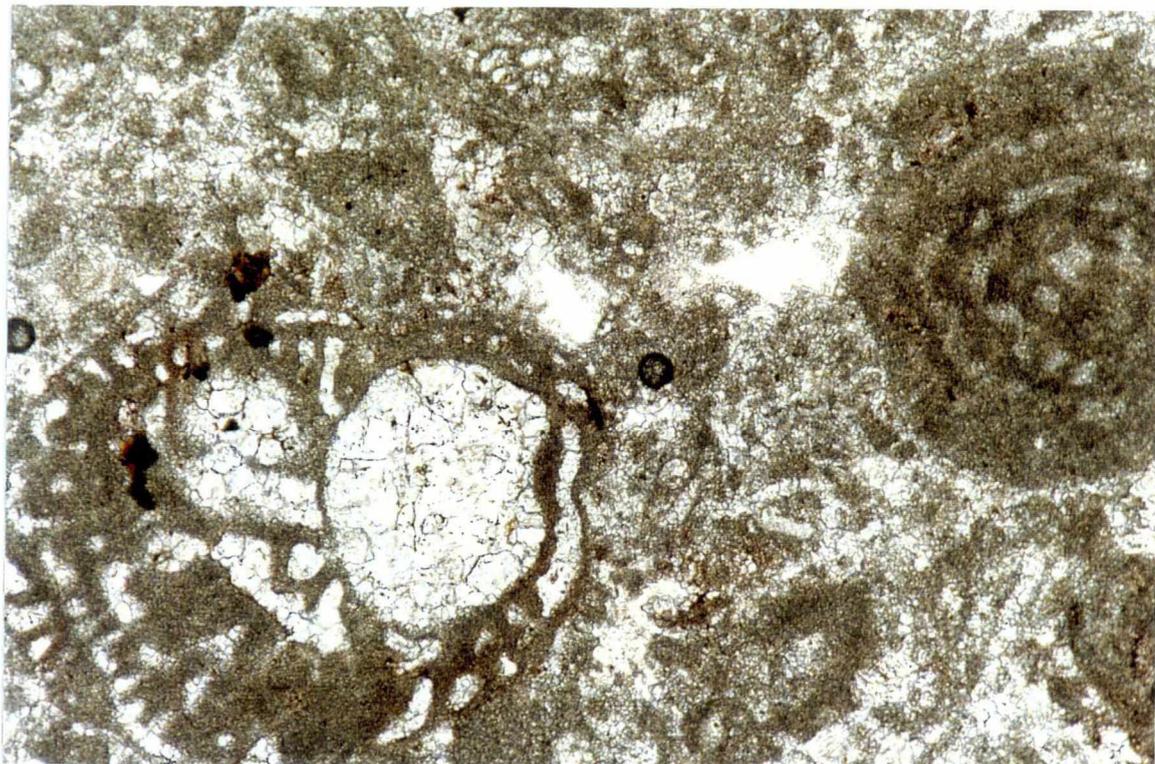


Fig.25 - Encarnadão fino. Secção de um fóssil, com preenchimento de calcite espática, exibindo limites entre os grãos bem definidos e traços de clivagem nítidos (x 93; N | |).

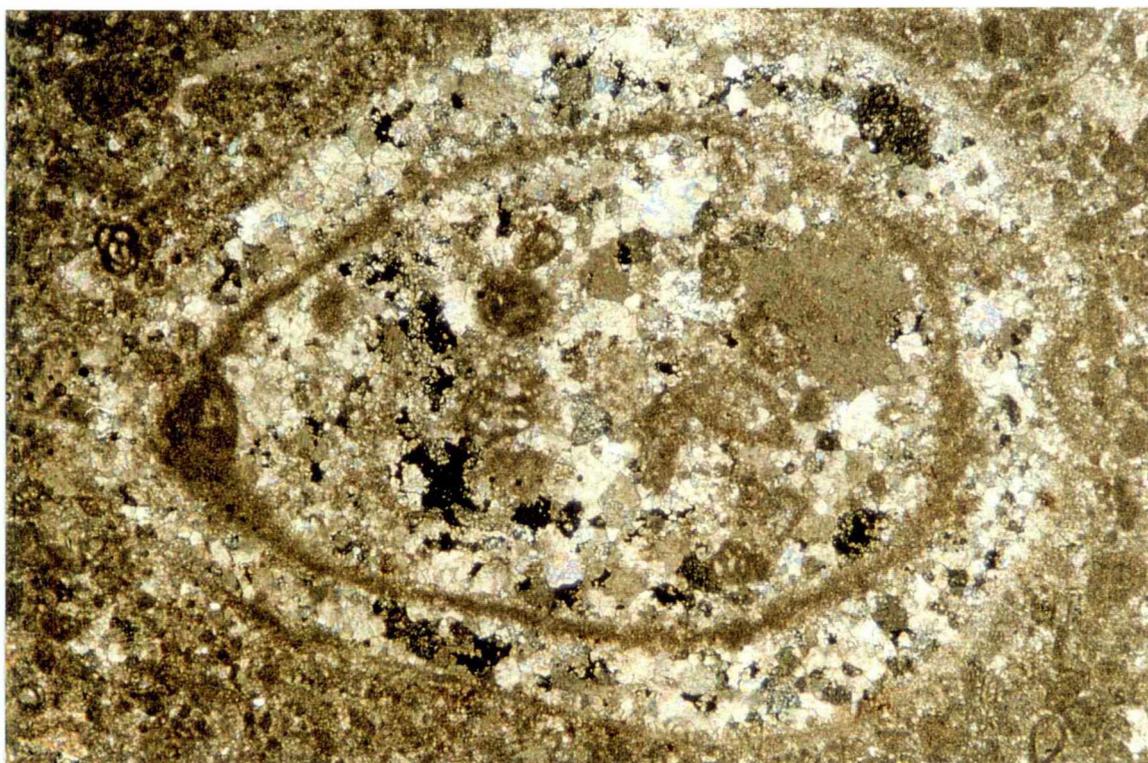


Fig.26 - Encarnadão fino. Secção de lamelibrânquio profusamente recristalizado orlado por calcite micrítica. (x 37; N +).

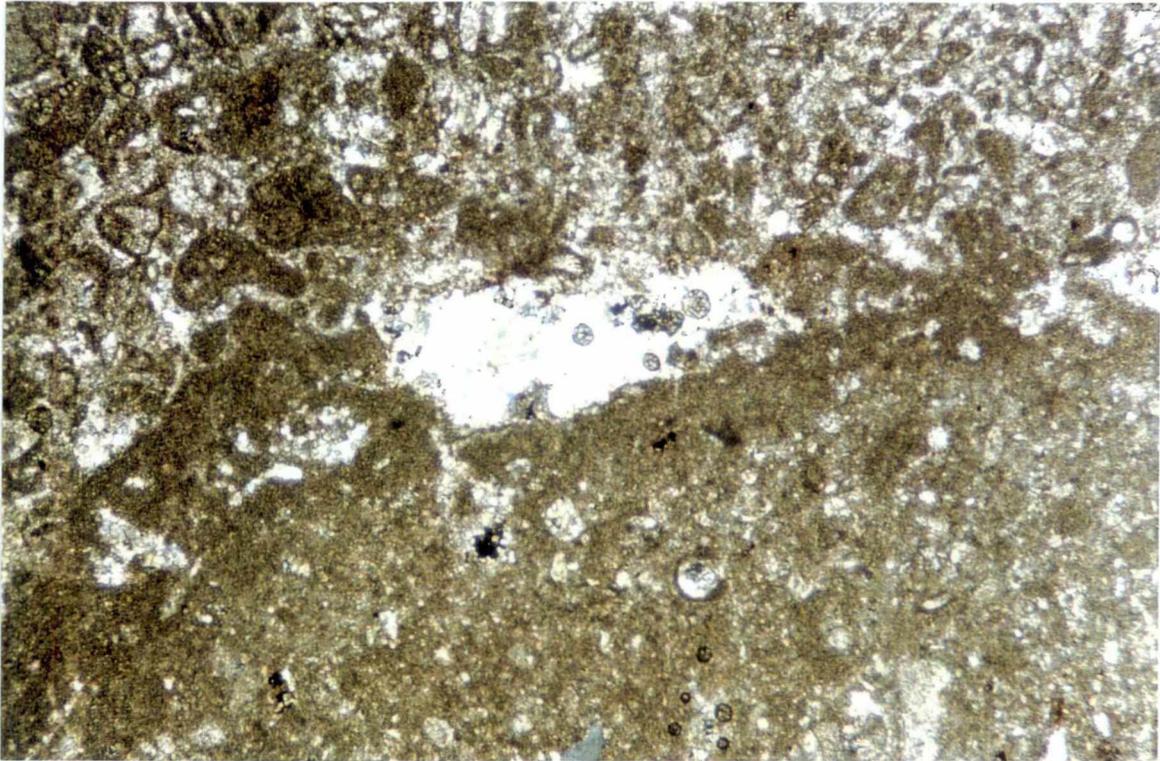


Fig.27 - Encarnadão fino. Contacto entre a matriz finamente recristalizada e um grande intraclasto de grão mais fino. Aspecto de inversão textural (x 37; N +).

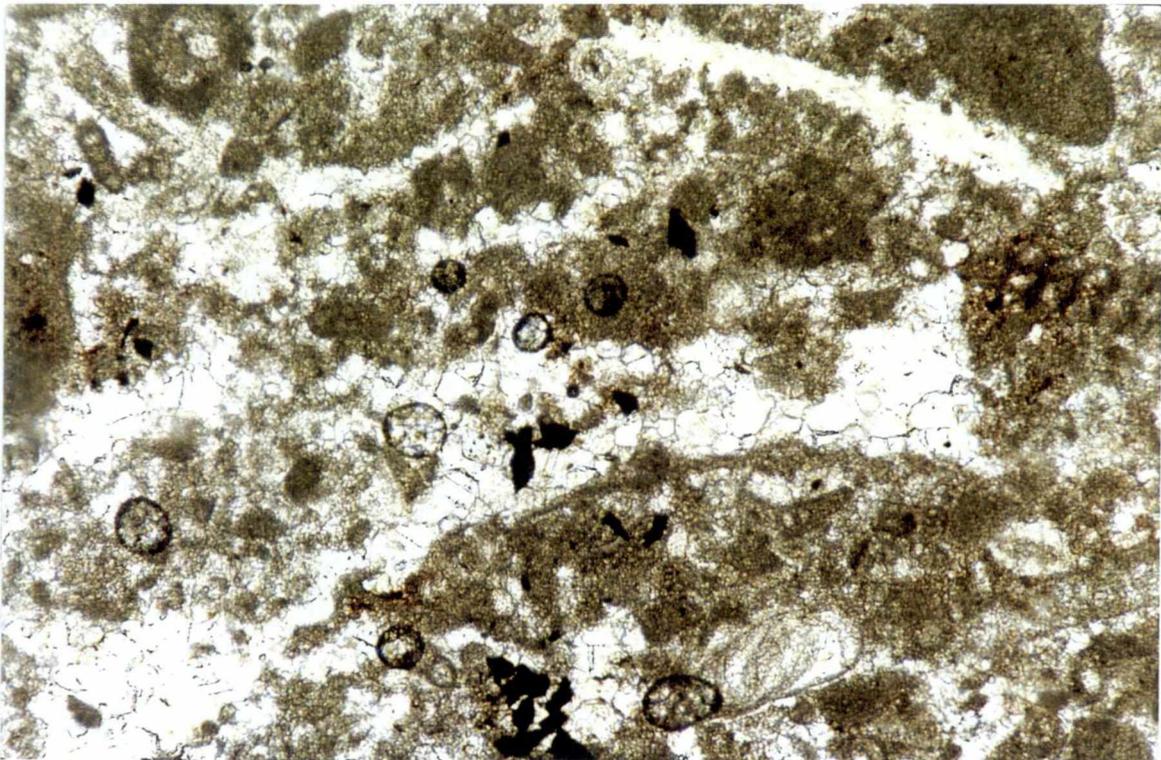


Fig.28 - Encarnadão fino. Recristalização diferencial da matriz em mosaico granular grosseiro predominantemente xenomórfico. Observam-se, ainda, alguns minerais opacos (x 93; N | |).

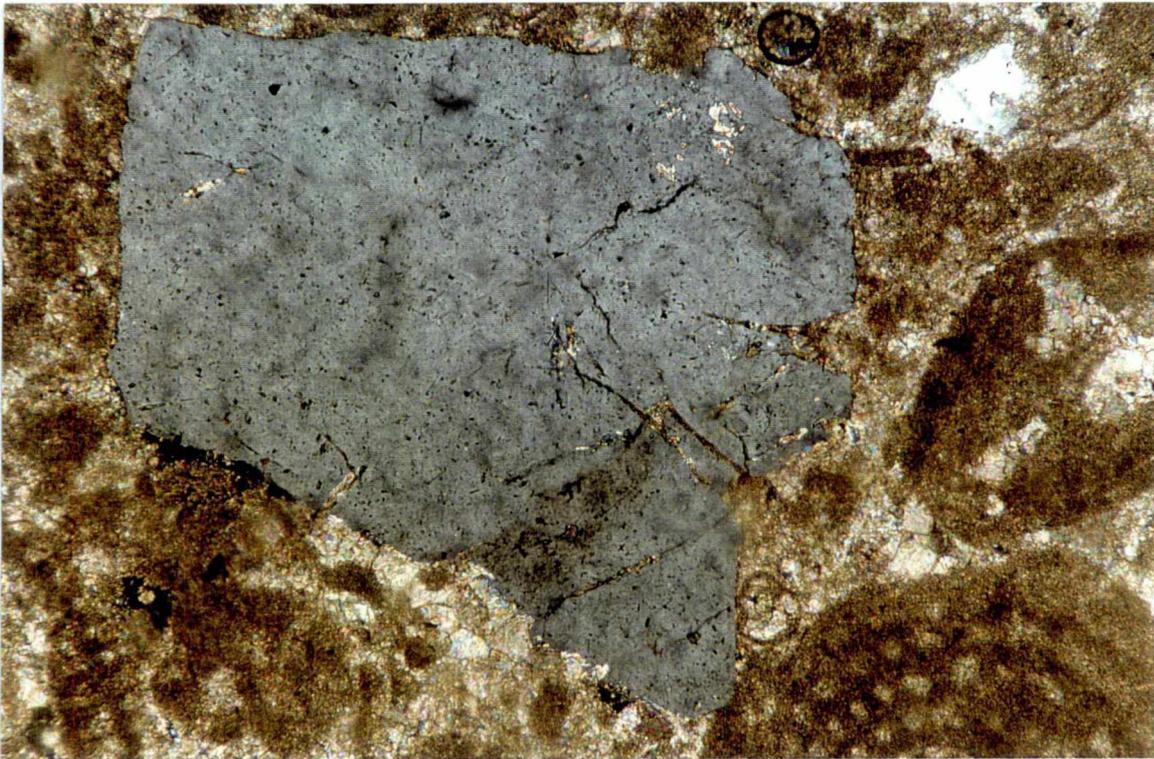


Fig.29 - Encarnação fino. Cristal anédrico de quartzo com inclusões (x 235; N +).

Lioz da Colhoa (referência LC, Pedreira do Sr. Rocha, Empresa Marmogal, Fervença, Concelho de Sintra, Biomicrosparrudito, Packstone). Observam-se bioclastos muito heterométricos, com dimensões entre 2 cm (percentagem significativa) a menos de $400\ \mu\text{m}$, o que sublinha marcada descontinuidade no tamanho dos fragmentos (Fig.30). Os macrofragmentos são constituídos, em geral, por calcite fibrosa com disposição irregular face às paredes das secções (Fig.31). Outros bioclastos apresentam preenchimento granular fino anédrico, aproximadamente equidimensional, que poderá corresponder à ocorrência de fenómenos de recristalização parcial conduzindo à substituição da calcite fibrosa primária pela granular fina anédrica (Figs.30 e 31). A matriz é formada por bioclastos de menor dimensão e por calcite micrítica diferentemente recristalizada, inequigranular, com cristais predominantemente anédricos com dimensões superiores a $12\ \mu\text{m}$, apresentando entre si fronteiras bem definidas (Fig.30). Pontualmente, alguns grãos, atingem dimensões próximas dos $1200\ \mu\text{m}$. Observam-se, também, microestilolitos, preenchidos por material ferruginoso, que cortam indistintamente a matriz, o cimento e os bioclastos (Fig.32) e raras relíquias da matriz inicial micrítica, constituindo estruturas dispersas e com formas mal definidas, que localmente indiciam a presença de textura grumosa. A presença de minerais opacos é rara.

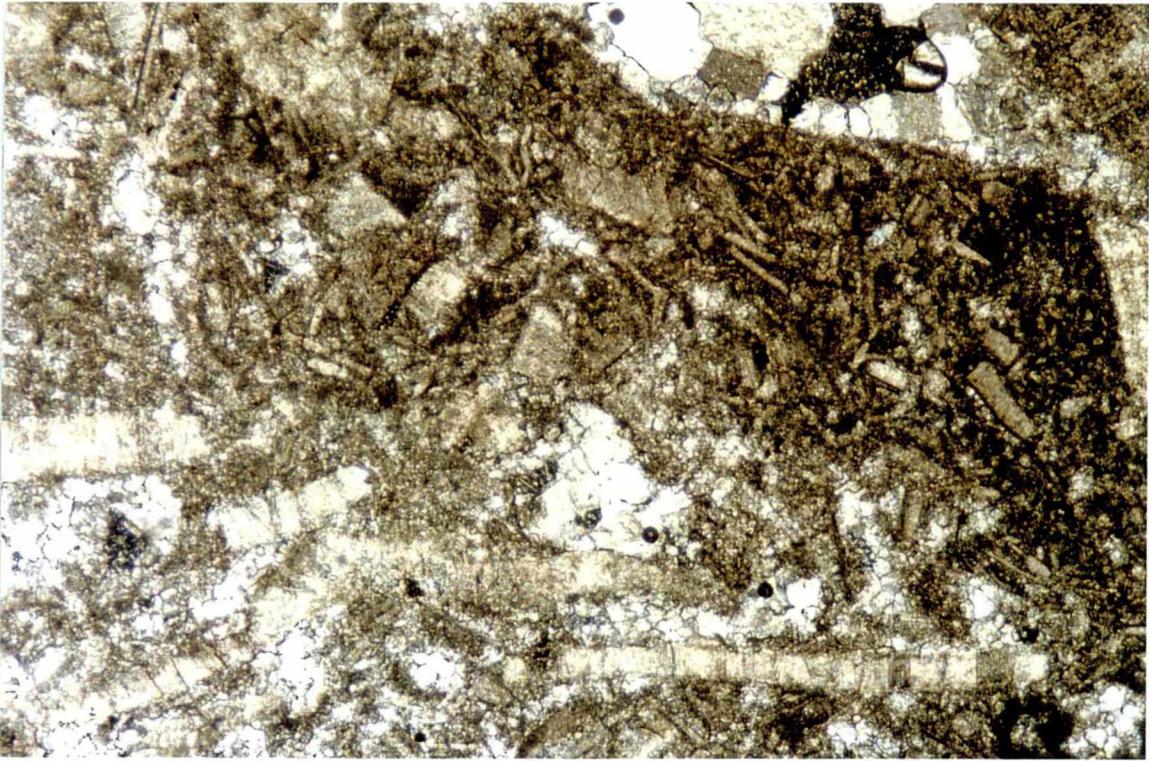


Fig.30 - Lioz da Colhoa. Biomicrosparrudito, Packstone. Aspecto geral (x 37; N +).

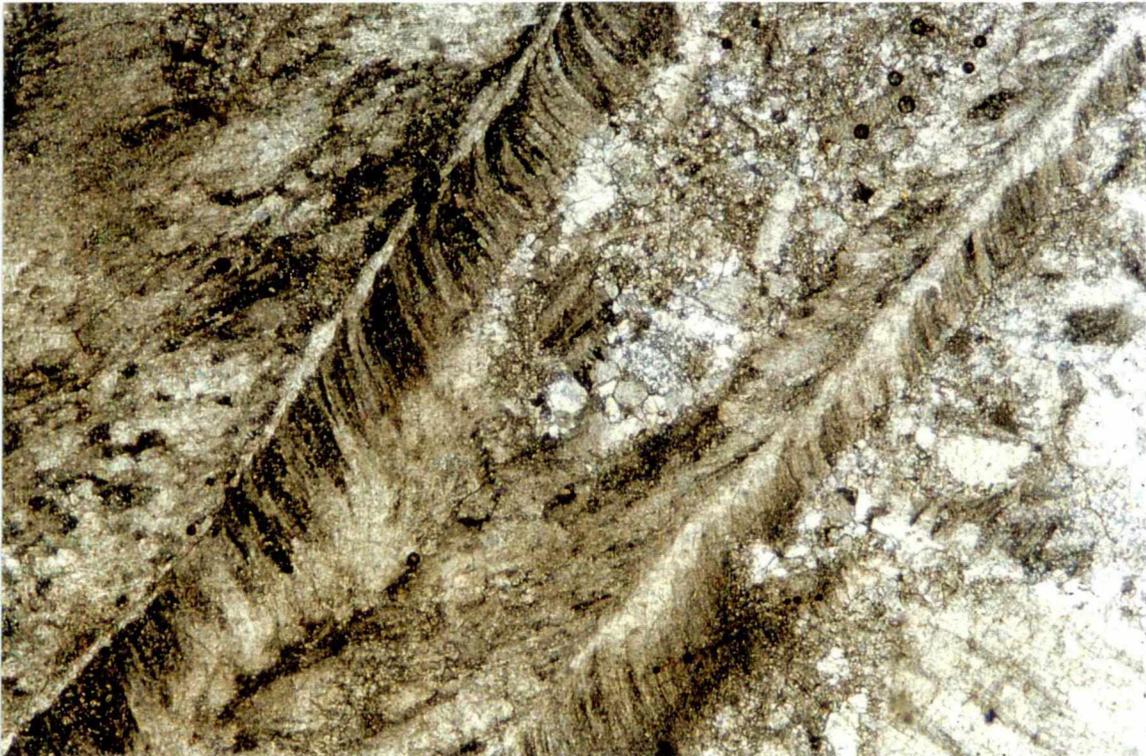


Fig.31 - Lioz da Colhoa. Bioclastos constituídos por calcite fibrosa e granular (x 37; N +).

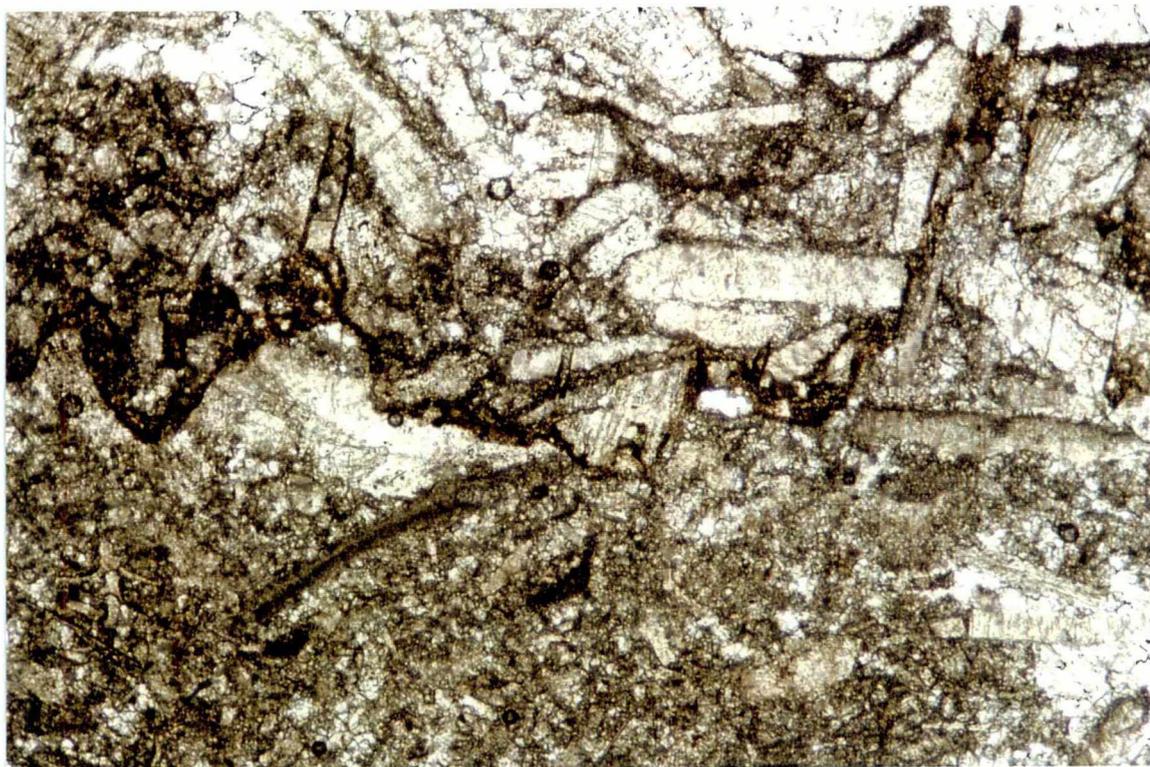


Fig.32 - Lioz da Colhoa. Microestilolitos, preenchidos por material ferruginoso, cortando indistintamente a matriz, o cimento e os bioclastos (x 37; N +).

Lioz de Fervença (referência LF, Pedreira de Fervença, Concelho de Sintra, Biomicrosparrudito, Packstone). Calcário bioclástico, em que os clastos heterométricos apresentam dimensões entre 2 mm a 1 cm e são, em geral, constituídos por calcite fibrosa disposta irregularmente (Fig.33). Outros bioclastos são constituídos por calcite granular grosseira anédrica e translúcida. Observam-se intraclastos de calcário biomicrítico, parcialmente recristalizado, com dimensões entre 1 mm a aproximadamente 1.5 cm (Fig.34). A matriz inicialmente micrítica foi parcialmente recristalizada, chegando o grão em algumas zonas da rocha a atingir, dimensões próximas dos 1000 μm com fronteiras entre grãos bem definidas (Fig.35). Algumas relíquias, que restam da textura matricial micrítica primária, constituem pequenas ilhas dispersas no mosaico inequigranular predominantemente xenomórfico de calcite espática (textura grumosa) (Fig.35).

Relativamente à amostra LC (Lioz do Colhoa), o Lioz de Fervença parece ser ligeiramente mais rico em intraclastos. Parece, também, apresentar menos grãos de minerais opacos e, ainda, raros microestilolitos, por vezes, preenchidos por fracção argilosa carbonatada, que não chegam a formar, em algumas secções estudadas, estruturas lineares contínuas (Fig.36). Observam-se, ainda, algumas ocorrências de silicificação (Figs.37 e 38).



Fig.33 - Lioz Fervença. Biomicrosparrudito, Packstone. Aspecto geral (x 37; N | |).

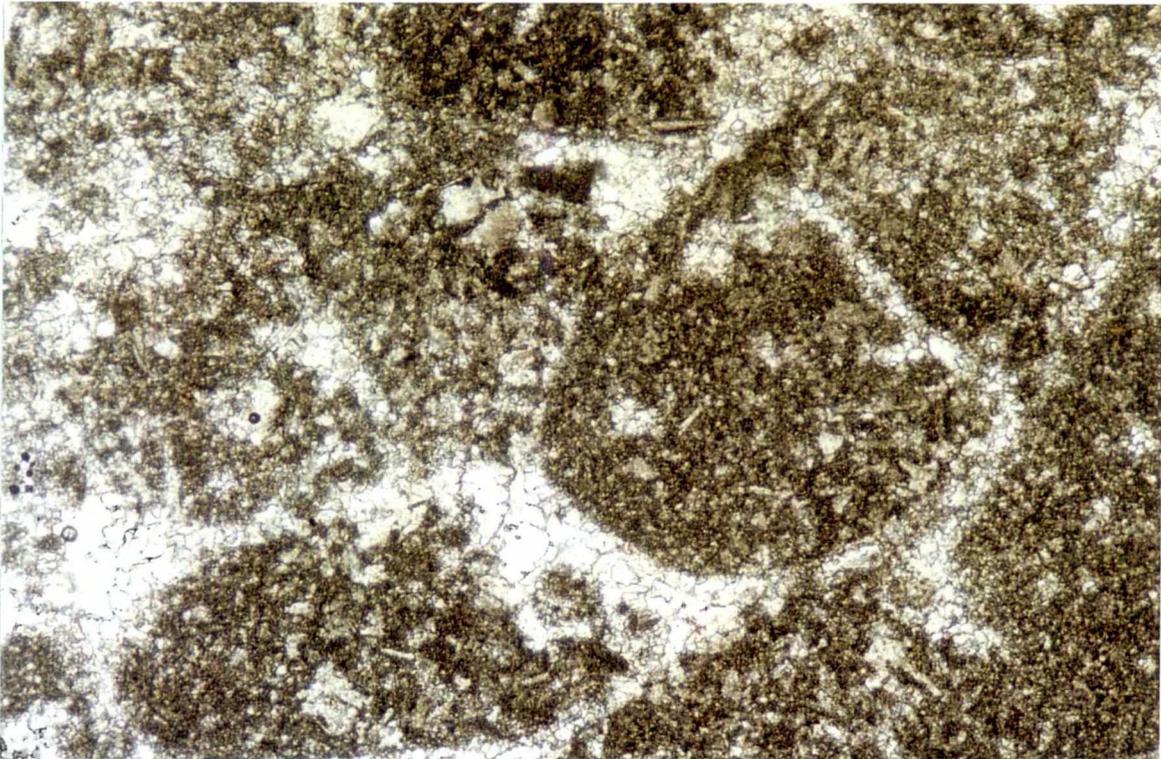


Fig.34 - Lioz de Fervença. Intraclastos biomicríticos, parcialmente recristalizados (x 37; N | |).

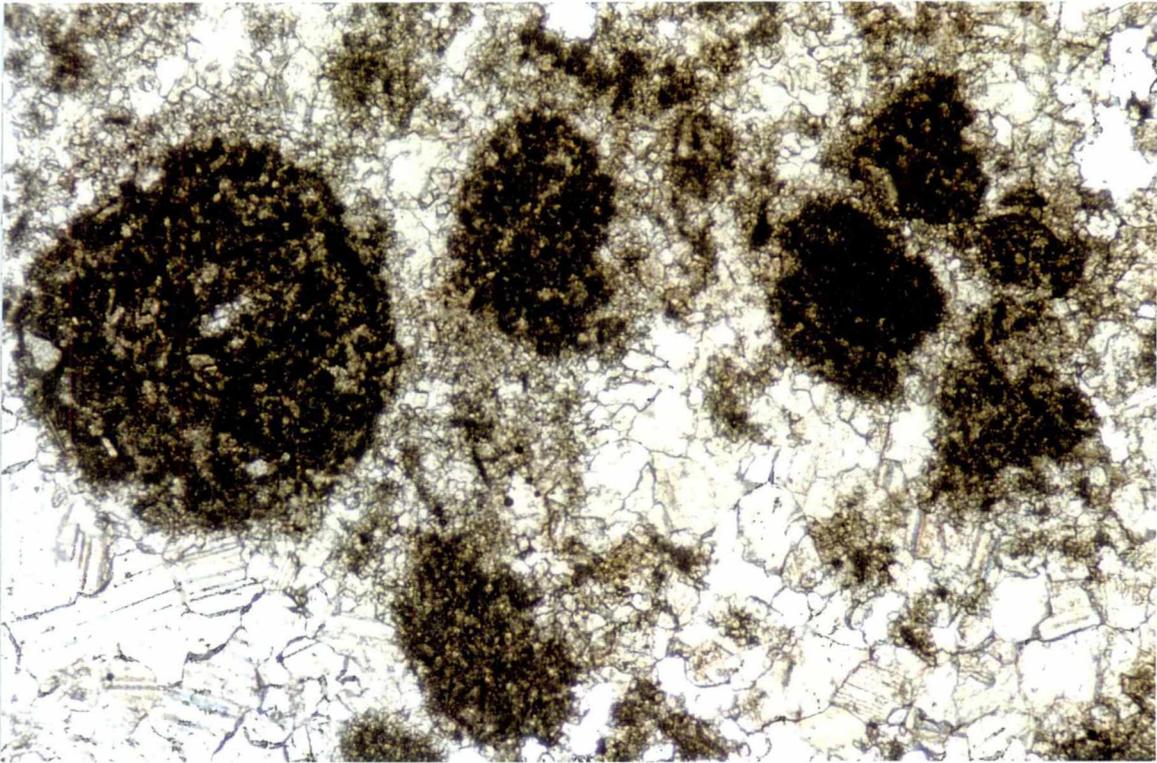


Fig.35 - Lioz de Fervença. Relíquias da matriz micrítica primária (textura grumosa) (x 37; N | |).

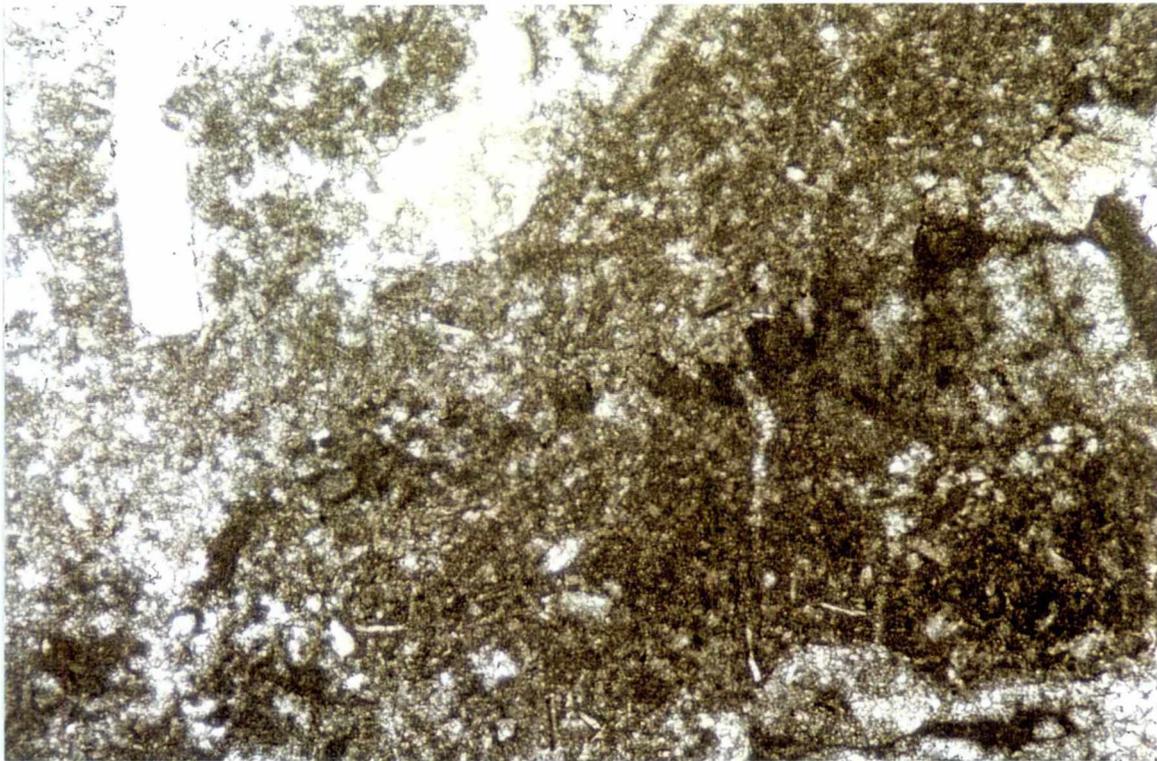


Fig.36 - Lioz de Fervença. Microestilolito fechado, preenchido por fracção argilosa carbonatada (x 37; N | |).

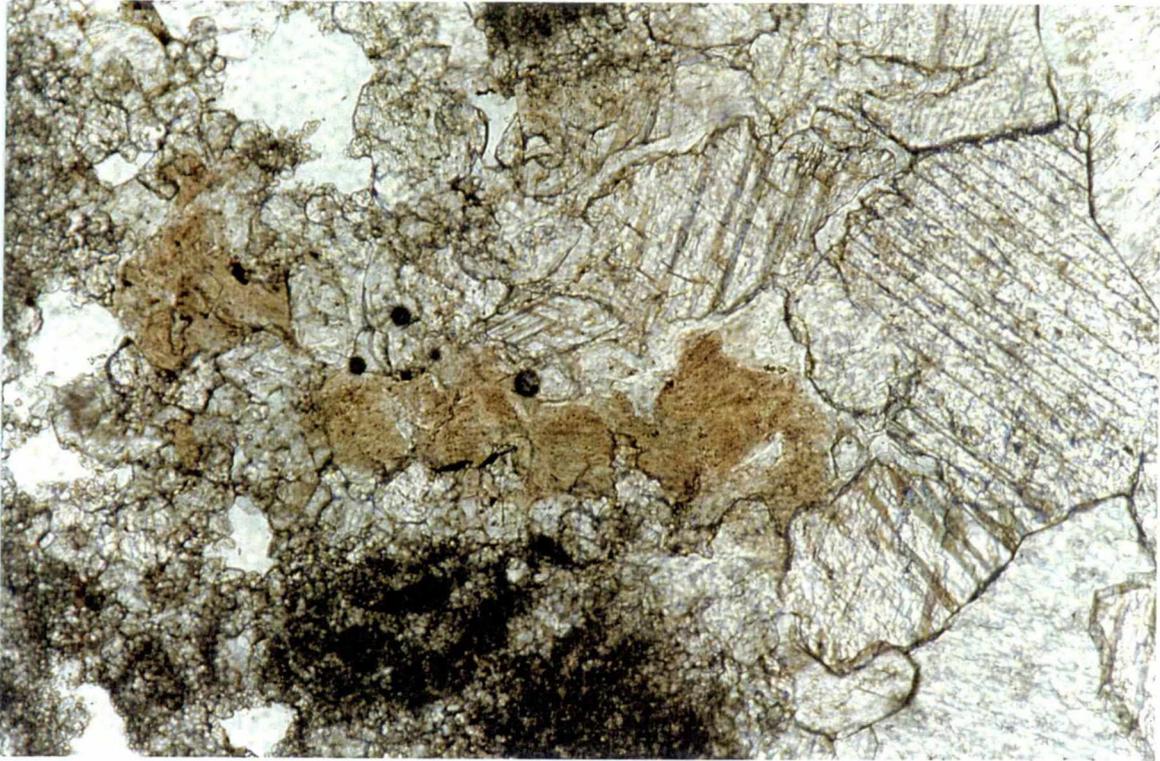


Fig.37 - Lioz de Fervença. Indícios de silicificação (x 93; N | |).



Fig.38 - Lioz de Fervença. Idem (x 93; N +).

Encarnadão de Negrais (referência EN, Pedreira da Empresa Moucheira Lda., Fervença, Concelho de Sintra, Biopelmicrosparito, Packstone). Calcário microsparítico, com bioclastos, em geral, alongados e diminutos (cuja maior dimensão muito raramente excede os 400 μm), dispersos numa matriz aproximadamente equigranular, profusamente recristalizada e relativamente homogénea (Figs.39 e 40). Os calciclastos ("pellets") são frequentes, com formas aproximadamente ovais e dimensões que variam, em geral, entre 40 μm e 160 μm . São, também, visíveis algumas abelheiras, por vezes muito irregulares, dispersas na matriz. Estas apresentam diversas texturas de preenchimento: mosaico calcítico granular grosseiro xenomórfico, em que algumas secções de cristais chegam a ter um diâmetro máximo \approx 240 μm ; textura geopética ("geopetal fabric"; Sander, 1951, in Pettijohn, 1975) que se caracteriza pelo preenchimento parcial de grandes vazios por material silto-argiloso que cobre o fundo da cavidade, sendo o restante espaço preenchido por calcite espática (Fig.41); textura grumosa, que é uma textura híbrida, sendo constituída simultaneamente por calcite esparítica e calcite micrítica, em que os grânulos micríticos são de dimensões aproximadamente inferiores a 800 μm , com fronteiras predominantemente pouco nítidas (Fig.42). É significativa a profusão de microestilolitos, frequentemente preenchidos por material fino argilo-ferruginoso, que cortam indistintamente as diversas estruturas distribuídas por toda a massa rochosa ou surgem como envolventes microestilolíticas no contacto de aglomerados de grãos de calcite mais grosseira com a matriz (Fig.43). Localmente parece haver aspectos, quer de inversão textural, marcados pelo contacto microestilolítico da matriz com grandes intraclastos de um calcário em tudo semelhante, com dimensões, por vezes, superiores a 2 cm e, em geral, não tão profusamente recristalizados (Fig.40), quer de micritização, materializados em envolventes micríticas (epimatriz de Dickinson) de elementos aloquímicos profusamente recristalizados (Fig.44).

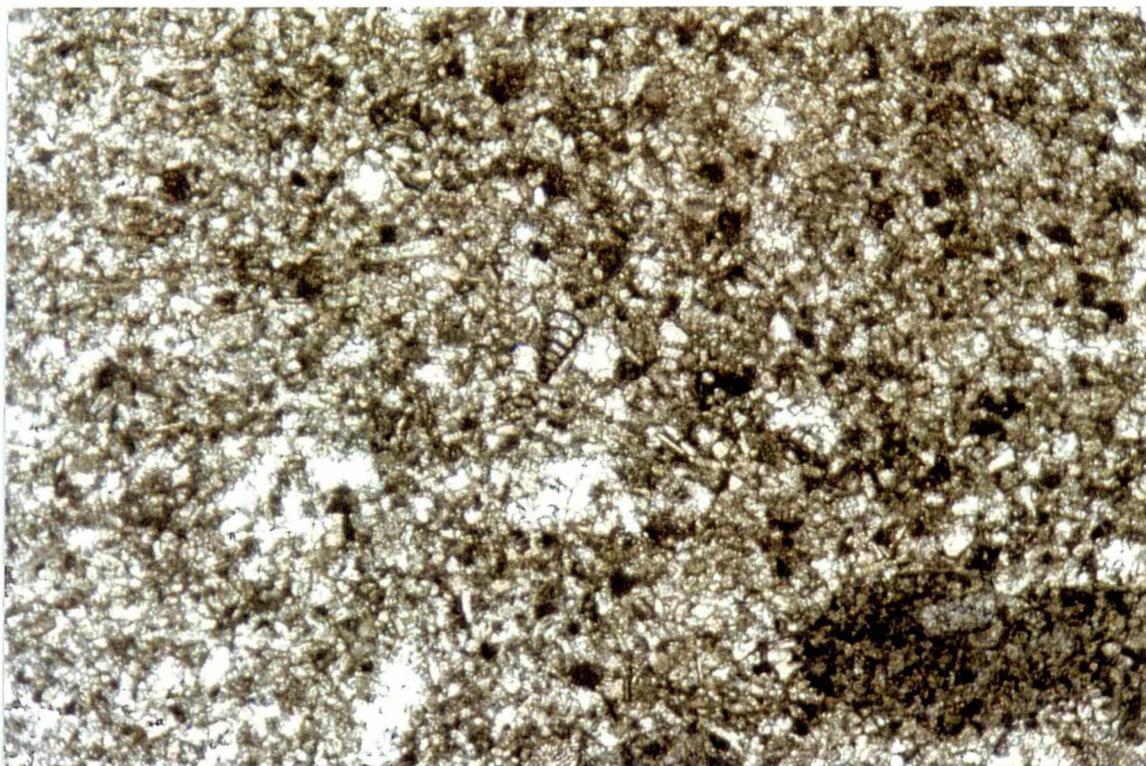


Fig.39 - Encarnadão de Negrais. Biopelmicrosparito, Packstone. Aspecto geral (x 37; N | |).

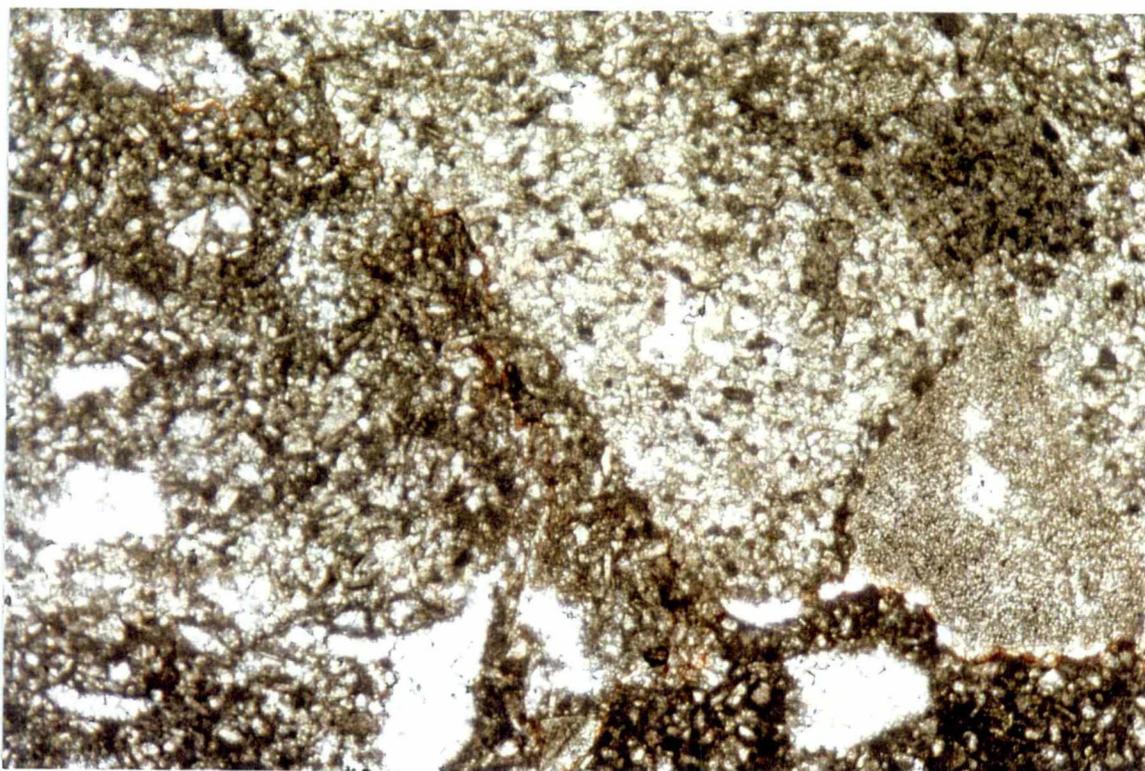


Fig.40 - Encarnadão de Negrais. Contacto entre um intraclasto e a matriz (x 37; N | |).

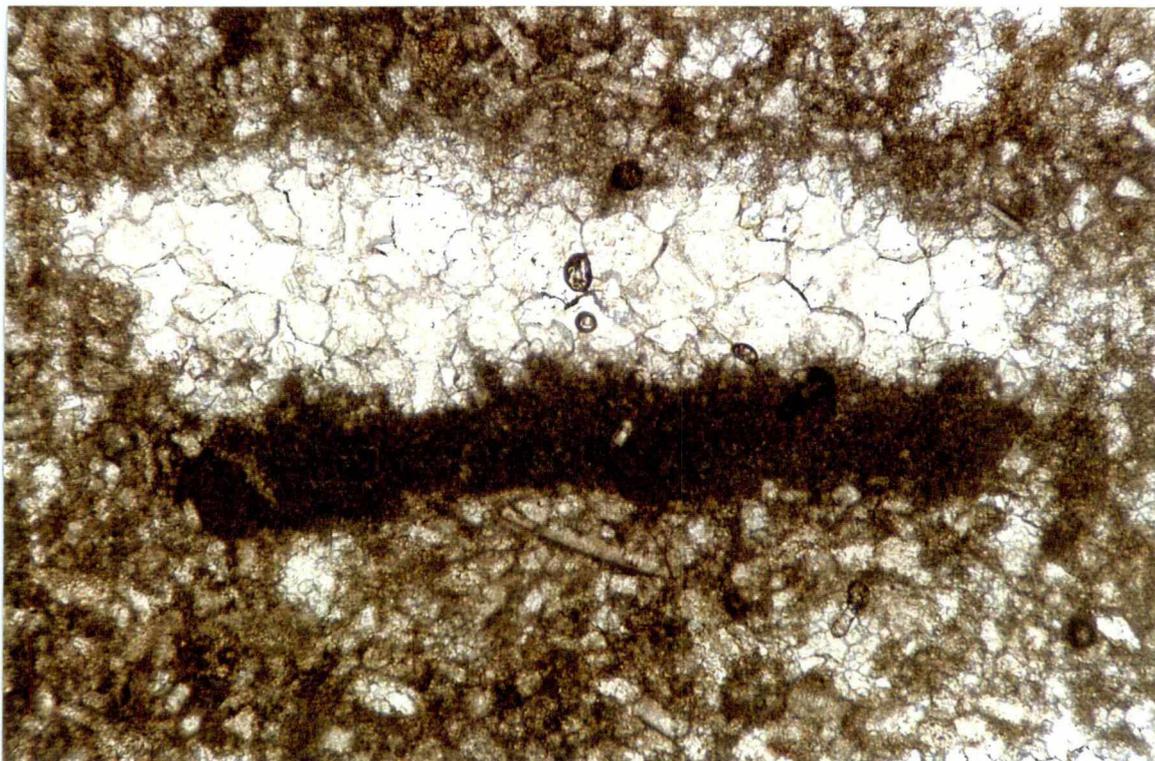


Fig.41 - Encarnadão de Negrais. Textura geopética (x 37; N | |).

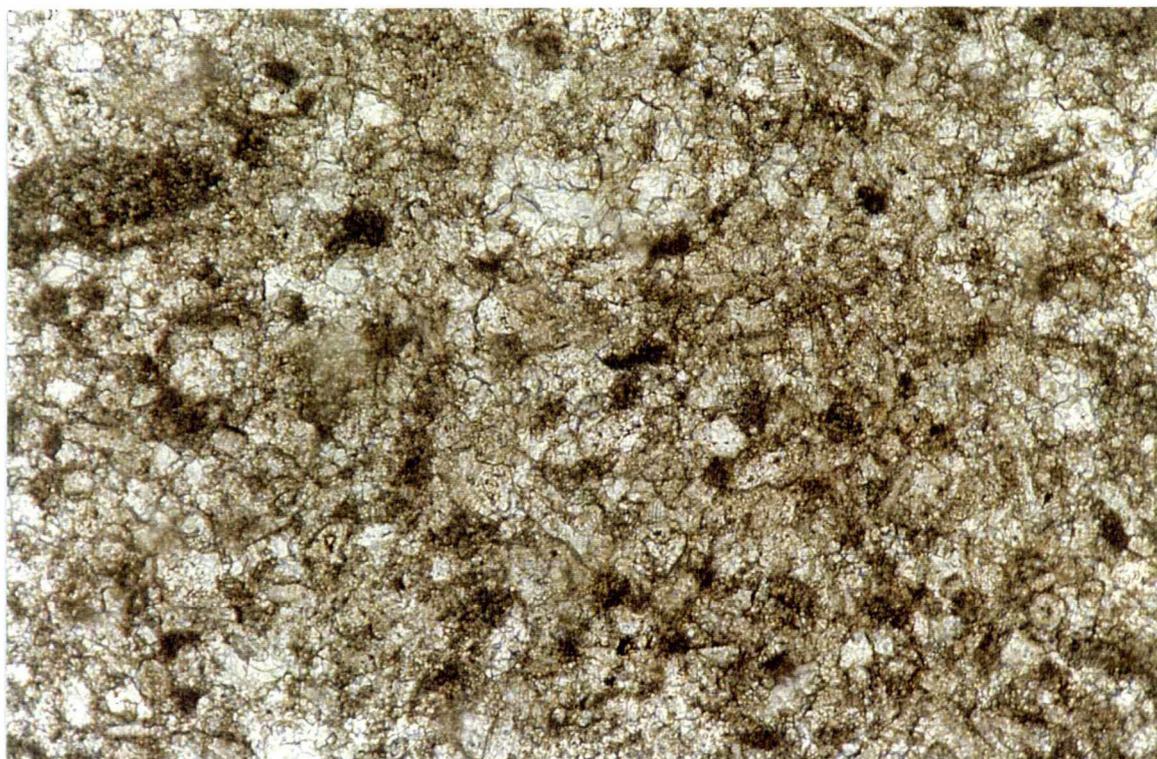


Fig.42 - Encarnadão de Negrais. Textura grumosa (x 93; N | |).

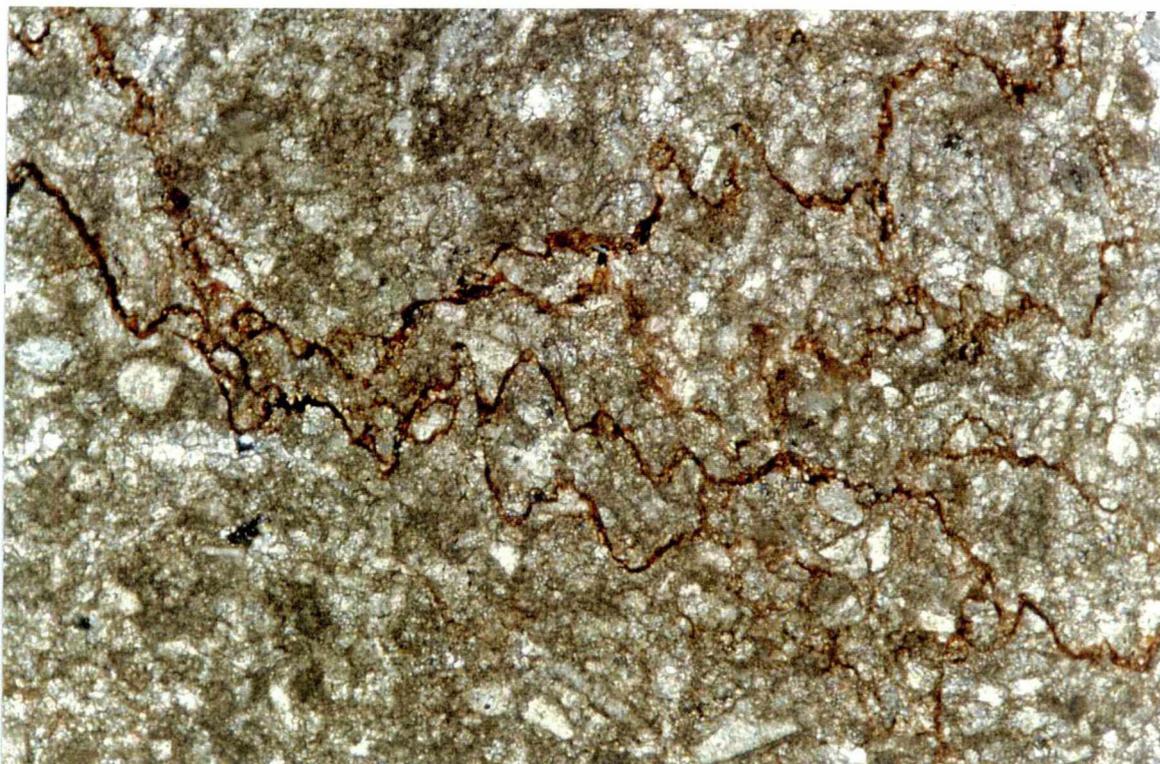


Fig.43 - Encarnadão de Negrais. Microestilólitos preenchidos por fino material argilo-ferruginoso, cortando indistintamente toda a rocha (x 93; N | |).

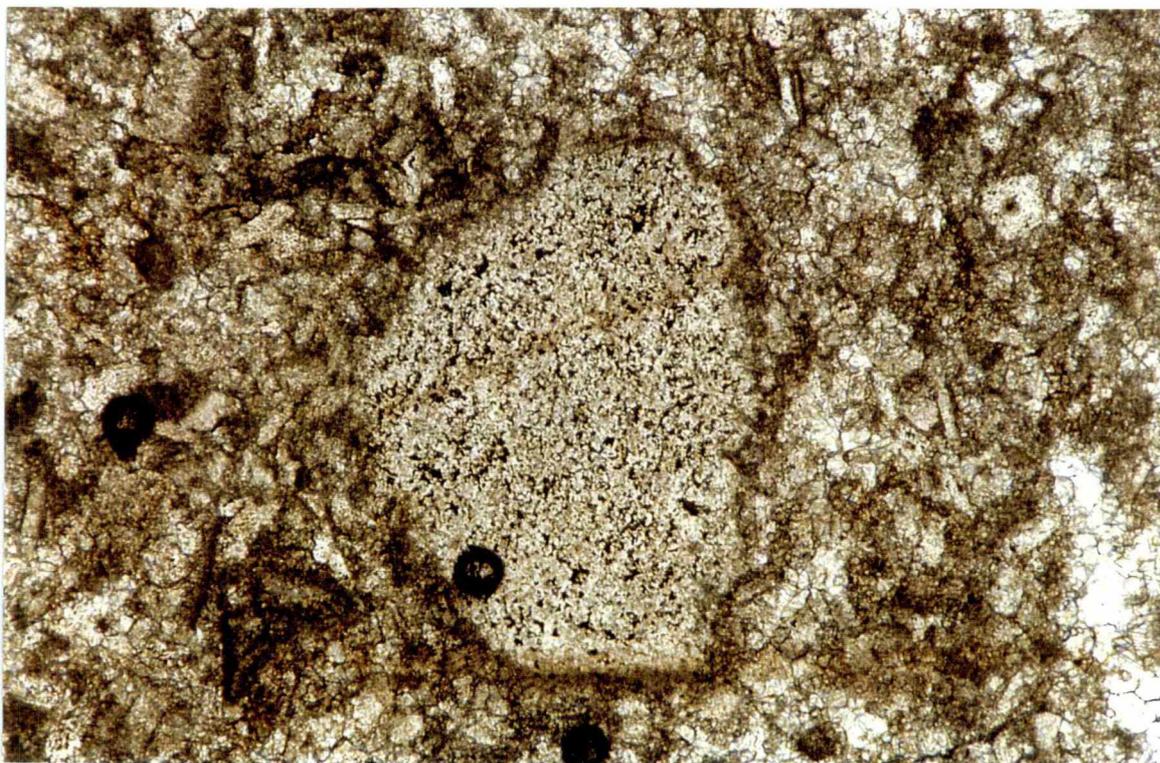


Fig.44 - Encarnadão de Negrais. Envolvente micrítica sublinhando o contorno de um grão aloquímico profusamente recristalizado (x 93; N | |).

Amarelo de Negrais (referência AN, Pedreira da Empresa Moucheira Lda., Fervença, Concelho de Sintra, Biomicrorrudito, Wackstone). Calcário texturalmente muito heterogéneo, devendo-se a grande variação textural à heterogeneidade dimensional das secções dos bioclásticos dispersos na matriz de calcite micrítica e à intensa e selectiva recristalização que atinge essencialmente esses elementos estruturais (Fig.45). A matriz é, pois, fundamentalmente uma micrite fossilífera com diversas secções de bioclastos heterométricos (desde 120 μm a 2400 μm de comprimento). Estes são, em geral, alongados e constituídos, quer por calcite fibrosa com disposição irregular, quer ainda por calcite granular grosseira a fina. Observam-se, ainda na matriz, a dispersão de pequenas abelheiras de morfologia irregular, cujo maior diâmetro é, em geral, < 640 μm , preenchidas com calcite inequigranular anédrica que, localmente, dá origem a diversos aspectos texturais: grumoso e fenestrado ("fenestral fabric") (Figs.46 e 47). Em lâmina delgada as secções dos grandes rudistas (grãos aloquímicos dominantes) mostram recristalização diferencial, sendo constituídas por calcite espática, predominantemente xenomórfica, envolvendo o calcário biomicrítico localizado na parte mais interna. Estes moldes internos são texturalmente heterogéneos em virtude de serem constituídos por bioclastos, muito dispersos, profusamente recristalizados e por inúmeras abelheiras (Fig.48). Há profusa impregnação ferruginosa limonítica sublinhando, quer as fronteiras, em geral, microestilolíticas dos bioclastos e abelheiras, quer as juntas dos grãos da calcite espática da envolvente do molde biomicrítico (Fig.49). A impregnação ferruginosa aparece, muitas vezes, associada também a fenómenos de dolomitização materializados através da presença de romboedros de dolomite com contornos ferruginosos, localizados em zonas da lâmina (interior dos grandes fósseis) com recristalização profusa (Fig.50). Nota-se, ainda, a presença de raríssimos "oóides", em geral, aproximadamente ovais, com estrutura radial (calcite fibrosa radial) e relíquias da sua estrutura concêntrica primária (Fig.51). Localmente observam-se, ainda, aspectos de inversão textural (Fig.52).

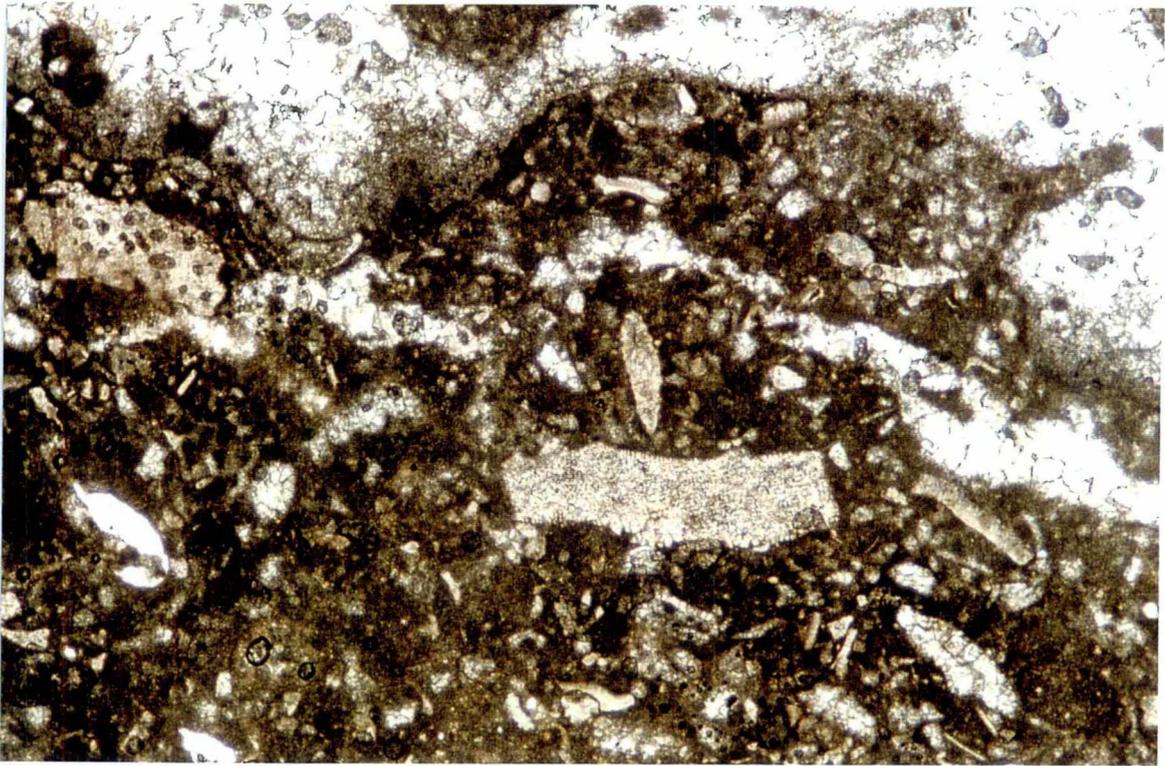


Fig.45 - Amarelo de Negrais. Biomicrorrudito, Wackstone. Aspecto geral (x 37; N | |).

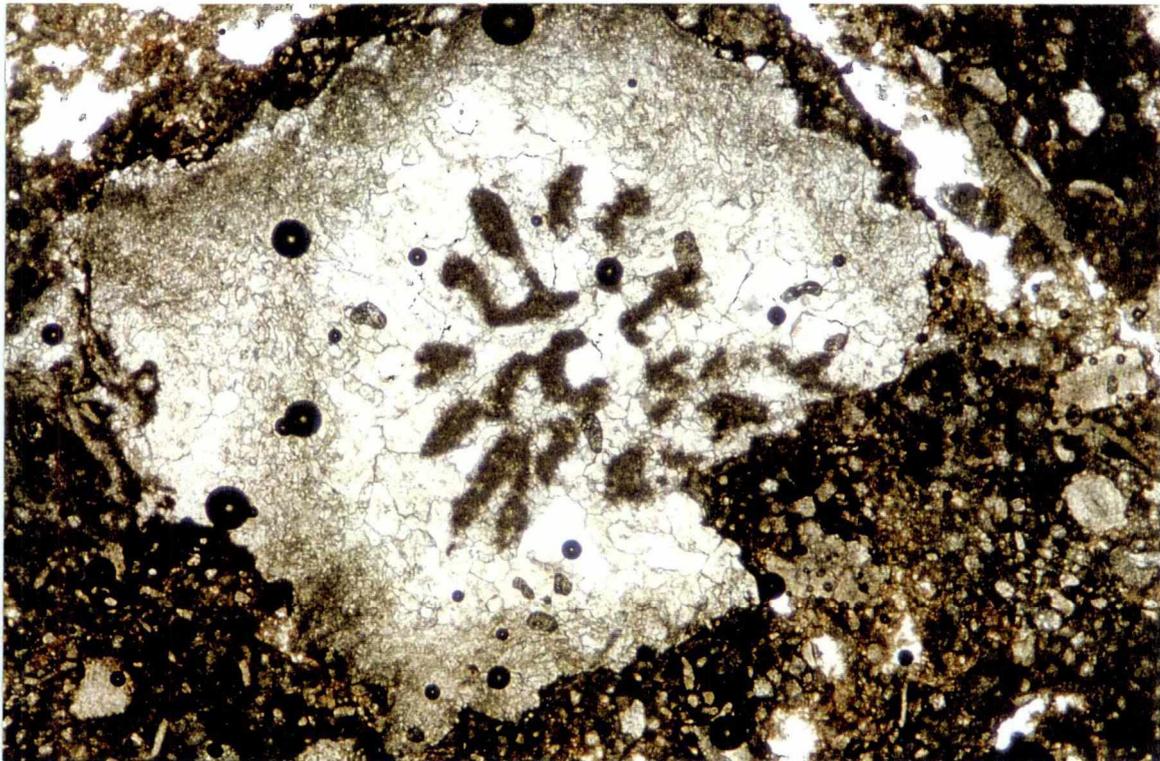


Fig.46 - Amarelo de Negrais. Abelheira, com textura grumosa. Calcite inequigranular e anédrica envolvendo relíquias micríticas da estrutura inicial (x 37; N | |).

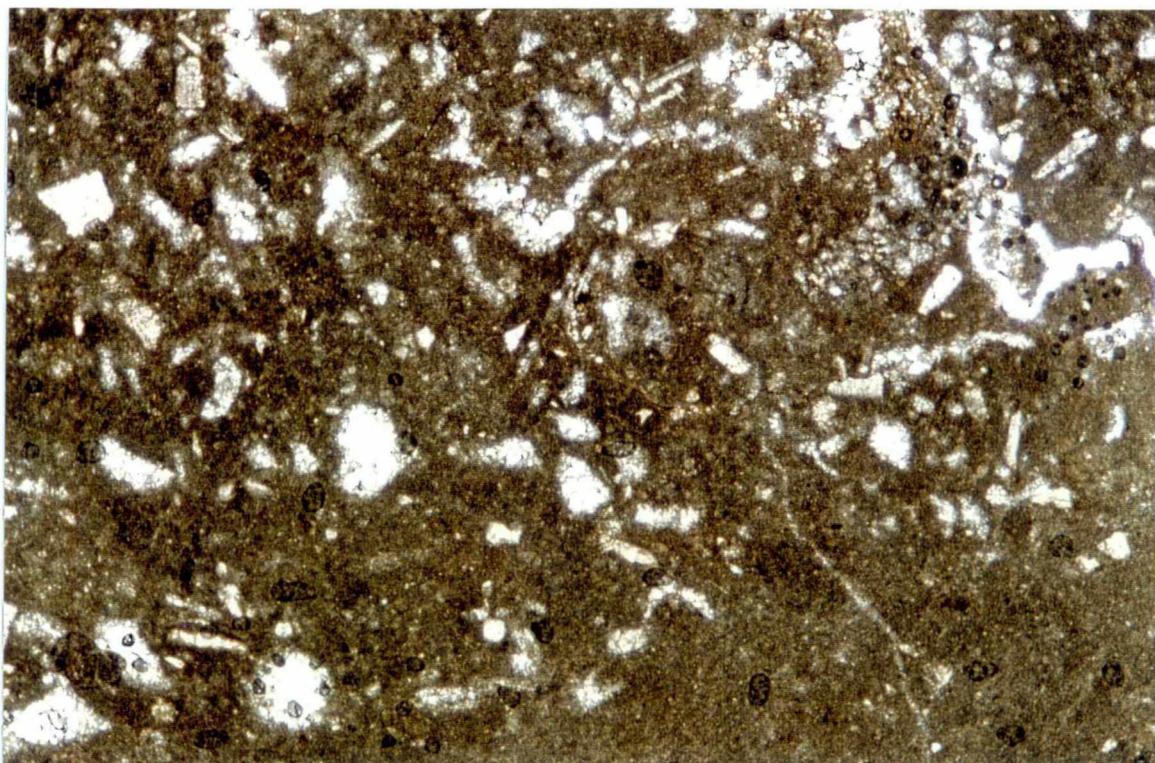


Fig.47 - Amarelo de Negrais. Textura fenestrada (x 37; N | |).

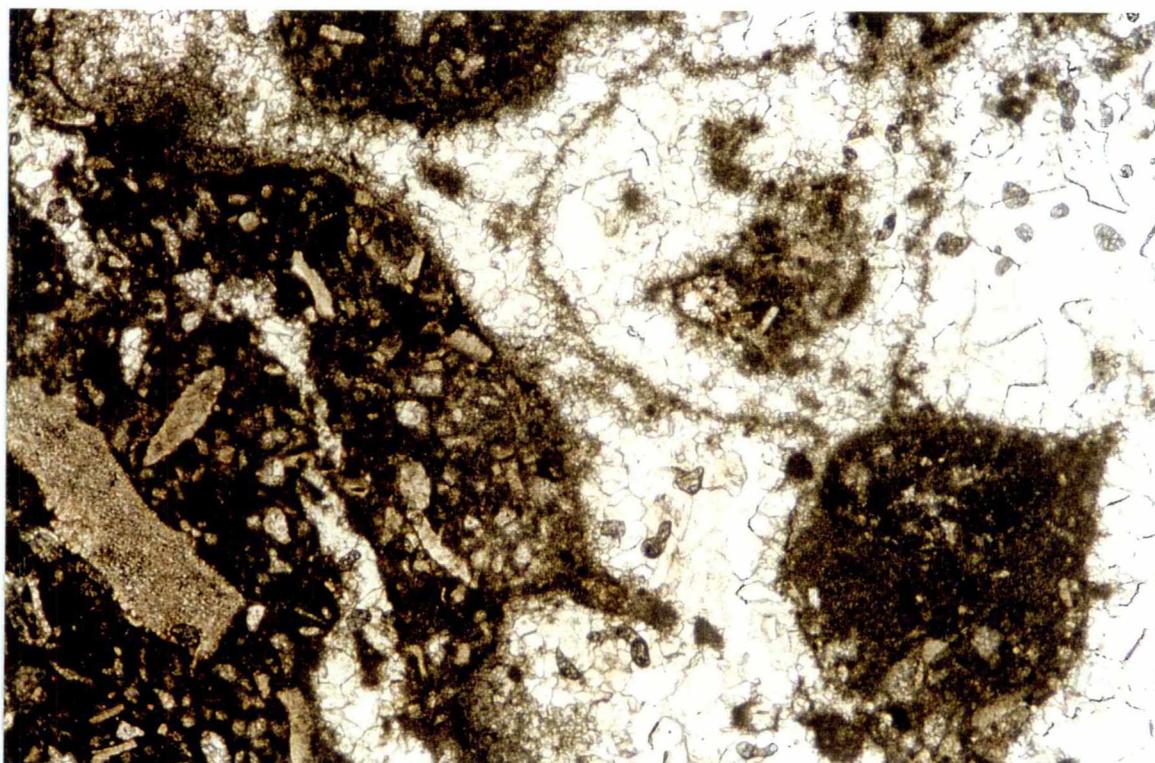


Fig.48 - Amarelo de Negrais. Mosaico granular grosseiro de calcite espática predominantemente xenomórfica, envolvendo calcário biomicrofítico (x 37; N | |).

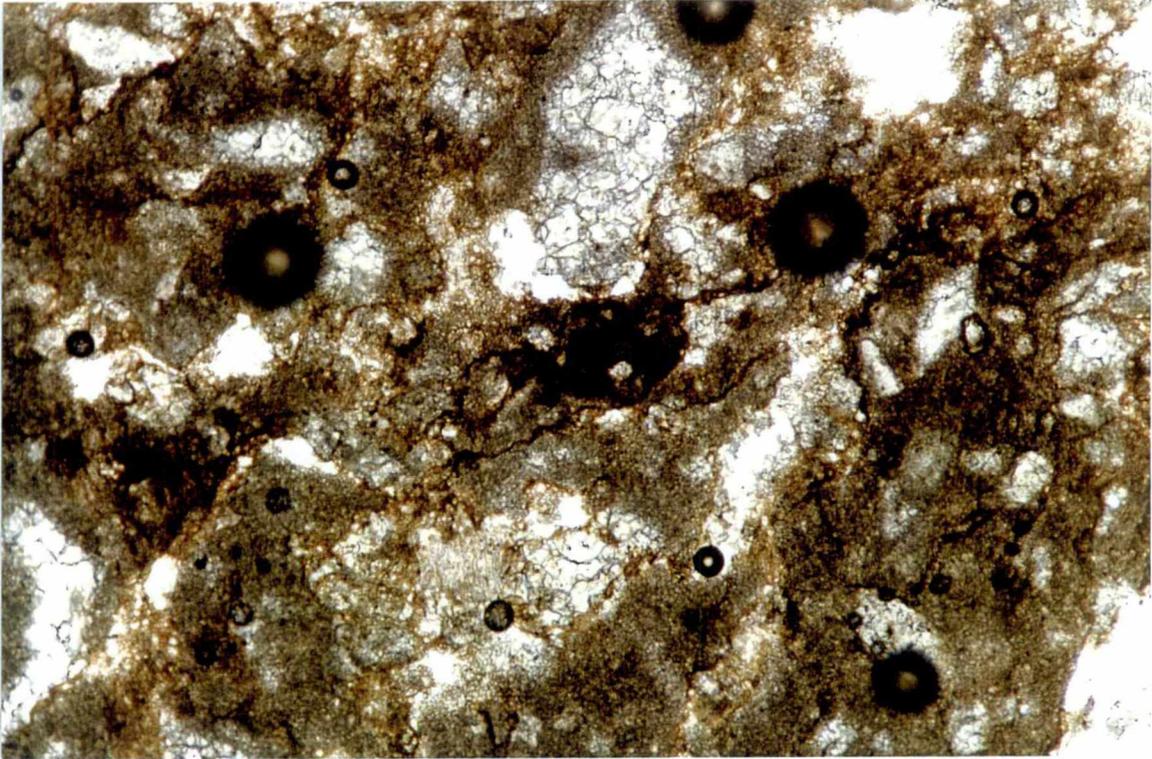


Fig.49 - Amarelo de Negrais. Microestilolitos com preenchimento ferruginoso limonítico (x 93; N | |).

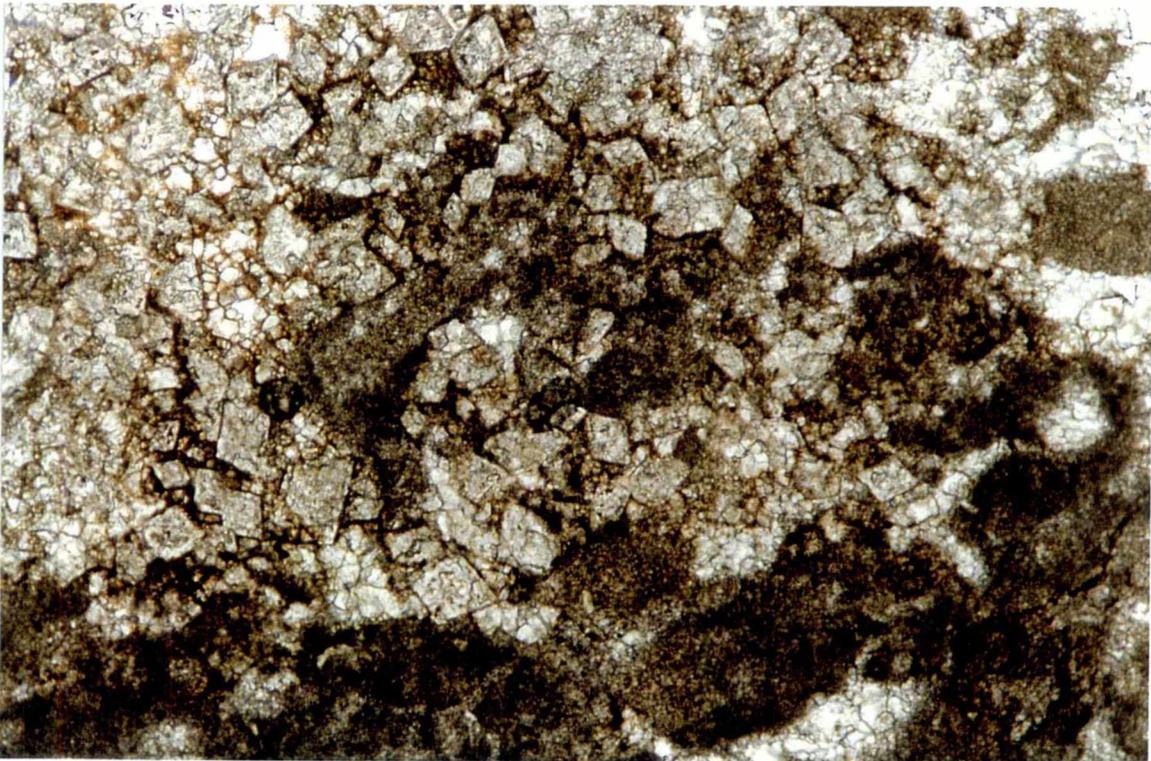


Fig.50 - Amarelo de Negrais. Romboedros de dolomite com contornos ferruginosos, em zonas de profusa recristalização (x 93; N | |).

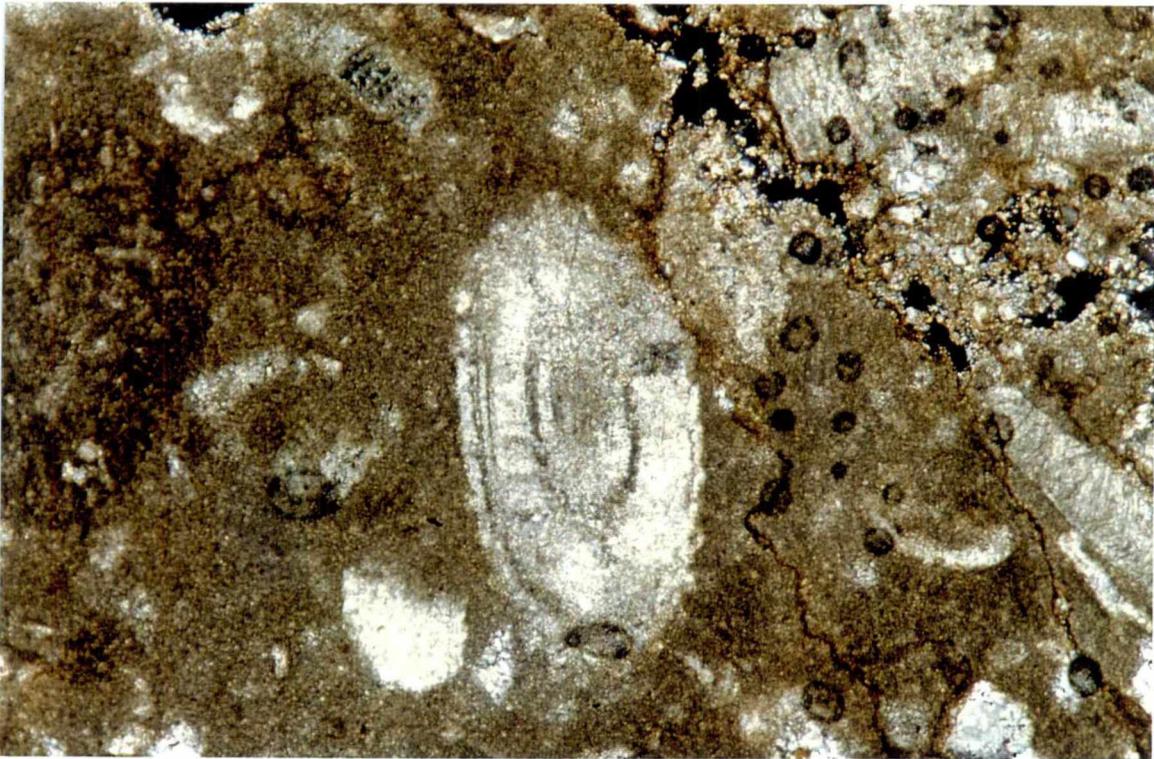


Fig.51 - Amarelo de Negrais. Oóide, com estrutura radial (calcite fibrosa radial) e relíquias da sua estrutura concêntrica primária (x 93; N | |).

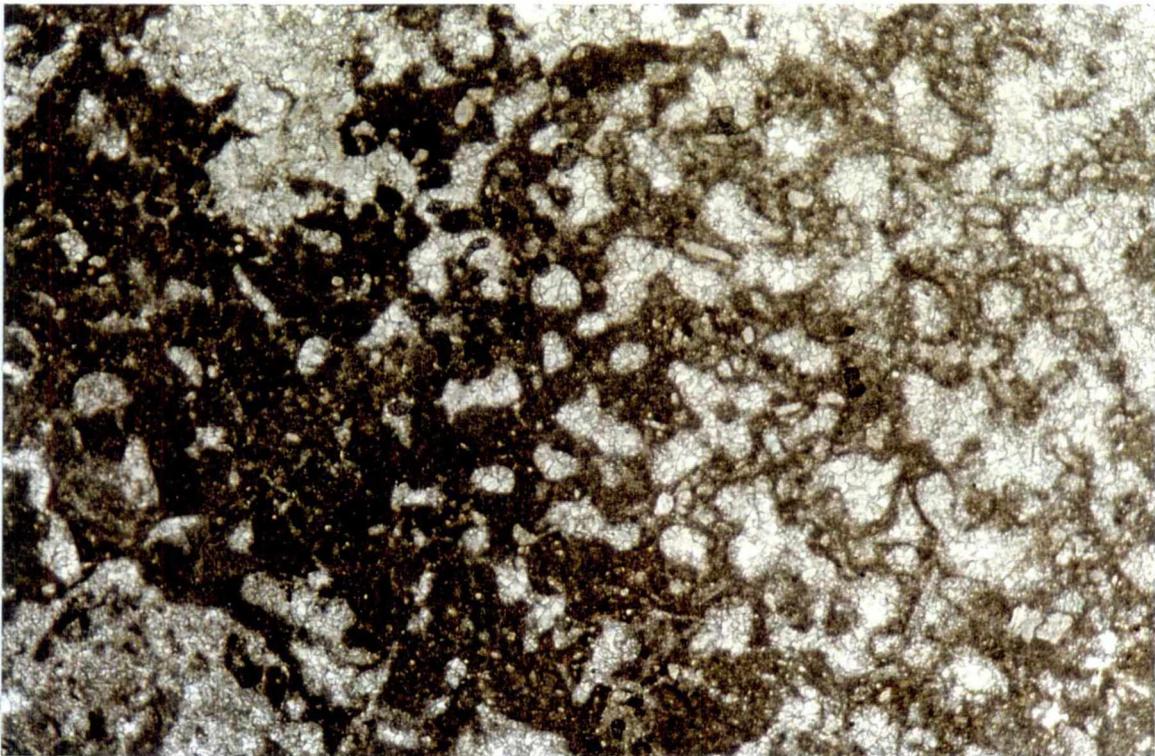


Fig.52 - Amarelo de Negrais. Aspecto de inversão textural (x 37; N | |).

Sublinha-se a existência de uma variedade de Encarnadão estrutural e texturalmente muito idêntico a esta amostra de Amarelo de Negrais, residindo a diferença sobretudo na natureza do material que preenche os estilólitos e microestilólitos e, ainda, na forte dolomitização que está presente no Amarelo de Negrais.

Encarnadão vidro (referência EV, Pedreira do Domingos, Pedra Furada, Concelho de Sintra, Biopelmicrosparito, Packstone). Calcário com bioclastos heterométricos, com raros bioclastos em que a maior dimensão destes é aproximadamente igual a 1600 μm (Fig.53). É, todavia, largamente dominante a fracção bioclástica mais fina, de dimensão inferior a 400 μm , e em que os microfragmentos são muitas vezes alongados e constituídos por calcite granular. São frequentes calciclastos ("pellets") subesféricos ou ovais, com dimensões, em geral, entre 40 μm e 160 μm , dispersos numa matriz profusamente recristalizada, relativamente homogénea e aproximadamente equigranular (Fig.53). São raras as vénulas de calcite espática. As abelheiras apresentam, em geral, preenchimento de calcite granular xenomórfica, de diâmetro máximo aproximadamente igual a 320 μm . Em lâminas delgadas desta rocha são também visíveis alguns microestilólitos frequentemente preenchidos por material argilo-ferruginoso, alguns opacos e, ainda, grãos aloquímicos profusamente recristalizados com envolventes micríticas (epimatriz de Dickinson)(Fig.54). Sublinhe-se, finalmente, que não obstante a amostragem estudada ostentar uma recristalização profusa, nem todas as lâminas observadas apresentam a mesma intensidade de recristalização.

No Quadro III apresenta-se em síntese a caracterização mineropetrográfica efectuada.

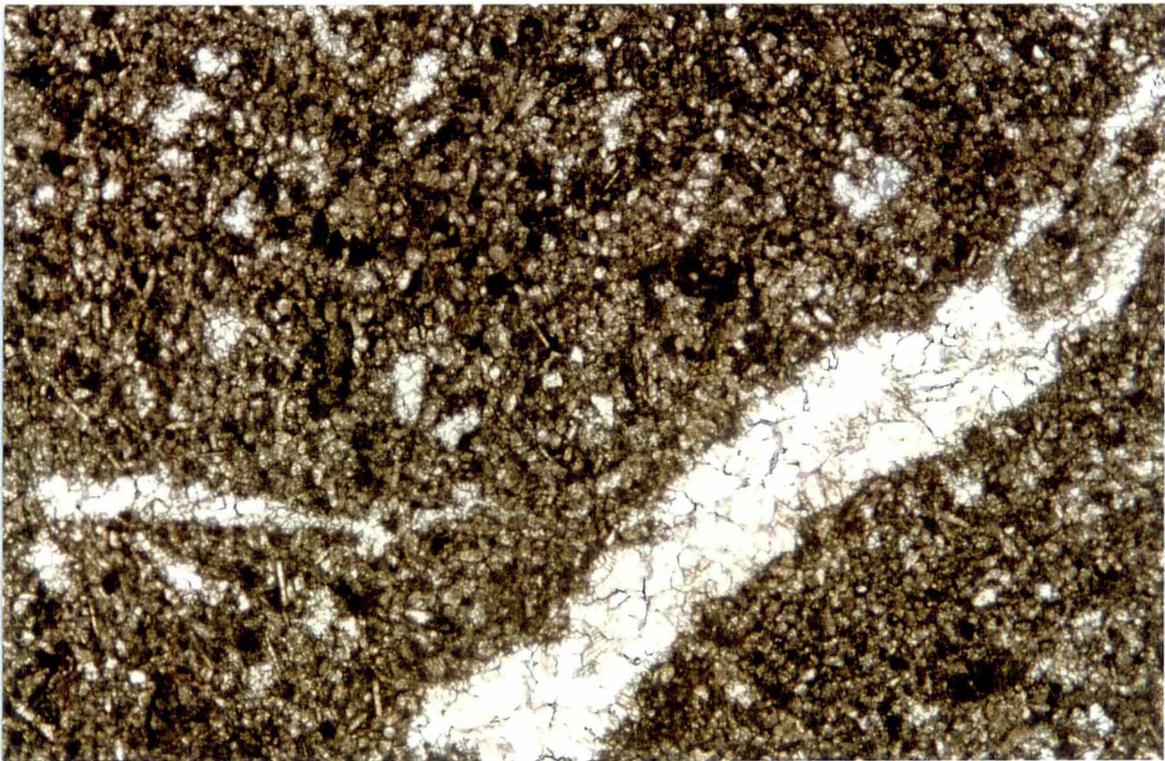


Fig.53 - Encarnadão vidroço. Biopelmicrosparito, Packstone. Aspecto geral (x 37; N | |).

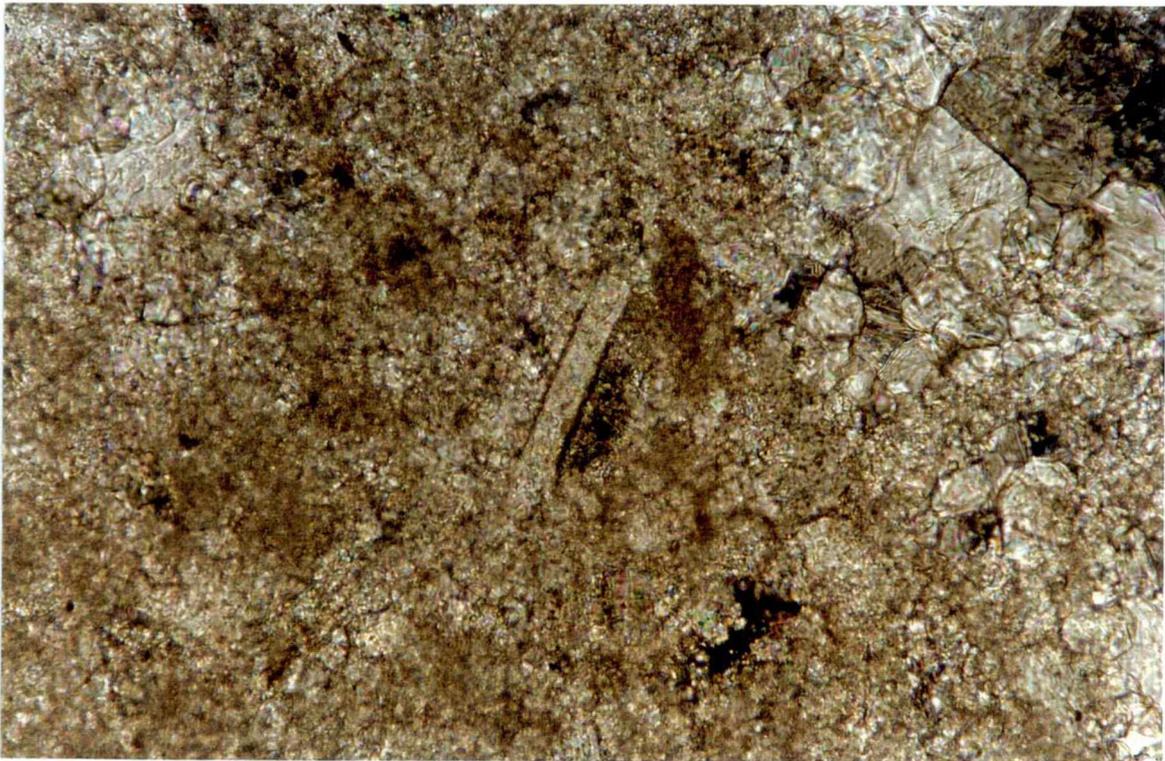


Fig.54 -Encarnadão vidroço. Pormenor da matriz parcialmente recristalizada e da secção de um fóssil com envolvente micrítica (x 235; N +).

Amostras (Referências)	Localização	Litologia	Microscopia e DRX				Sistemática
			Elementos figurados carbonatados	Grãos não carbonatados	Ortoquímicos	Observações	
LM	Pedreira de Laveiras, Concelho de Oeiras	Calcário microcristalino fossilífero creme, com manchas levemente rosadas	Bioclastos de fauna variada, com predominância de Rudistas (■)	Quartzo (V) (detritico e autigénico) Minerais opacos (V) Ilite/Haloisite* (V)	Microsparite (■) Micrite (V) Esparite (+)	Bioclastos mal calibrados; Matriz microcalcítica inequigranular Recristalização diferenciada Estilólitos nem sempre fechados	Biomicrosparito (Wackstone-Packstone)
NMM	Pedreira Domingos Ferreira, entre Birre e Malveira da Serra, Concelho de Oeiras	Calcário compacto, vidrarento, de fundo negro com inúmeros "fios" brancos calcíticos	Calciclastos ("Pellets") (■) Bioclastos de fauna variada (+) Oolitos (V) Intraclastos (V)	Quartzo (V) Micas (V) Dolomite (+) Minerais opacos (V) Hematite* (V) Haloisite* (V)	Micrite (■) Esparite (V)	Inúmeros "fios" brancos Alguma "abelheiras" Raros estilólitos	Pelmicroto fossilífero (Wackstone)
AZ	Pedreira do Azul de Sintra, Concelho de Sintra	Calcário cristalino de grão grosseiro, de um cinzento azulado, mais ou menos claro, uniformemente distribuído		Quartzo (V) Moscovite (V) Minerais opacos (V) Ilite/Haloisite* (V) Outros minerais como inclusões (Zircão, Apatite, etc)	Esparite (■)	Textura inequigranular grosseira anédrica	Esparito (Grainstone)
ETV	Pedreira António Lino, Campo Raso-Campo de Lapiás, Concelho de Sintra	Calcário compacto de cor vermelha manchada de pontos brancos	Intraclastos (■) Bioclastos de fauna variada (+)	Quartzo (V) Minerais opacos (V) Haloisite* (V) Impregnações ferruginosa (+)	Microsparite (■)	Finamente intraclástico, bem calibrado e rolados "Lizins" muito frequentes Raros "fios" de calcite (véculas de calcite)	Biointraclástico (Grainstone)
EF	Pedreira António Lino, Campo Raso-Campo de Lapiás, Concelho de Sintra	Calcário compacto de cor avermelhada com secções de alveolinídeos de cor branca	Bioclastos de fauna variada (■) Intraclastos (+)	Quartzo (V) Minerais opacos (V) Impregnações ferruginosa (+)	Microsparite (■)	Predomínio de alveolinídeos	Intraclástico (Grainstone)
LC	Pedreira do Sr. Rocha, Empresa Marmogal, Ferveça	Calcário microcristalino creme, fossilífero	Bioclastos de fauna variada, com predominância de Rudistas (■)	Quartzo (V) Minerais opacos (V) Ilite/Haloisite* (V)	Microsparite (■) Micrite (V) Esparite (+)	Relativamente à amostra LM: claramente mais cristalino, mais rico em fósseis e com estilólitos frequentemente fechados	Biomicrosparito (Packstone)
LF	Pedreira de Ferveça, Concelho de Sintra	Calcário creme, microcristalino fossilífero	Bioclastos de fauna variada, com predominância de Rudistas (■)	Quartzo (V) Minerais opacos (V) Ilite/Haloisite* (V)	Microsparite (■) Micrite (V) Esparite (+)	É macroscopicamente o mesmo calcário que o da amostra LC.	Biomicrosparito (Packstone)
EN	Pedreira da Empresa Moucheira Lda, Ferveça, Concelho de Sintra	Calcário compacto de cor vermelha	Calciclastos ("Pellets") (■) Bioclastos de fauna variada (+)	Quartzo (V) Haloisite* (V) Goetite* (V)	Microsparite (■) Micrite (+) Esparite (V)	Frequentes "lizins" preenchidos por material ferruginoso de tom vermelho intenso	Biointraclástico (Packstone)
AN	Pedreira da Empresa Moucheira Lda, Ferveça, Concelho de Sintra	Calcário fossilífero, de cor amarela	Bioclastos de fauna variada, com predominância de Rudistas (■) Oolitos (V)	Quartzo (+) Dolomite (□) Minerais opacos (+) Ilite/Haloisite* (V) Haloisite* (V) Impregnação limonítica (□)	Micrite (■) Esparite (+)	Bioclastos mal calibrados; Grande heterogeneidade textural Calcário algo margoso Profusa impregnação ferruginosa de tom limonítico	Biointraclástico (Wackstone)
EV	Pedreira do Domingos, Pedra Furada, Concelho de Sintra	Calcário compacto, vidrarento de cor vermelha	Calciclastos ("Pellets") (■) Bioclastos de fauna variada (+)	Minerais opacos (V) Goetite* (V)	Microsparite (■) Micrite (+) Esparite (V)	Matriz profusamente recristalizada, relativamente homogênea e aproximadamente equigranular	Biointraclástico (Packstone)

Legenda: ■ - Muito abundante, □ - Abundante, + - Presente, V - Vestigial
* - Determinações só por DRX.

Quadro III - Síntese da caracterização mineropetrográfica dos calcários estudados. Sistemática usada segundo Folk e Dunham.

V.5 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

V.5.1 - INTRODUÇÃO

A caracterização química, para além da caracterização mineralógica e textural, é um elemento importante na definição da qualidade dos materiais pétreos. Permite a compreensão de diversos processos e a previsão da sua evolução. É, pois, óbvio que o conhecimento da composição química das rochas é essencial para os estudos de índole físico-química aqui realizados.

Em certos casos, quando a granularidade da rocha é tão fina, muito do nosso conhecimento sobre a sua composição só poderá, em primeira aproximação, ser obtido mediante estudos de natureza química.

Torna-se, pois, de importância fundamental que a amostra seleccionada para análise seja verdadeiramente representativa da massa rochosa sob investigação. É essencial a satisfação de duas condições para que a análise de uma rocha tenha valor: a amostra deve ser representativa do corpo rochoso, e a análise propriamente dita deve representar verdadeiramente a composição da amostra seleccionada. Uma análise química, se bem que possa depender dos objectivos traçados, deve ser tão completa quanto possível e conciliável com a composição mineralógica da rocha em estudo.

V.5.2 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Efectuaram-se análises químicas elementares das amostras coligidas em pedreiras de onde é suposto terem sido explorados os diversos litotipos utilizados na edificação da Basílica da Estrela.

Os resultados obtidos, para dez amostras representativas dos litotipos eleitos como importantes para o estudo do decaimento do material rochoso da Basílica da Estrela, são expressos sob a forma de percentagens ponderais dos óxidos no Quadro IV e na Fig.55.

	LM	NMM	AZ	ETV	EF	LC	LF	EN	AN	EV	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	DESVIO_PADRÃO	c.d*
SiO ₂	0.16	8.77	2.48	1.45	1.91	1.41	1.18	3.50	11.21	0.64	11.21	3.27	0.16	3.71	1.13
Al ₂ O ₃	0.28	1.90	0.61	0.22	0.21	0.14	0.09	0.65	3.00	0.22	3.00	0.73	0.09	0.96	1.31
Fe ₂ O ₃	0.00	0.17	0.31	0.10	0.09	0.05	0.03	0.17	1.00	0.06	1.00	0.20	0.00	0.30	1.49
MgO	0.16	2.96	0.84	0.31	0.28	0.23	0.61	0.28	0.41	0.31	2.96	0.64	0.16	0.84	1.31
CaO	55.10	46.46	52.74	55.04	54.92	55.44	54.65	52.47	47.67	55.44	55.44	52.99	46.46	3.31	0.06
Na ₂ O	0.05	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.06	0.02	0.00	0.02	1.20
K ₂ O	0.01	0.58	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.23	0.00	0.58	0.09	0.00	0.19	1.97
MnO	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	1.05
TiO	0.00	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.12	0.02	0.00	0.04	1.94
P.R.	43.59	39.69	42.28	42.01	43.09	42.39	43.09	42.23	36.64	43.38	43.59	41.84	36.64	2.13	0.05
Total	99.35	100.72	99.34	99.14	100.50	99.66	99.65	99.43	100.28	100.05	100.97	99.93	99.22	0.62	0.01
Ca/Mg	344.38	15.70	62.79	177.55	196.14	241.04	89.59	187.39	116.27	178.84	344.38	160.97	15.70	94.53	0.59

Legenda: - , não determinado;

* (c.d) - coeficiente de dispersão;

LM - Lioz do Murganhal (Pedreira de Laveiras, Concelho de Oeiras)

NMM - Negro Mem Martins (Pedreira Domingos Ferreira, entre Birre e Malveira da Serra, Concelho de Cascais)

AZ - Azul de Sintra (Pedreira do Azul de Sintra, Concelho de Sintra)

ETV - Encarnadão tipo vidro (Pedreira do António Lino, Campo Raso-Campo de Lapiás, Concelho de Sintra)

EF - Encarnadão fino (Pedreira do António Lino, Campo Raso-campo de Lapiás, Concelho de Sintra)

LC - Lioz da Colhoa (Pedreira do Sr. Rocha, Empresa Marmogal, Fervença, Concelho de Sintra)

LF - Lioz Fervença (Pedreira de Fervença, Concelho de Sintra)

EN - Encarnadão de Negrais (Pedreira da Empresa Moucheira Lda., Concelho de Sintra)

AN - Amarelo de Negrais (Pedreira da Empresa Moucheira Lda., Concelho de Sintra)

EV - Encarnadão vidro (Pedreira do Domingos, Pedra Furada, Concelho de Sintra)

Quadro IV - Análise química dos calcários estudados (% em peso) (LAMPIS). Valores máximos, médios, mínimos, desvios-padrão, coeficiente de dispersão (c.d) e relação Ca/Mg.

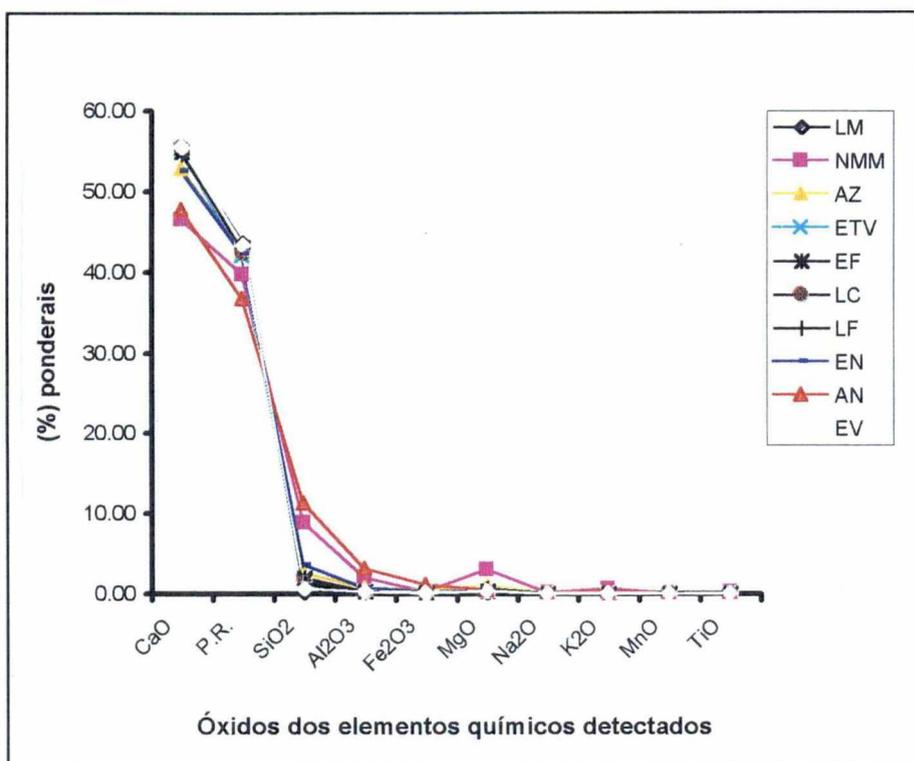


Fig.55 - Composição química média das rochas estudadas.

V.5.2.1 - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Da análise dos valores do Quadro IV e da Fig.55 ressaltam as seguintes considerações:

- * O CaO é o óxido dominante, apresentando teores que variam entre 46.46% e 55.44%. Cerca de 60% das amostras estudadas apresentam teores aproximadamente iguais a 55%, podendo ser consideradas como calcários puros (Martins, 1991; Mason & Moore, 1982; Klein & Hurlbut, 1993). Os valores mais baixos (46.46% e 47.67%) foram obtidos para o Negro de Mem Martins e Amarelo de Negrais, representados, respectivamente, pelas amostras NMM e AN.
- * O teor de MgO, com valores extremos iguais respectivamente a 0.16% e 2.96%, é muito variável, com coeficiente de dispersão $\approx 1,31$. Noventa por cento

(90%) das amostras estudadas apresentam, contudo, valores inferiores a 1%, variando entre 0.16% e 0.84%. Estes dados reflectem o carácter essencialmente calcítico destes calcários (Pettijohn, 1975; Romariz, 1960). A única excepção é constituída pelo valor apresentado pelo Negro de Mem Martins (referência **NMM**), que no conjunto dos valores obtidos se pode considerar como sendo um extremo, justificando o elevado valor do coeficiente de dispersão calculado. Segundo Pettijohn (1975), o MgO é um dos constituintes dos calcários frequentemente presentes e que se exceder 1 ou 2 por cento, indica provavelmente a presença de dolomite. Ainda, segundo este autor, o calcário Negro de Mem Martins pode ser classificado como um calcário dolomítico, dado que o valor encontrado para o teor de MgO (2.96%) se situa no intervalo]2.1%, 10.8%[, atribuído aos calcários dolomíticos. Se atendermos também à classificação dos calcários proposta por Chilingar, em 1957, e modificada por Chilingar et al. (1967), com base na razão Ca/Mg(em peso), as considerações já efectuadas são inteiramente corroboradas (vide Quadro IV). Assim o calcário Negro de Mem Martins com valor igual a 15.70 para a relação Ca/Mg seria classificado como um calcário altamente dolomítico; os calcários Azul de Sintra (amostra **AZ**) e o Lioz de Fervença (amostra **LF**) com valores para esta relação, respectivamente, iguais a 62.79 e 89.59 seriam classificados como calcários magnesianos ou ligeiramente dolomíticos; as restantes amostras, que representam 70% do total estudado, referem-se a rochas com valores desta relação superiores a 105 e seriam classificados como calcários calcíticos.

Resta sublinhar que, se para o Negro de Mem Martins (**NMM**), a percentagem de MgO determinada pela análise química tem correspondência no carácter localmente dolomítico observado em lâmina delgada (Fig.16), o mesmo não se passa com o Amarelo de Negrals (referência **AN**). Para este, o teor de MgO determinado pela análise química, não corresponde a carácter dolomítico observado em lâmina delgada e confirmado pela análise semi-quantitativa efectuada por DRX (difracção de raios X) (vide Fig.50 e Quadro III).

* Os teores de Fe total (dado como Fe_2O_3) são para as amostras estudadas $\leq 1\%$. Os valores determinados variam entre 0.00% e 1.00%, constituindo, respectivamente, as amostras **LM** (Lioz do Murganhal) e **AN** (Amarelo de Negrais) exemplos destes casos extremos. O coeficiente de dispersão é igual a 1.49. Estes dois casos são efectivamente singulares face ao conjunto dos restantes valores obtidos que variam entre 0.03 (amostra **LF**, Lioz de Fervença) e 0.17 (amostra **NMM**, Negro de Mem Martins e **EN**, Encarnadão de Negrais). Cerca de 70% das amostras estudadas apresentam teores $\leq 0.1\%$. O ferro presente nas rochas sedimentares ocorre sobretudo como ferro férrico. O ferro tem um comportamento muito próximo do da alumina (Carvalho, 1979). O ferro ferroso (Fe^{2+}), resultante da decomposição dos silicatos ferromagnesianos, passa facilmente a ferro férrico (Fe^{3+}) e precipita sob a forma de óxido (hematite) ou hidróxido (goethite), que são muito insolúveis, sendo a sua mobilidade grandemente condicionada pela actividade de organismos vivos, especialmente vegetais. O ferro poderá ainda estar associado, quer à calcite, quer ao material argiloso (Moore, 1989; Chilingar et al., 1967; Klein & Hurlbut, 1993; Gomes, 1982).

* Os teores de MnO para as rochas estudadas são sempre $\leq 0.01\%$. Enquanto metade das amostras analisadas (**NMM**, **AZ**, **ETV**, **EN** e **AN**) apresenta valores de MnO iguais a 0.01%, a outra metade apresenta valores iguais a 0.00%, valores que deveriam significar, segundo a interpretação de Washington (1930), ausência deste elemento nas rochas analisadas. Contudo, os resultados da análise química elementar destas rochas, por espectrometria de fluorescência de raios X, indicam a presença, pelo menos, vestigial deste elemento (*vide* Quadro V). Entre estas últimas temos: o lioz do Murganhal (**LM**), da Colhoa (**LC**) e de Fervença (**LF**), o Encarnadão fino (**EF**), da Pedreira do António Lino (Campo Raso - campo de Lapiás, concelho de Sintra), e o Encarnadão vidraço (**EV**), da Pedreira do Domingos (Pedra Furada - Fervença, concelho de Sintra). Apenas os valores de MnO para estas últimas amostras estão em conformidade com os valores apresentados por Martins (1991), num estudo sobre os calcários ornamentais da região de Pêro

Pinheiro. A presença de manganês nestas rochas calcárias poderá estar associada a própria calcite, onde o Mn^{2+} poderá substituir o Ca^{2+} , ou à possível presença de óxidos de ferro como a hematite e/ou goetite, em que o manganês pode estar presente em pequenas quantidades (Moore, 1989; Chilingar et al., 1967; Klein & Hurlbut, 1993; Washington, 1930).

- * O TiO_2 apresenta, nas rochas analisadas, teores que variam entre 0.12% e 0.00%, com coeficiente de dispersão aproximadamente igual a 1.94. Este foi, apenas, detectado nas seguintes amostras: **NMM** (Negro de Mem Martins, 0.12%), **AN** (Amarelo de Negrais, 0.08%) e **AZ** (Azul de Sintra, 0.02%). Para as restantes amostras, como os valores aqui referidos são corroborados pela análise química elementar por FRX, podemos dizer que o titânio não foi detectado, ou então, em conformidade, com a interpretação de Washington(1930) que este está ausente, na medida que os teores apresentam valores iguais a 0.00%. Ainda segundo Washington (1930) e Klein & Hurlbut (1993) a presença do titânio poderá estar associada à da hematite, onde este elemento pode substituir o Fe^{3+} . A presença da hematite nas amostras com titânio foi confirmada no estudo mineropetrográfico efectuado (Quadro III).
- * Os teores de K_2O são, regra geral, superiores aos teores de Na_2O , constituindo a amostra **LM** (Lioz do Murganhal) a única excepção. A predominância do potássio relativamente ao sódio nas rochas sedimentares, pode justificar-se pelo facto do potássio figurar em muitos minerais das argilas, enquanto que o sódio tende mais a permanecer em solução encaminhando-se constantemente para os oceanos. Estes dois elementos estão ausentes em 50% das amostras estudadas (isto é, nas amostras **ETV**, **EF**, **LC**, **LF** e **EV**). Os teores de Na_2O são sempre $< 0.1\%$, variando entre 0.00% e 0.06%. O coeficiente de dispersão é ≈ 1.20 , para um valor médio de cerca de 0.02%. Os teores de K_2O variam entre 0.00% e 0.58% (**NMM**, Negro de Mem Martins). O coeficiente de dispersão é ≈ 1.97 , para um valor médio de cerca de 0.09%. A presença de materiais argilosos justifica os teores de potássio (K_2O) que se verificam associados aos valores mais elevados tanto para a sílica (SiO_2) como para a alumina (Al_2O_3) (*vide* Quadro IV).

* A perda ao rubro (P.R.), apresenta valores que variam entre 36.64% (AN, Amarelo de Negrais) e 43.59% (LM, Lioz do Murganhal), com coeficiente de dispersão aproximadamente igual a 0.05. Apenas duas amostras, a AN, já referida, e a NMM (Negro de Mem Martins), apresentam valores abaixo dos 42.00%. No conjunto das rochas estudadas, estes valores da perda ao rubro poderão, em geral, corresponder praticamente ao teor de CO₂, na medida em que foram determinados depois de se ter eliminado a água higroscópica²⁰ (H₂O) e a análise mineralógica indicar apenas baixos teores em minerais argilosos e a quase ausência, quer de outros minerais que pudessem contribuir com H₂O+ (água combinada)(como, por exemplo, micas, limonite, goethite, etc.), quer ainda outras substâncias voláteis à temperatura considerada (tais como, por exemplo, o enxofre, o cloro e matéria orgânica). As grandes exceções poderão ser constituídas pelas AN (Amarelo de Negrais), aqui talvez devida a presença de minerais argilosos (tem cerca de 15% de resíduo seco), e a amostra NMM (Negro de Mem Martins), devida a sua cor escura que poderá implicar a existência de enxofre e matéria orgânica finamente distribuída pela massa mineral (*vide* Quadro V - Resultados da análise elementar por FRX).

O diagrama triangular CaO, MgO, SiO₂ (Fig.56), põe em evidência a relação entre a composição química e a variedade litológica das rochas estudadas (Mason & Moore, 1982).

²⁰As amostras foram sujeitas a uma temperatura igual a 105°C-110°C e arrefecidas num excicador.

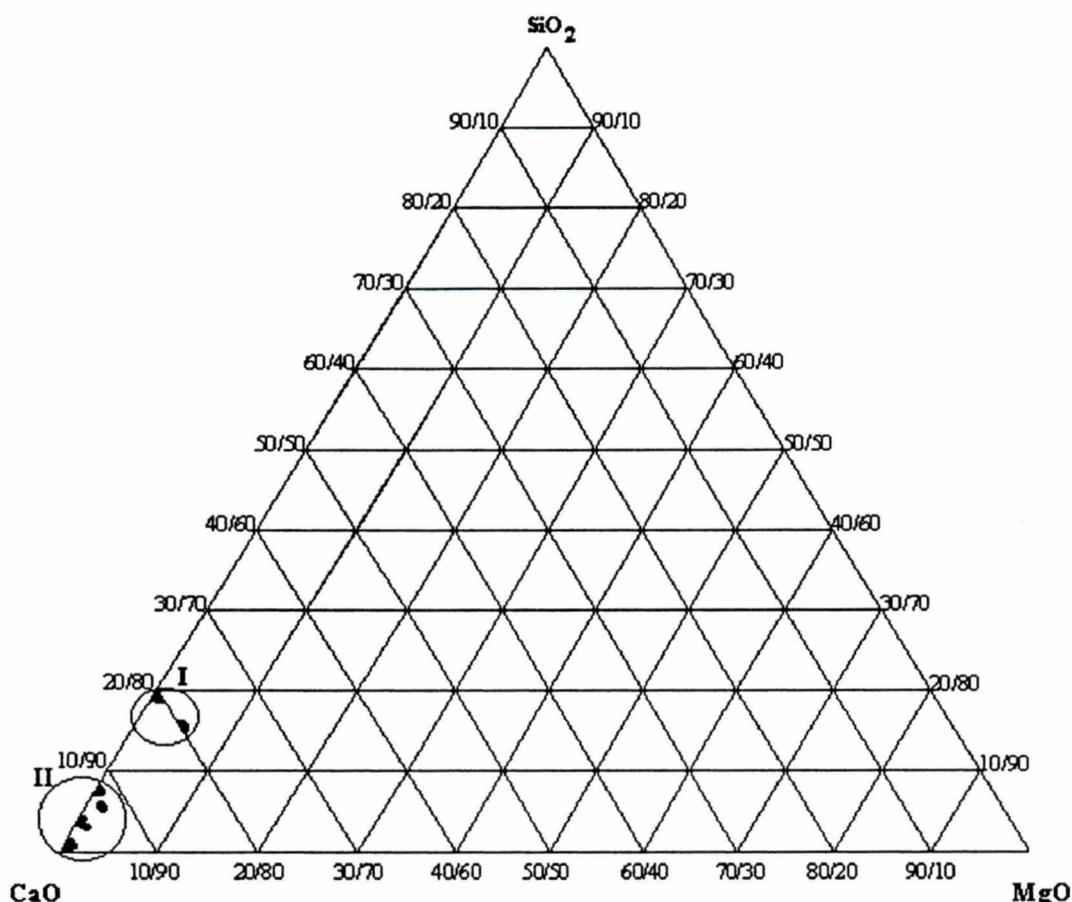


Fig.56 - Projecção dos resultados das análises químicas no diagrama CaO, MgO e SiO₂.

A composição química das amostras estudadas, provenientes de diferentes pedreiras mostra neste diagrama triangular uma pequena diversidade de litotipos químicos. Isto é, as amostras das rochas estudadas projectam-se, no espaço das variáveis químicas consideradas, praticamente todas junto ao vértice correspondente ao CaO, podendo fazer-se, todavia, a individualização de dois campos que podem corresponder a distintos grupos litoquímicos: um constituído pelas amostras **NMM** (Negro de Mem Martins) e **AN** (Amarelo de Negrais) (Grupo I), e outro pelas restantes amostras (Grupo II).

Tal concentração de pontos era de esperar devido, em geral, a baixa percentagem de SiO₂ e MgO face aos elevados teores de CaO patenteados pelas amostras estudadas (vide Quadro IV). As amostras estudadas mostram, assim, uma grande uniformidade em termos da sua composição química, consubstanciada nos resultados analíticos obtidos. Os dados

químicos reflectem, pois, o simples facto de os calcários estudados serem predominantemente calcíticos. Porque estes calcários são principalmente calcíticos, os teores de CaO e CO₂ são extremamente elevados, formando mais de 95% do total, em 80% das amostras estudadas.

Com excepção das amostras **NMM** (Negro de Mem Martins) e **AN** (Amarelo de Negrais), as amostras analisadas podem, pois, ser consideradas calcários puros, com teores de carbonato de cálcio (CaCO₃) \geq 95% e teores de SiO₂, não excedendo, em geral, os 3% (Soares, 1966; Pettijohn, 1975; Proença, 1985; Martins, 1991). Estas rochas revelam-se, também, relativamente pobres em elementos não carbonatados, em especial em minerais argilosos, apresentando apenas valores vestigiais para o resíduo seco (valores < 0.1%, para a maioria das rochas).

Realça-se, no entanto, que a totalidade dos litotipos estudados apresenta valores para os teores do SiO₂, R₂O₃ e MgO superiores a 1%, o que contraria, na generalidade, os dados publicados, quer nos Catálogos das Rochas Ornamentais para os calcários microcristalinos da região de Lisboa, quer nos estudos efectuados por Martins (1991) de amostras representativas dos mesmos litotipos aqui considerados, em que os calcários com interesse económico (leia-se aqui, por exemplo, ornamental) revelam sempre percentagens inferiores a 1% para esses mesmos óxidos.

Para além dos resultados já apresentados, efectou-se também a determinação da composição química elementar das rochas calcárias em estudo, por espectrometria de fluorescência de raios X. Os resultados obtidos encontram-se no Quadro V.

O objectivo maior que conduziu a realização deste tipo de análises apontava para a determinação dos elementos químicos ou respectivas associações responsáveis pela diversidade cromática patenteada sobretudo pelos litotipos utilizados como pedras de revestimento do interior da Basílica da Estrela.

AMOSTRAS	Elementos Químicos											
	Sr	Rb	Zn	Fe	Mn	Cr	Ti	K	Mg	S	Si	Al
LM	+	-	-	V	V	-	-	-	+	-	V	V
NMM	●	V	V	●	V	V	+	●	●	+	●	●
AZ	+	-	-	+	V	V	V	V	●	V	+	V
ETV	+	-	-	+	V	-	-	V	+	V	+	V
EF	+	-	V	+	V	-	-	V	+	V	+	+
LC	+	-	-	V	V	-	-	V	●	V	+	+
LF	+	-	-	V	+	-	-	-	●	V	+	V
EN	+	-	-	+	+	-	-	V	●	V	+	V
AN	+	-	-	●	V	-	V	+	●	V	●	●
EV	●	-	-	+	V	-	-	V	●	V	+	+

Legenda: - - Não detectado; V - Vestigial; + - Presente; ● - Abundante

Foram também pesquisados outros elementos tais como por exemplo, o V, Ba, Na, Cu, P e Ni, que não foram detectados em nenhuma das amostras.

Quadro V - Análise química elementar dos calcários estudados

Não querendo antecipar a discussão sobre as causas das cores, a informação coligida permite, todavia, que, no quadro da caracterização química destas rochas, se avancem as seguintes considerações.

Segundo Wolf et al. (Chilingar et al., 1967), determinados componentes químicos das rochas carbonatadas ocorrendo como elementos traço sob certas influências bioquímicas ou físico-químicas poderão, noutras condições, estar presentes como componentes menores ou mesmo maiores. Por outro lado, elementos há que, devido a inúmeras razões geológicas ou químicas, nunca ocorrem nas rochas, minerais e esqueletos carbonatados em concentrações acima da dos elementos traço.

Do conjunto de elementos detectados, nomeadamente o Mg, Mn, Fe (Fe²⁺), Sr e o Zn, são tidos como associados à calcite (Chilingar et al., 1967); o Rb, Cr, Ti, S, Si e o Al, podem estar associados aos "insolúveis", aos "minerais pesados", às argilas e, ainda, à estrutura de alguns fósseis (algas, foraminíferos, etc.), segundo Chilingar et al. (1967).

O Si, Al e Ti, dado que também são, segundo Emiliani, elementos característicos de sedimentos terrígenos, a sua presença e o seu teor podem constituir indicadores de contaminação terrígena das rochas estudadas (Chilingar et al., 1967).

Outros elementos tais como o Mo, V, Ba, Na, Cu, As, P e Ni foram também pesquisados e não foram detectados em nenhuma das amostras analisadas. Alguns destes elementos, nomeadamente o Mo, V, Ni, Cu, As, são apontados conjuntamente com o Pb, Ag, Ge, I e Br, como frequentemente enriquecendo sedimentos carbonatados com presença considerável de matéria orgânica primária (Chilingar et al., 1967). A sua não detecção no caso das amostras estudadas leva a supor que a presença de matéria orgânica apenas poderá ser em quantidades vestigiais.

V.6 - BREVE APONTAMENTO SOBRE A COR DAS ROCHAS E SUAS POSSÍVEIS CAUSAS

A classificação dos calcários quanto à cor, por vezes policroma, não tem unicamente importância sob o ponto de vista decorativo. A pigmentação, a par da maior ou menor frequência dos «estilolitos de carga», é, segundo Martins (1991), critério essencial na distinção entre cada uma das variedades localmente denominadas «Lioz», «Encarnadão» e «Abancado», todas com abundantes fósseis de rudistas.

A variedade cromática patenteada pelos litotipos aqui estudados é dada no Quadro VI, segundo as designações de Munsell e em conformidade com o "Rock-Color Chart" (1963), da Geological Society of America.

A coloração é um fenómeno complexo, onde o próprio granulado da rocha pode ter importância na medida em que os sedimentos finos tendem para cores escuras (Soares, 1966; Chilingar et al., 1967).

Paul D. Krynine (Carozzi, 1975), ao debruçar-se sobre o problema da cor dos sedimentos, dizia que: "Any color is a mixture of two basic elements: a pigment and a neutral background, which dilutes the pigment." Vários autores comungam desta ideia: Pettijohn (1957), por exemplo, sobre a cor de determinados xistos argilosos, dizia que ela devia resultar de um tipo qualquer de pigmentação; Martins (1991), afirmava, por sua vez, que a cor, dos calcários ornamentais da região de Pêro Pinheiro, tem "a sua origem na existência de minerais secundários"; Casquilho (1971), sobre as variedades de cor nos mármore, dizia que estas "são devidas a minerais secundários que sempre, mais ou menos, acompanham o carbonato cálcico e se consideram como as suas impurezas."

Segundo Chilingar et al. (1967), as impurezas nos calcários incluem os carbonatos de magnésio, dolomite, sílica, glauconite, gesso, fluorite, siderite, sulfuretos, óxidos de ferro e manganês, fosfatos, argilas e matéria orgânica. A contribuição de algumas destas impurezas²¹ para as diversificadas cores exibidas por inúmeros calcários encontra-se sintetizada no Quadro VII, concebido com base em informação recolhida de vários autores (Pereira de Sousa, 1898; Pettijohn, 1957 e 1975; Romariz, 1960; Soares, 1966; Martins, 1991; Klein & Hurlbut, 1993; etc.).

²¹Basta que estejam presentes em quantidades traço (Meurig, 1987).

AMOSTRAS (Referências)	Cor segundo o sistema de Munsell	Elementos cromóforos				
		Fe	Ti	Mn	Cr	Zn
LM	10 YR 7/2 (entre o very pale orange (10 YR 8/2) e o pale yellowish brown (10 YR 6/2))	v	-	v	-	-
NMM	N 3 (Dark gray, superfície de fractura) e/ou N 2 (Grayish black, superfície polida)	●	+	v	v	v
AZ	N 6 (Medium light gray) e/ou N 5 (Medium gray)	+	v	v	v	-
ETV	5 R 5.5/2 (muito próximo do pale red (5 R 6/2))	+	-	v	-	-
EF	5 R 6/2 (Pale red)	+	-	v	-	v
LC	10 YR 7/2 (entre o very pale orange (10 YR 8/2)) e o pale yellowish brown (10 YR 6/2))	v	-	v	-	-
LF	10 YR 7/2 (entre o very pale orange (10 YR 8/2) e o pale yellowish brown (10 YR 6/2))	v	-	+	-	-
EN	5 R 5.5/4 (muito próximo do moderate red (5 R 5/4))	+	-	+	-	-
AN	10 YR 7/6 (entre o pale yellowish orange (10 YR 8/6) e o dark yellowish orange (10 YR 6/6))	●	v	v	-	-
EV	10 R 5/2 (entre o pale red (10 R 6/2) e o grayish red (10 R 4/2))	+	-	v	-	-

Legenda: - - Não detectado; v - Vestigial; + - Presente; ● - Abundante

O Vanádio, Cu e Ni, foram também pesquisados e não foram detectados em nenhuma das amostras.

Quadro VI - Rochas calcárias estudadas. Classificação quanto à cor pelo sistema de Munsell. Elementos cromóforos presentes

AUTORES	CORES									
	Negro	Cinzentos	Azul	Verde	Amarelo	Castanho	Vermelho	Róseo	Vermelho arroxado	
Pereira de Sousa (1898)	Restos orgânicos (%) decrescente →									
Washington (1930)				Clorite		Limonite				
Pettijohn (1957)	Matéria orgânica † (e, por vezes, sulfuretos) (%) decrescente →									
Romariz (1960)	Matéria orgânica betuminosa; matéria argilosa				Impregnações hematítico-limoníticas	Óxidos de ferro ✧ (impregnações mais ou menos intensa)				
						Goetite		Impregnações limoníticas	Hematite	
						Substância betuminosa; impregnação siliciosa; limonite		Impregnação de limonite e hematite		
						Intensa impregnação ferrosa				
Huang (1962)	Matéria betuminosa									
Soares (1966)	Matéria carbonosa; Sulfuretos * (pirite)					Hidróxidos férricos				
Chilingar et al. (1967)	Partículas argilosas; matéria orgânica			Material argiloso; glauconite; compostos ferrosos		Ferro férrico				
Casquilho (1971)	Matéria carbonosa (%) decrescente →				Argila e substâncias carbonosas; limonite	Hematite e matéria carbonosa □	Hematite vermelha † ; limonite vermelha (%) decrescente →		Hematite e óxidos de manganês ☆	
Rey (1972)						Limonite				
Pettijohn (1975)	Matéria orgânica; óxidos de ferro ferroso		Siderite	Óxidos de ferro ferroso	Siderite ▼		Óxido férrico (hematite finamente disseminada)			
Mason & Moore (1982)					Óxidos de ferro		Óxidos férricos			
Meurig (1987)					Óxidos de ferro (finamente dispersos)					
Martins (1991)					Óxidos de ferro amarelados e avermelhados					
Klein & Hurlbut (1993)	Óxidos de manganês; Carbono						Hematite			

Legenda: † - quanto maior a percentagem (%) de matéria orgânica, mais escura é a rocha.

✧ - quanto mais intenso mais obscurecida a formação.

* - finamente disseminados nos sedimentos podem só por si ser responsáveis pela coloração cinzenta.

□ - maior ou menor percentagem (%) de matéria carbonosa origina tons mais ou menos escuros.

† - que conforme a sua quantidade e dispersão na massa calcária origina uma extensa gama de tons avermelhados, desde os vermelhos vivos aos rosados, ainda que estes últimos possam ser originados pela limonite vermelha (que é pouco estável e facilmente adquire tonalidades amareladas).

☆ - os tons arroxados com tonalidades mais ou menos azuladas, de pigmentação hematítica, devem a sua cor a compostos de manganês, sempre presentes, os quais conforme a sua quantidade menor ou maior lhes imprime tons arroxeados ou violetas mais ou menos azulados.

▼ - por instabilidade da siderite que quando fresca origina tons cinzentos azulados.

Quadro VII - Cores dos sedimentos e respectivas causas. Síntese segundo vários autores

No entanto, estudos realizados por Tomlinson, em 1916; MacCarthy, em 1926; Grim, em 1951 e Van Houten, em 1961 (in Pettijohn, 1975), vieram mostrar, por exemplo, que a diferença de cor entre xistos vermelhos e outros de cor negra, cinzenta ou verde, não era simplesmente atribuída ao maior teor em ferro total ou ao maior teor em ferro férrico nos xistos vermelhos, mais sim ao elevado teor de ambos e, também, ao excesso de Fe_2O_3 relativamente ao FeO . Isto é, as diferenças nas cores reflectiam, sobretudo, o diferente estado de oxidação do ferro. O estado de oxidação do elemento de transição responsável pela cor afectava também a cor exibida pela rocha (Klein & Hurlbut, 1993).

Neste sentido, os estudos das causas responsáveis pela diversidade cromática patenteada pelos litotipos utilizados sobretudo como pedras decorativas no revestimento interior da Basílica da Estrela, foram orientados no sentido da pesquisa dos elementos químicos, e/ou respectivas associações, pertencentes ao 4º período e ao bloco d da Tabela Periódica e comumente designados por elementos cromóforos (Klein & Hurlbut, 1993; Silva, 1989; Wahlstrom, 1979).

Os elementos químicos que são os mais efectivos na produção de cores em luz transmitida e reflectida, quer estejam presentes como componentes integrais, quer presentes como impurezas, são os metais de transição. Importantes e relativamente abundantes elementos de transição são o titânio, vanádio, crómio, manganês, ferro, níquel, cobre e o zinco. Procedeu-se, deste modo, à determinação, por espectrometria de fluorescência de raios X, dos seguintes elementos de transição: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu e Zn. Os resultados obtidos constam do Quadro VI. Não foi, todavia, possível determinar o estado de oxidação do ferro.

Com base nesses resultados e nas considerações já feitas, parece ser possível dizer que os elementos cromóforos detectados respondem também pela variedade cromática observada nas rochas utilizadas na Basílica da Estrela (*vide* Quadro VIII).

Cromóforos	Cores dos minerais										
	Negro	Azul	Azul esverdeado	Verde	Amarelo esverdeado	Amarelo	Amarelo alaranjado	Laranja	Róseo	Vermelho	Vermelho escuro
Fe ²⁺		●		●	●						●
Fe ³⁺		●		●		●					
Cr ³⁺				●						●	●
Mn ²⁺							●		●		
Mn ³⁺									●		
Mn◇	●										
Fe ²⁺ → Fe ³⁺		●	●								
Fe ²⁺ → Ti ⁴⁺		●									
O ²⁻ → Cr ⁶⁺								●			
O ²⁻ → Fe ³⁺						●					

Legenda: ● – elemento responsável pela cor.
◇ – óxidos de manganês.

Quadro VIII - Elementos cromóforos e cores de minerais associadas (Klein & Hurlbut, 1993)

Temos assim que a coloração bege com tons levemente rosados das amostras **LM**, **LC** e **LF**, que representam no seu conjunto a variedade localmente designada Lioz, poderá ser perfeitamente justificada pela presença vestigial de Fe (ferro) e Mn (manganês). A cor negra do calcário Negro de Mem Martins (amostra **NMM**), poderá estar associada à abundância do ferro, assim como à presença conjunta deste e dos outros elementos de transição detectados, designadamente do Ti (titânio), Mn (manganês) e Cr? (crómio). A cor cinzenta clara, levemente azulada, do Azul de Sintra (amostra **AZ**), frequentemente atribuída na bibliografia à presença de "restos orgânicos" (*vide* Quadro VII), parece poder também ser associada à presença conjunta dos elementos cromóforos detectados. Isto porque, segundo Wolf, K. H. (Chilingar et al., 1967), a presença de considerável matéria orgânica primária em sedimentos carbonatados é frequentemente sinal de enriquecimento da rocha num largo espectro de elementos traços tais como Mo, V, Ni, Pb, Cu, Ag, As, Ge, I e Br, que também foram pesquisados e não encontrados. Isto leva a pensar que se os "restos orgânicos" forem

efectivamente os responsáveis pela coloração cinzenta, levemente azulada, destes calcários, então é porque ela apenas existe em quantidade vestigial nas amostras estudadas, ou então que se devem procurar outras causas para se justificar a cor exibida por estas rochas. Este problema põe-se também no caso da análise da cor da amostra **NMM** (Negro de Mem Martins). Aqui, para além dos elementos cromóforos referenciados, importa sublinhar também a presença de enxofre (*vide* Quadro V) que poderá estar associada à presença de sulfuretos²² que, segundo Soares (1966), só por si podem, quando finamente repartidos pela massa calcária, responder pelos tons acinzentados destas rochas calcárias. Os tons avermelhados e rosados das amostras **ETV**, **EF** e **EV** poderão estar associados à presença de ferro e manganês, este último em quantidades traço. A cor amarela da amostra **AN** (Amarelo de Negrais) poderá estar sobretudo associada à significativa presença de ferro, pelo menos nas amostrada estudadas.

Por sua vez, Martins (1991), ao estudar amostras representativas dos mesmos litotipos aqui analisados, fez notar que uma vez que o manganês não era detectado em qualquer das amostras, estava, então, provado que o pigmento responsável pelos tons coloridos das rochas, em larga medida avermelhados, mas também amarelados, era de óxidos de ferro. O pigmento estaria disseminado pelos cristais, não manifestando qualquer preferência a respeito da forma ou do «fabric» dos grãos cristalinos.

Em síntese, podemos dizer que, com excepção dos tons cinzentos e negros, que na sua maioria resultam do decaimento parcial da matéria orgânica, a maioria das cores das rochas são o resultado de pigmentação originada pela presença de ferro. O ferro férrico (Fe^{3+}) produz as cores vermelha, púrpura e amarela (devido à presença de minerais como a hematite e a limonite). O ferro ferroso (Fe^{2+}) produz tons esverdeados (Fichter & Poché, 1993).

Finalmente, importa citar ainda Paul D. Krynine (Carozzi, 1975): "It must be kept in mind that a finer-grained rock will always show a more vivid color than will a coarser-grained one because of the better distribution of the pigment throughout the rock".

²²Todavia, não detectados no estudo mineropetrográfico efectuado (*vide* Quadro III).

V.7 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Os ensaios físico-mecânicos, como ensaios tecnológicos, assumem importância fundamental na caracterização das rochas industriais, em geral, e das ornamentais, em particular. A importância relativa dos ensaios físico-mecânicos é, no seu conjunto, função do tipo de utilização a que se destina o material, tornando-se alguns deles imprescindíveis na avaliação da respectiva aptidão para determinado fim.

Aires-Barros (1991), por exemplo, propõe os seguintes ensaios físicos para caracterização do estado estrutural das rochas e possível avaliação do seu comportamento face à meteorização, através da previsão e explicação de fenómenos ligados à absorção e circulação da água e do ar e suas consequências:

- * porosidade ao ar;
- * permeabilidade ao ar;
- * massas volúmicas (real e aparente);
- * capilaridade;
- * coeficiente de saturação;
- * porometria;
- * sucção; e
- * superfície específica.

Figueiredo, P. (1997 e 1998), ao fazer a caracterização tecnológica de alguns calcários jurássico-cretácicos da área de Lisboa, procedeu, por sua vez, à determinação experimental das seguintes propriedades físicas (vide Quadros IX e X):

- * porosidade (aberta ao ar e à água (N_a), total (N_t) e às 48 horas (N_{48}));
- * propriedades de imbibição ou absorção por imersão total ou capilaridade (grau de saturação natural às 48 horas ou coeficiente de Hirschwald (S_{48}) e coeficiente de capilaridade (C));
- * massas volúmicas aparente (γ_d) e real (γ_s);
- * teor em água máximo (W_{max});
- * permeabilidade ao ar;
- * módulo de elasticidade (σ_c);
- * resistência mecânica à compressão simples (tensão de rotura);
- * velocidade de propagação dos ultrassons; e
- * ensaios de envelhecimento laboratorial acelerado.

PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS										
AMOSTRAS	γ_d (kg/m ³)	γ_s (kg/m ³)	W_{max} (%)	N_s (%)	N_t (%)	N_{48} (%)	S_{48} (%)	S_{comp} (%)	C (g/m ² x s ^{1/2})	σ_c (MPa)◆
NMM	2580	2660	0.15	0.38	2.79	0.42	15.23	11.40	0.32	157
AZ*	2620	2656	0.31	0.79	1.36	0.83	61.43	35.46	1.71	45
LF	2600	2640	0.21	0.55	1.63	0.49	30.06	15.16	0.38	139
EN	2603	2640	0.27	0.71	1.48	0.60	40.65	36.11	0.66	120
AN	2597	2660	0.53	1.36	2.52	1.13	44.88	40.13	1.53	146
Min	2580	2640	0.15	0.38	1.36	0.42	15.23	11.40	0.32	45
Max	2620	2660	0.53	1.36	2.79	1.13	61.43	40.13	1.71	157
Med	2600	2651	0.29	0.76	1.96	0.69	38.45	27.65	0.92	121
σ	14.16	10.32	0.15	0.37	0.65	0.29	17.20	13.31	0.65	44.8
c.d	0.005	0.004	0.495	0.490	0.334	0.417	0.447	0.481	0.711	0.369

Legenda:

◆, valores determinados em amostras secas.

*, valores acrescentados aos dados com origem nos trabalhos de P. Figueiredo (1997 e 1998)

Quadro IX - Propriedades físico-mecânicas das amostras **NMM, AZ, LF, EN e AN**, segundo Figueiredo, P. (1997 e 1998). Valores máximos, médios, mínimos e desvios-padrão

PROPRIEDADES FÍSICAS		
AMOSTRAS	Porosidade ao ar	Permeabilidade ao ar
	n_{ar} (%)	k_{ar} (mD)
LM	0.21	0.146
NMM	0.59	0.421
AZ*	0.90	0.245
ETV*	0.86	0.329
LC	0.90	0.312
LF	0.80	0.354
EN	1.22	0.134
AN	1.17	0.496
EV*	1.16	0.347
Min	0.21	0.134
Max	1.22	0.496
Med	0.87	0.309
σ	0.32	0.119
c.d	0.368	0.384

*, valores acrescentados aos dados com origem nos trabalhos de P. Figueiredo (1997 e 1998)

Quadro X - Porosidades e permeabilidades ao ar dos calcários estudados (LAMPISIT)

Os ensaios foram realizados, sempre que possível, de acordo com as normas europeias em vigor, de modo a permitirem a comparação com resultados obtidos para outros tipos de rochas. Isto é, as propriedades físicas foram determinadas segundo os vários projectos de normas (**pr**) em estudo nos Grupos de Trabalho (**WG**) das Comissões Técnicas (**TC**) associadas ao Comité Europeu de Normalização (**CEN**), criado no seio da Comunidade Europeia (Figueiredo, P. 1997 e 1998).

A porosidade aberta refere-se aos vazios intercomunicantes e tem importância de relevo no estudo da alterabilidade de rochas já que esta se refere aos vazios que facilitam a circulação de fluidos tais como o ar e a água (Aires-Barros, 1991). **A porosidade aberta ao ar, n_{ar} (%)**, é obtida de acordo com a seguinte fórmula (Aires-Barros, 1991; Silva, 1989; Figueiredo, P., 1997):

$$n_{ar} = \frac{V_{ar}}{V_t} \times 100 \quad (\%) \quad (9)$$

em que:

V_{ar} - é o volume de ar retido pela amostra (m^3);

V_t - é o volume total ou aparente da amostra (m^3), obtido por medição directa (i.e., calculado a partir das suas dimensões) ou através da seguinte equação:

$$V_t = \frac{M_{sat} - M_h}{\gamma_a}$$

em que:

M_{sat} - é o peso da amostra saturada (g);

M_h - é o peso da amostra imersa (g); e

γ_a - é a massa volúmica da água cujo valor é 988 kg/m^3 , a $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Para a determinação da porosidade aberta ao ar utilizou-se, no presente trabalho, o método do porosímetro ao ar de uso corrente no LAMPIST e que se encontra descrito em Aires-Barros et al. (1971). Com este avalia-se o volume de ar retido por provetes cilíndricos com 43 mm de diâmetro e 40 mm de geratriz e obtém-se a porosidade aberta fazendo o

quociente entre o volume de ar extraído da amostra e o seu volume aparente. O valor de porosidade de cada litotipo é dado pela média aritmética das porosidades dos provetes ensaiados.

A **porosidade aberta à água**, N_a (%), dada como a razão entre o volume de poros abertos à água e o volume aparente do provete, com cerca de 100 mm de altura e 44 mm de diâmetro, foi determinada de acordo com a norma prEN1936 (1995) (Figueiredo, P., 1997 e 1998):

$$N_a = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_h} \times 100 \quad (\%) \quad (11)$$

em que:

M_s - é o peso da amostra seca (g);

M_{sat} - é o peso da amostra saturada (g); e

M_h - é o peso da amostra imersa (g).

Ainda de acordo com Aires-Barros (1991) e Figueiredo, P. (1997 e 1998), a **porosidade total**, N_t (%), é igual à soma da porosidade aberta e da porosidade fechada (a que dá conta dos vazios fechados, isolados, não comunicando entre si) e pode ser avaliada determinando-se os pesos específicos (*peso da unidade de volume*, Silva (1989)) do pó e da amostra de rocha, segundo a equação seguinte:

$$N_t = \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}\right) \times 100 \quad (\%) \quad (12)$$

em que:

γ_d - é a **massa volúmica aparente** ou densidade aparente que é dada pelo quociente da massa pelo volume aparente da amostra (kg/m^3)(norma prEN1936 (1995)):

$$\gamma_d = \frac{M_s}{V_t}$$

γ_s - é a **massa volúmica real** ou densidade real que é dada pelo quociente da massa pelo volume impermeável da amostra (kg/m^3):

$$\gamma_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (14)$$

em que:

V_s - é o volume da componente sólida ou volume impermeável (m^3) e é igual à diferença entre o volume aparente e o volume de poros:

$$V_s = V_t - V_v \quad (15)$$

em que:

V_v - é o volume de vazios (m^3).

A massa volúmica real foi, todavia, determinada recorrendo-se ao picnómetro de acordo com a TRADUÇÃO LNEC 396 (1962).

O teor em água máximo, W_{\max} (%), de um provete de uma rocha porosa é calculado como o quociente da massa de água contida no provete e a massa do mesmo provete seco (Aires-Barros, 1991; Figueiredo, 1997 e 1998):

$$W_{\max} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\%) \quad (16)$$

A imbibição ou absorção de água pode ser determinada por imersão total ou capilaridade (Figueiredo, P., 1997 e 1998). O coeficiente de absorção de água por **imersão total**, em condições P.T.N, é uma boa estimativa do grau de saturação máximo da rocha em meio natural (Dionísio, 1997). Este coeficiente, que traduz a capacidade natural da rocha para absorver água, está ligado, segundo Bousquie et al., em 1980, à estrutura da rocha e às características do seu meio poroso e representa a percentagem em volume de poros livres (Figueiredo, P., 1997 e 1998). O grau de saturação no final de 48 horas ou coeficiente de Hirschwald, S_{48} (%), foi determinado em provetes com cerca de 100 mm de altura e 40 mm de diâmetro, de acordo com a NFB10-504 (1973) e em conformidade com a seguinte expressão:

$$S_{48} = \frac{N_{48}}{N_t} \times 100 \quad (\%) \quad (17)$$

em que:

N_t - é a porosidade total (%);

N_{48} - é a porosidade acessível à água à pressão atmosférica (%):

$$N_{48} = \frac{V_w}{V_t} \times 100 \quad (\%) \quad (18)$$

em que:

V_t - é o volume total ou aparente da amostra (m³);

V_w - é o volume de água absorvido à P_{atm} (m³):

$$V_w = \frac{M_{sat} - M_s}{\gamma_a}$$

Os ensaios de **absorção de água por capilaridade** permitem o estudo da cinética da imbibição, designadamente através da altura da franja capilar e do grau de saturação em função do tempo. Segundo Aires-Barros (1991), a capilaridade avalia-se pesando periodicamente um provete de determinada geometria com uma base plana em contacto com a água. A massa (**m**) de água absorvida por unidade de superfície da base do provete (g/m²) é proporcional à raiz quadrada do tempo de absorção ($t^{1/2}$), segundo a equação:

$$m = A\sqrt{t} \quad (20)$$

em que:

A - é o coeficiente de absorção de água por capilaridade (g/m² x s^{1/2}).

As determinações foram feitas de acordo com as normas NFB10-502 (1980) e prEN 1925 (1995).

A permeabilidade de uma rocha ao ar, k_{ar} (mD), é a maior ou menor facilidade com que a rocha se deixa atravessar pelo ar quando está sujeita a um gradiente de pressão. A permeabilidade é função das propriedades do fluido percolante e da quantidade e modo

como se distribuem as microdescontinuidades na rocha (Aires Barros, 1991; Figueiredo, 1997). Para um dado provete, esta é obtida através da seguinte expressão (Aires-Barros et al., 1971; Aires-Barros, 1991; Silva, 1989):

$$k = \frac{A \sigma \eta l}{S \rho g t} \quad (21)$$

em que:

A - é a constante adimensional do aparelho e que se encontra tabelada (em relação às diversas situações que se têm verificado até hoje no LAMPIST);

σ - é a secção do tubo capilar (cm²);

η - é a viscosidade do ar (poise);

l - é o comprimento do provete (cm);

S - é a secção do provete (cm²);

ρ - é o peso específico do mercúrio (g/cm³);

g - é a aceleração da gravidade (cm/s²);

t - é o tempo (s).

O permeâmetro usado na determinação da permeabilidade das rochas estudadas ao ar é de uso corrente no LAMPIST e o seu princípio de funcionamento pode ser seguido em Aires-Barros et al. (1971). Relativamente a cada litotipo ensaiaram-se seis provetes cilíndricos com 43 mm de diâmetro e 40 mm de altura e efectuaram-se quatro ensaios por provete. Para cada provete a permeabilidade foi determinada pela expressão supracitada, após o que se calculou a permeabilidade da rocha, fazendo a média aritmética das permeabilidades dos seis provetes (Figueiredo, P., 1997).

O ensaio de **resistência mecânica à compressão** (kg/cm² ou MPa), foi feito para se determinar a tensão compressiva uniaxial, σ_c , de rotura das rochas. Os provetes utilizados neste ensaio, em número de três por litotipo, eram cilindros com 44 mm de diâmetro e 100 mm de altura. As determinações foram feitas de acordo com a norma prEN 1926 (1995).

V.7.1 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos valores que constam dos Quadro IX e X permite avançar as seguintes considerações para cada uma das propriedades determinadas:

* **Porosidade ao ar, n_{ar} (%)**: as rochas estudadas têm valores de porosidade aberta ao ar sempre inferior a 1.22%. Os valores encontrados, com média e coeficiente de dispersão, respectivamente iguais a 0.87% e 0.37, variam entre os valores extremos 0.21% e 1.22%, determinados respectivamente para as amostras **LM** (Lioz do Murganhal) e **EN** (Encarnadão de Negrais). Cerca de sessenta e seis por cento (66%) das amostras ensaiadas têm, no entanto, valores de porosidade ao ar inferiores a 1%. Quanto a esta propriedade as amostras estudadas podem ser dispostas por ordem crescente do seu valor da seguinte maneira:

$$\mathbf{LM < NMM < LF < ETV < AZ = LC < EV < AN < EN}$$

Tendo em linha de conta o menor valor apresentado pela amostra **LM** (0.21%), esta relação pode ter a seguinte redacção:

$$\mathbf{LM < 2.8LM < 3.8LM < 4.1LM < 4.3LM = 4.3LM < 5.5LM < 5.6LM < 5.8LM}$$

o que permite afirmar, por exemplo, que o Amarelo de Negrais (**AN**) tem uma porosidade ao ar que é cerca de 5.6 vezes superior à porosidade ao ar da amostra **LM** (Lioz do Murganhal).

* **Porosidade à água, N_a (%)**: os valores encontrados de porosidade à água, para as amostras ensaiadas, com coeficiente de dispersão (c.d) ≈ 0.490 , variam entre 0.38% e 1.36%. Estes valores extremos foram registados respectivamente para as amostras **NMM** (Negro de Mem Martins) e **AN** (Amarelo de Negrais). Apenas uma amostra, **AN** (Amarelo de Negrais) tem porosidade à água superior a 1%. Relativamente a esta propriedade as amostras mantêm praticamente a mesma seriação crescente encontrada para a porosidade ao ar. A única excepção é constituída pela amostra **EN** (Encarnadão de Negrais), que é, agora, uma das amostras com mais baixo valor de porosidade à água (0.71%), que é cerca de 1.87 vezes superior ao valor da porosidade à água da amostra **NMM** (Negro de Mem Martins), que tem o mais baixo valor registado (0.38%). No outro extremo temos a amostra **AN** (Amarelo de Negrais) que tem um valor de porosidade à água que é cerca de 3.58 vezes o

valor de porosidade à água da amostra **NMM** (Negro de Mem Martins). O conjunto de valores de porosidade à água aqui apresentados enquadram-se entre os valores publicados para os calcários ornamentais sedimentares e microcristalinos portugueses (C.R.O.P., 1983).

* **Porosidade às 48 horas:** as amostras apresentam valores de porosidade às 48 horas que variam entre 0.42% (**NMM**, Negro de Mem Martins) e 1.13% (**AN**, Amarelo de Negrais), com coeficiente de dispersão (c.d) aproximadamente igual a 0.417. Somente uma amostra (**AN**, Amarelo de Negrais) tem valor de porosidade às 48 horas superior a 1%. A relação de ordem é idêntica à obtida para a porosidade aberta à água (N_a (%)).

* Quanto à **porosidade total**, N_t (%), os valores encontrados, com coeficiente de dispersão (c.d) ≈ 0.334 , variam entre 1.36% (**AZ**, Azul de Sintra) e 2.79% (**NMM**, Negro de Mem Martins). Merece destaque a situação particular das amostras **NMM** (Negro de Mem Martins) e **LF** (Lioz de Fervença), que fazendo parte do conjunto das amostras com maiores valores de porosidade total, respectivamente com 2.79% e 1.63%, são também aquelas que apresentam os mais baixos valores de porosidade aberta, quer ao ar, quer à água. Isto deixa perceber, para estas amostras (Negro de Mem Martins e Lioz de Fervença), os mais elevados teores de poros oclusos, 2.41 e 1.08 por cento, respectivamente.

* Os valores do **coeficiente de Hirswald**, S_{48} (%), variando, para o conjunto de amostras analisadas, entre 15.23% (**NMM**, Negro de Mem Martins) e 61.43% (**AZ**, Azul de Sintra), com coeficiente de dispersão (c.d) ≈ 0.447 , são relativamente baixos (Figueiredo, P., 1997). É, por conseguinte, de prever que a probabilidade de alteração por processos aquosos seja pequena e a sua durabilidade não seja, deste modo, afectada (Figueiredo, P., 1997). Importa, todavia, dizer que, face aos valores obtidos, o grau de saturação máximo em água, em condições naturais, do Amarelo de Negrais é cerca de 1.49 vezes superior ao do Lioz de Fervença, 1.10 vezes superior ao do Encarnadão de Negrais (**EN**) e 2.95 vezes superior ao do Negro de Mem Martins (**NMM**). Apenas o Azul de Sintra (**AZ**) tem coeficiente de Hirswald superior ao do Amarelo de Negrais.

* O **teor em água máximo**, W_{max} (%), apresenta valores, para este conjunto de amostras, que variam entre 0.15% (**NMM**, Negro de Mem Martins) e 0.53% (**AN**, Amarelo

de Negrais), com coeficiente de dispersão (c.d) ≈ 0.495 . Com exceção da amostra **AN**, as restantes amostras com valores de teor em água máximo $\leq 0.50\%$, podem ser consideradas resistentes aos agentes atmosféricos, em conformidade com a Norma DIN 52106 (C.R.O.P., 1983). É, assim, possível dispor as rochas ensaiadas por ordem decrescente da sua resistência aos agentes atmosféricos:

$$\mathbf{NMM} > \mathbf{LF} > \mathbf{EN} > \mathbf{AZ} > \mathbf{AN}$$

Esta relação de ordem é idêntica à obtida com base nos valores de porosidade às 48%, que representa o volume de poros acessível à água à pressão atmosférica.

* A **permeabilidade ao ar**, k_{ar} (mD), apresenta, para o conjunto de amostras analisadas, valores que variam entre 0.134 (mD) (**EN**, Encarnadão de Negrais) e 0.496 (mD) (**AN**, Amarelo de Negrais), com coeficiente de dispersão (c.d) aproximadamente igual a 0.384. Da análise dos valores obtidos emergem, o Encarnadão de Negrais (**EN**) e o Lioz do Murganhal (**LM**) como as rochas menos permeáveis e o Negro de Mem Martins (**NMM**) e o Amarelo de Negrais (**AN**) como as mais permeáveis. Pode, por exemplo, dizer-se que o Amarelo de Negrais (**AN**) tem uma permeabilidade ao ar aproximadamente igual a 1.2 vezes a do Negro de Mem Martins (**NMM**), 2.0 vezes a do Azul de Sintra, 3.4 vezes a do Lioz do Murganhal e 3.7 vezes a do Encarnadão de Negrais (**EN**). Face aos valores de permeabilidade determinados pode dizer-se, no entanto, que os litotipos calcários aqui estudados são rochas pouco permeáveis ao ar (Pettijohn, 1975).

* Os valores do **coeficiente de absorção de água por capilaridade** são, com exceção dos valores das amostras **AZ** (Azul de Sintra) e **AN** (Amarelo de Negrais), sempre inferiores a $1 \text{ g/m}^2\text{xs}^{1/2}$. Os valores extremos foram registados para o Negro de Mem Martins ($0.32 \text{ g/m}^2\text{xs}^{1/2}$) e para o AZul de Sintra ($1.71 \text{ g/m}^2\text{xs}^{1/2}$), tendo o conjunto de valores registados um coeficiente de dispersão (c.d) ≈ 0.711 . Importa realçar, aqui, que o coeficiente de capilaridade do Azul de Sintra é cerca de 1.12 vezes superior ao do Amarelo de Negrais, 2.6 vezes superior ao do Encarnadão, 4.5 vezes superior ao do Lioz de Fervença e 5.3 vezes superior ao do Negro de Mem Martins. Os valores do coeficiente de capilaridade apresentados são, todavia, extremamente baixos, pelo que os efeitos nefastos provocados pela absorção de água por capilaridade não serão praticamente significativos para estas rochas (Figueiredo, P., 1997).

* A **resistência à compressão uniaxial**, com exceção do valor ($\sigma_c=45$ MPa) registado para a amostra **AZ** (Azul de Sintra), apresenta valores entre os 120 MPa (**EN**, Encarnadão de Negrais) e 157 MPa (**NMM**, Negro de Mem Martins) que têm coeficiente de dispersão (c.d) aproximadamente igual a 0.111, e que permitem afirmar que estas rochas são do ponto de vista do seu comportamento mecânico muito semelhantes. De acordo com a classificação proposta pela ISRM (1978, in Figueiredo, P., 1997), os litotipos ensaiados podem, quanto à sua resistência à compressão simples, ser consideradas como muito resistentes (*vide* Quadro XI). O Azul de Sintra constitui um caso particular, sendo classificado como uma rocha de resistência média ($\sigma_c=45$ MPa).

σ_c (MPa)	Designação
< 1	extremamente branda (solo)
1 - 5	muito branda
5 - 25	branda
25 -50	resistência média
50 - 100	resistente
100 - 250	muito resistente
> 250	extremamente resistente

Quadro XI - Classificação das rochas quanto à compressão simples, σ_c (MPa), ISRM (1978) (in Figueiredo, P., 1997).

V.8 - ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO LABORATORIAL ACELERADO

V.8.1 - INTRODUÇÃO

A realização de ensaios laboratoriais de envelhecimento enquadra-se justificadamente num trabalho desta índole. Ensaios deste tipo permitem expor, em laboratório, as amostras a alternâncias drásticas de temperatura e humidade, acelerando e acentuando deste modo a sua resposta a esses factores exógenos. Revestem-se, assim, de grande interesse para o estudo da alterabilidade dos materiais dado permitirem simular e controlar as variáveis exógenas de molde a ser possível recriar diversos ambientes.

Não basta conhecer intrinsecamente o material, importa pois, avaliar a adequação dos materiais a determinadas aplicações (Serra et al., 1990) e observar como esses materiais se vão alterando durante o seu período de utilização (Salcedo, 1990). Isto é, deveria ser possível simular, em laboratório, as condições dos materiais "em obra" de forma a ser possível observar o comportamento das amostras à escala da vida do homem e das suas obras de engenharia, estabelecendo a sua sequência de alterabilidade (Aires-Barros, 1989).

V.8.2 - CARACTERIZAÇÃO DO ENSAIO DE FADIGA TÉRMICA

Os ensaios de envelhecimento acelerado foram realizados no LAMPIST seguindo basicamente as linhas gerais do trabalho que, nesta área, aí tem sido desenvolvido desde 1975 (Aires-Barros et al., 1975). São, ainda, de referir neste domínio outros trabalhos, como os de Aires-Barros (1977), Rodrigues (1978), Miranda (1986) e Aires-Barros et al. (1987/88 e 1989).

São ensaios de fadiga térmica que visam fundamentalmente a classificação das rochas ensaiadas com base num índice de alterabilidade, com possíveis aplicações geotécnicas, definido por Aires-Barros et al. (1975). Estes ensaios permitem investigar a fadiga dos materiais rochosos provocada pelos efeitos de variações térmicas conjugadas com a acção de um ambiente húmido.

Um dispositivo, denominado Aparelho de Climatização e descrito em Aires-Barros et al. (1975), foi especialmente concebido para esse efeito. Permite submeter as amostras a ciclos constituídos por um período de forte insolação, a cerca de 70°C, alternando com um

período de arrefecimento em condições húmidas à temperatura ambiente (i.e., a cerca de 20°C). A etapa de imersão foi feita em água desionizada com pH em geral à volta de 6,3.

O tempo seleccionado para um ciclo laboratorial foi de 15 minutos, dez dos quais correspondem à fase de insolação e cinco à fase de arrefecimento à temperatura ambiente em imersão em água desionizada. Assim um "ano laboratorial" corresponde a 91.5 horas de laboratório ou seja a 365 ciclos. Cada amostra foi submetida a um período total de 5 "anos laboratoriais", i.e., a cerca de 20 dias de trabalho laboratorial. Durante esse período de tempo o ensaio foi interrompido em diversas etapas previamente definidas para um estudo pormenorizado das amostras envolvendo, quer a análise micropetrográfica em luz reflectida dos principais aspectos texturais (por exemplo, das formas e tamanhos dos minerais e dos vazios), quer a determinação de parâmetros como a reflectância e o peso e, ainda, a realização de análises químicas do líquido de imersão com o doseamento dos principais catiões que migram para a solução de arrefecimento, em resultado das transformações químicas ocorrentes. Estas etapas foram fixadas para o fim do primeiro e quinto "anos" de ensaio laboratorial, i.e., para o fim, respectivamente, de 4 e 20 dias de trabalho laboratorial.

As amostras ensaiadas têm a forma de disco e uma das faces polida. As suas dimensões foram escolhidas com o propósito de se obter uma distribuição homogénea da temperatura em toda a superfície da amostra. Assim, a amostra tem um diâmetro igual a 44 mm que permite que os raios emanados da lâmpada de infra-vermelhos se centrem no seu eixo e a afectem de forma homogénea. A sua espessura, aproximadamente igual a 8 mm, foi escolhida de tal modo que a temperatura da face oposta ao calor não seja mais do que 10% inferior à temperatura da face sujeita à incidência directa dos raios infra-vermelhos (Aires-Barros et al., 1975).

V.8.3 - RESULTADOS

Consideraram-se concluídos os ensaios de envelhecimento acelerado quando cada conjunto de amostras dos diversos litotipos em apreço foi submetido a 1 e 5 "anos laboratoriais" de ensaio, correspondendo globalmente a 20 (4 + 16) dias de trabalho laboratorial.

Os ensaios de fadiga térmica "a húmido" promovem efeitos rápidos sobre algumas amostras, conduzindo a pronunciada degradação das rochas evidente à vista desarmada, sobretudo no tocante ao polimento dado à face mais exposta aos agentes "meteorizantes".

Em conformidade com o exposto, foi feito em cada etapa do ensaio o registo micrográfico em luz reflectida da face polida de cada uma das amostras, a determinação da respectiva reflectância e peso e, ainda, a análise química da solução de imersão.

Os resultados obtidos para a reflectância, peso e análises químicas constam, respectivamente, dos Quadros XII, XIII e XIV. As Figs. 57, 58 e 59, construídas com base nesses dados, permitem a visualização imediata da sua evolução ao longo do ensaio.

DURAÇÃO ("Anos")	AMOSTRAS								
	LM	NMM	AZ	ETV	LC	LF	EN	AN	EV
0	7.69	4.52	5.79	7.20	6.82	6.69	5.89	5.89	6.84
1	3.47	2.11	2.02	2.73	2.76	2.67	2.30	3.01	2.49
5	3.27	2.05	1.10	2.64	2.41	2.14	0.93	2.64	2.47

Legenda:

"Anos", significam "anos laboratoriais"

Quadro XII - Reflectâncias (%) das amostras ensaiadas no início e no final de cada ciclo do ensaio

PERDA RELATIVA ACUMULADA DE PODER REFLECTOR AO LONGO DO ENSAIO
CALCÁRIOS DA REGIÃO DE LISBOA UTILIZADOS NA BASÍLICA DA ESTRELA
ENSAIO LABORATORIAL DE ENVELHECIMENTO ACELERADO

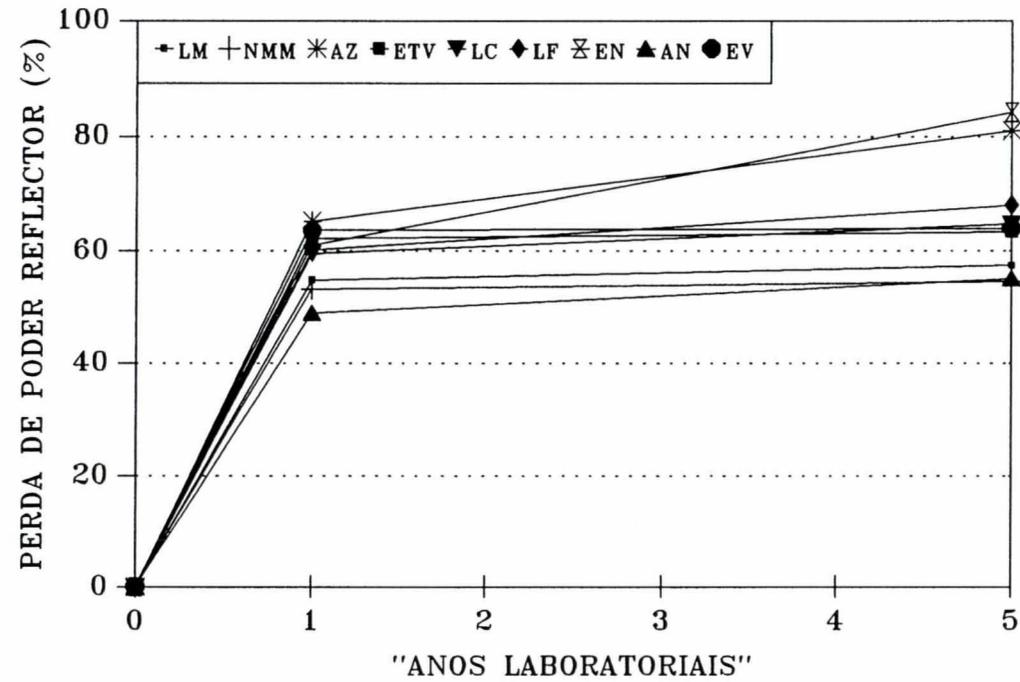


Fig.57 - Evolução da perda relativa de poder reflector (%) com o tempo de alteração.

DURAÇÃO ("Anos")	AMOSTRAS								
	LM	NMM	AZ	ETV	LC	LF	EN	AN	EV
0	40.2973	41.0592	41.2065	41.3385	41.7032	40.8167	40.3969	38.2365	39.6838
1	40.2832	41.0540	41.1725	41.3169	41.6876	40.7906	40.3769	38.1869	39.6685
5	40.2577	41.0169	41.1518	41.2944	41.6644	40.7702	40.3472	38.1458	39.6463

Legenda:

"Anos", significam "anos laboratoriais".

Quadro XIII - Peso (g) das amostras no final de cada etapa dos ensaios

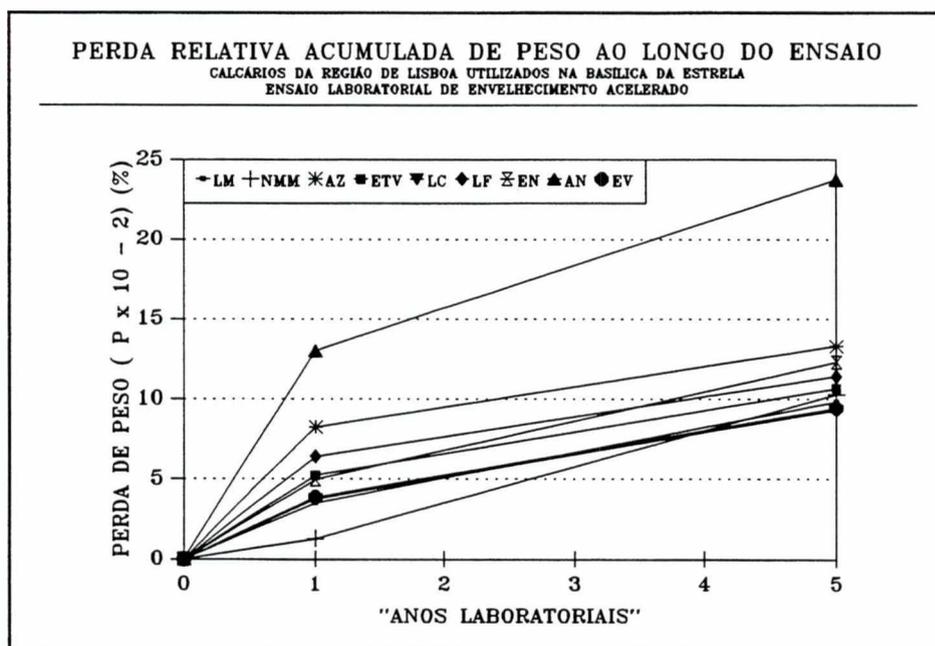


Fig.58 - Evolução da perda relativa de peso (%) com o tempo de alteração.

AMOSTRAS	Ciclo de (0 - 1) ano laboratorial					Ciclo de (1-5) cinco anos laboratoriais				
	Óxidos doseados*					Óxidos doseados*				
	SiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
LM	0.001	0.023	0.000	0.001	0.001	0.002	0.022	0.000	0.001	0.001
NMM	0.002	0.023	0.000	0.001	0.001	0.004	0.022	0.001	0.001	0.001
AZ	0.004	0.018	0.000	0.001	0.001	0.005	0.022	0.000	0.002	0.001
ETV	0.001	0.019	0.000	0.000	0.000	0.001	0.026	0.000	0.000	0.000
LC	0.001	0.024	0.000	0.000	0.000	0.002	0.030	0.000	0.000	0.000
LF	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000
EN	0.003	0.022	0.000	0.001	0.001	0.004	0.009	0.001	0.002	0.001
AN	0.013	0.004	0.001	0.005	0.003	0.014	0.011	0.001	0.002	0.002
EV	0.001	0.021	0.000	0.000	0.000	0.001	0.026	0.000	0.000	0.000

Legenda:

*, os valores de Al₂O₃ e Fe₂O₃ são para as amostras ensaiadas sempre menores que 0.000%.

Quadro XIV - Análises químicas (%) das águas dos ensaios de climatização no final de cada etapa (LAMPIS)

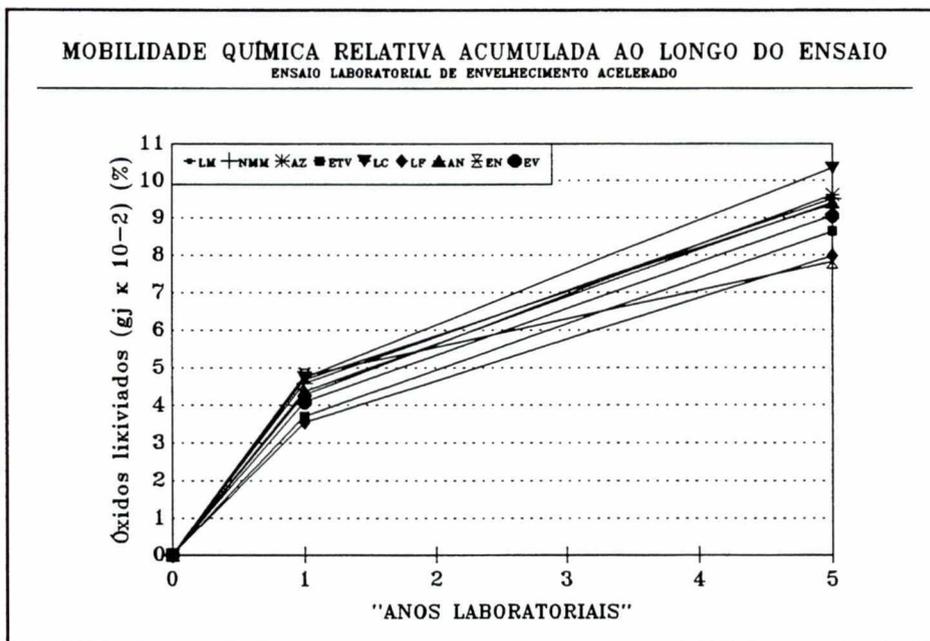


Fig.59 - Mobilidade relativa total (%) dos elementos químicos das rochas.

No Quadro XV constam os valores dos índices de alterabilidade (K) que foram calculados a partir da informação sobre a perda de peso e da lixiviação química verificadas ao longo do ensaio, de acordo com a seguinte equação proposta por Aires-Barros et al. (1975):

$$K = K_{\min} + gjK_{\min} = K_{\min}(1 + gj) \quad (22)$$

em que:

K - é um índice de alterabilidade;

K_{\min} - é um factor relacionado com a influência da composição mineralógica e que pode ser considerado igual a perda de peso (ΔP):

$$\Delta P_i = \frac{P_0 - P_i}{P_0} \times 100 \quad (\%)$$

em que:

i - é o tempo total de ensaio ("anos laboratoriais"), com $i \geq 1$;

P_0 - é o peso inicial da amostra;

P_i - é o peso da amostra no fim de i "anos" laboratoriais;

gj - é um factor relacionado com a influência da textura, permeabilidade e da porosidade, podendo ser considerado igual à lixiviação química total:

$$gj_i = \frac{\sum_{t=1}^i \sum_{l=1}^m X_{it}}{\sum_{l=1}^m Y_l}$$

em que:

i - é o tempo total de ensaio ("anos laboratoriais"), com $i \geq 1$;

m - é o número de óxidos a ter em conta na avaliação da alterabilidade e que depende da composição da rocha original;

X_{it} - teor do óxido l na água de lixiviação, ao fim de t "anos" laboratoriais;

Y_l - teor do óxido l na rocha sã.

DURAÇÃO ("Anos")	AMOSTRAS								
	LM	NMM	AZ	ETV	LC	LF	EN	AN	EV
	$K \times 10^{-2}$								
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3.5	1.3	8.3	5.2	3.7	6.4	5.0	13.0	3.9
5	9.8	10.3	13.3	10.7	9.3	11.4	12.3	23.7	9.5

Legenda:

"Anos", significam "anos laboratoriais".

Quadro XV - Indices de alterabilidade (K) no final de cada etapa do ensaio

V.8.4 - ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A análise e interpretação de toda a informação coligida ao longo dos ensaios realizados permitem avançar as seguintes observações gerais.

V.8.4.1 - ASPECTOS TEXTURAIS DAS SUPERFÍCIES "ENVELHECIDAS"

Ao microscópio de luz reflectida, as superfícies das amostras inicialmente polidas mostram, após os ensaios, evidentes modificações texturais que se traduzem, em geral, numa diferente nitidez dos contornos e dos traços de clivagem que se vão esbatendo, chegando mesmo a desaparecer com o ensaio de envelhecimento. São, ainda, evidentes outras transformações que consistem, sobretudo, no alargamento das microfissuras e/ou traços de clivagem já existentes e na alteração das superfícies com bom polimento em superfícies obscurecidas (*vide*, a título de exemplo, as Figs. 60 a 65).

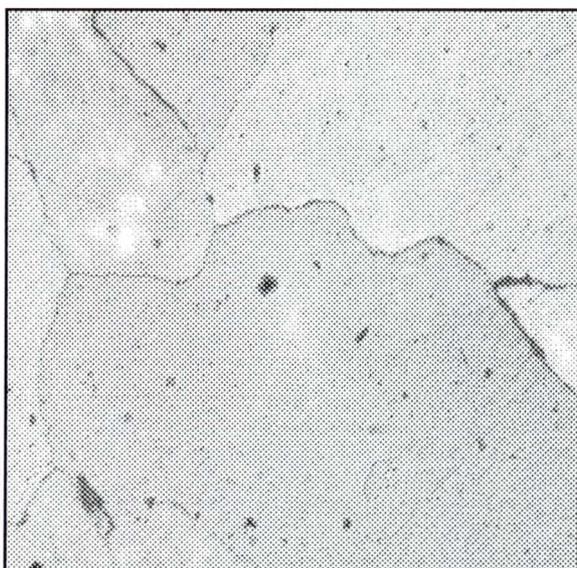


Fig.60 - Aspecto textural da rocha sã (Azul de Sintra). Imagem em níveis de cinzento (256 x 256 pixels).



Fig.61 - Aspecto textural da rocha ao fim de 1 "ano" de ensaio (Azul de Sintra). Imagem em níveis de cinzento (256 x 256 pixels).

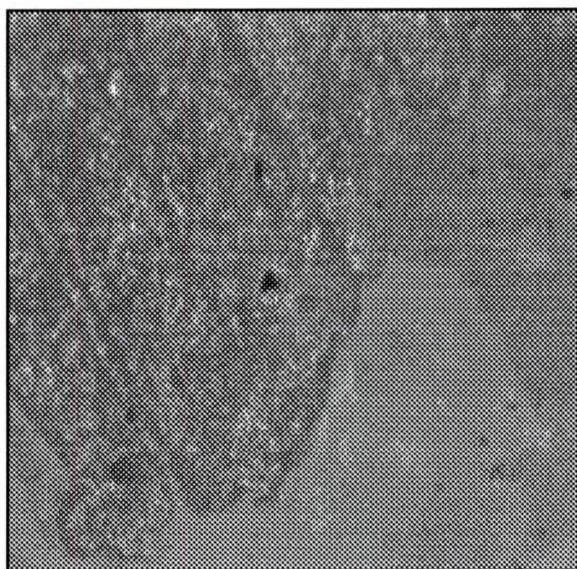


Fig.62 - Aspecto textural da rocha ao fim de 5 "anos" de ensaio (Azul de Sintra). Imagem em níveis de cinzento (256 x 256 pixels).



Fig.63 - Aspecto textural da rocha sã (Lioz de Ferveça). Imagem em níveis de cinzento (256 x 256 pixels).

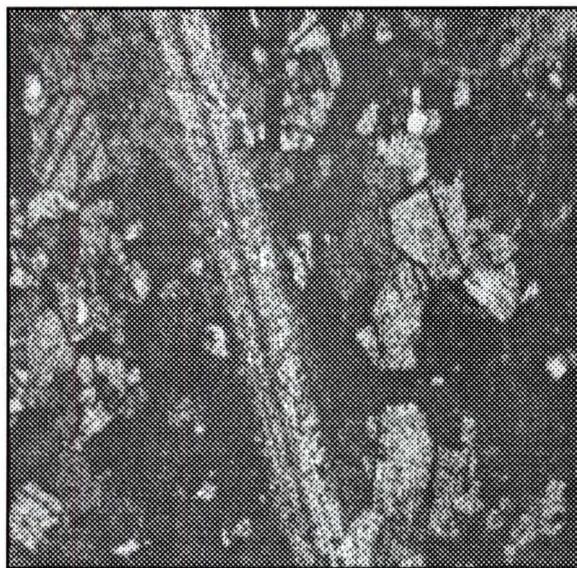


Fig.64 - Aspecto textural da rocha ao fim de 1 "ano" de ensaio (Lioz de Ferveça). Imagem em níveis de cinzento (256 x 256 pixels).



Fig.65 - Aspecto textural da amostra após 5 "anos" de ensaio (Lioz de Ferveça). Imagem em níveis de cinzento (256 x 256 pixels).

V.8.4.2 -VARIACÃO DO PODER REFLECTOR AO LONGO DO ENSAIO

A variação da reflectância ou poder reflector (%) das amostras ao longo do ensaio é muito importante. Há amostras (EN e AZ) que perdem, ao fim dos 5 "anos laboratoriais" de ensaio, mais de 80% do seu poder reflector inicial (Quadro XII e Fig.57). Da observação da Fig.57 ressalta de imediato que tal variação é, todavia, efectivamente muito mais notada no primeiro "ano laboratorial", em que praticamente a totalidade das amostras ensaiadas perde mais de 50% do seu poder reflector inicial (o Amarelo de Negrais (amostra AN), constitui a única excepção, com uma perda próxima dos 49%), do que nos quatro "anos laboratoriais" que se lhe seguem. Isto é, a perda de poder reflector ocorre, em geral, fundamentalmente no decurso do primeiro "ano laboratorial" de ensaio, sendo menor o impacto dos quatro últimos "anos laboratoriais". Nestes últimos quatro "anos laboratoriais" a variação da reflectância anda, para cerca de 78% das amostras ensaiadas, abaixo dos 10% do seu poder reflector inicial. Para os restantes 22% das amostras ensaiadas (AZ e EN) essa variação apresenta valores entre os 15 e 25% do seu poder reflector inicial. Pode, deste modo, referir-se que, em geral, para as amostras ensaiadas não há significativas diferenças entre os valores de reflectância medidos ao fim de cinco "anos laboratoriais" e os valores obtidos no final do primeiro "ano laboratorial". Resulta assim evidente que, relativamente ao potencial de reflexão presente no início dos ensaios de envelhecimento "a húmido", os primeiros contactos com a água são efectivamente os mais agressivos para o material em análise.

Para a variação de reflectância (I_R (%)), tal que:

$$I_R = \frac{R_0 - R_i}{R_0} \quad (\%)$$

em que:

R_0 - é a reflectância inicial da amostra;

R_i - é a reflectância da amostra ao fim de i "anos laboratoriais";

temos sempre $dI_R/dt > 0$ e decrescente ao longo de todo o ensaio, com $[dI_R/dt]_{t=1-} > > [dI_R/dt]_{t=1+}$, com t significando "anos laboratoriais". Os valores para a razão $[dI_R/dt]_{t=1-} / [dI_R/dt]_{t=1+}$ variam entre apenas 10.5 para a amostra EN (Encarnadão de Negrais) e 870 para a amostra EV (Encarnadão Vidraço). Pode, por exemplo, dizer-se que a alterabilidade

(%/"ano laboratorial") do Encarnadão Vidraço (EV), face a esta propriedade, é cerca de 840 vezes superior no primeiro "ano laboratorial" de ensaio.

Se quisermos, relativamente ao comportamento da derivada dI_R/dt ao longo dos 5 "anos laboratoriais" de duração total do ensaio, a medição da reflectância da superfície polida das amostras mostra claramente dois grupos de rochas. Um grupo composto pelas amostras (NMM, ETV e EV) que têm valores da razão $[dI_R/dt]_{t=1-}/[dI_R/dt]_{t=1+} > 100$, e o outro a que pertencem as restantes amostras que têm valores da razão $[dI_R/dt]_{t=1-}/[dI_R/dt]_{t=1+} < 100$.

Há, ainda, outras particularidades que podem ser realçadas se considerarmos, por exemplo, o potencial existente no início de cada etapa do ensaio e definirmos **reactividade água/rocha (%)**, como a variação relativa de uma grandeza qualquer (G) mensurável entre duas etapas consecutivas, em conformidade com a equação seguinte:

$$React_{(água/rocha)_i} = \frac{|G_{i-1} - G_i|}{G_{i-1}} \times 100 \quad (\%)$$

em que:

i - é o tempo de ensaio ("anos laboratoriais"), com $i \geq 1$.

Temos, assim, que as amostras (AZ) e (EN), que apresentam perdas de poder reflector nos últimos quatro "anos laboratoriais" de apenas 15.9% e 23,3% do seu poder reflector inicial, chegam a atingir, nesse mesmo período, uma reactividade, definida com base na reflectância, próxima da verificada na primeira etapa do ensaio, como se ilustra através dos respectivos valores 0.70 e 0.98 (próximos de 1) para a razão $React_{(água/rocha)_i=5}/React_{(água/rocha)_i=1}$. Deste ponto de vista, as perdas de reflectância verificadas nos últimos quatro "anos laboratoriais" de ensaio não são dispiciendas face ao potencial existente no início dessa etapa.

As considerações efectuadas levam a concluir que as medições de reflectância das rochas permitem obter uma imagem do comportamento das rochas submetidas aos ensaios de envelhecimento acelerado "a húmido".

Os valores das reflectâncias das amostras aqui apresentados foram determinados, em luz monocromática ($\lambda = 546$ nm), com recurso ao microfotómetro MPV da Leitz em funcionamento no LAMPIST e descrito em Figueiredo, C. (1991).

V.8.4.3 - A PERDA DE PESO AO LONGO DO ENSAIO

A perda de peso ao longo dos 5 "anos laboratoriais" de ensaio é, para a totalidade das amostras ensaiadas, sempre inferior a 0.25% do seu peso inicial, o que é próximo do valor (0.24%) registado para a amostra **AN** (Amarelo de Negrais). O valor mínimo para a perda de peso acumulada ao longo do ensaio é cerca de 0.093 % do peso inicial da amostra, e foi registado para a amostra **LC** (Lioz da Colhoa) (vide Quadro XIII e Fig.58).

Somente cerca de 33% das amostras ensaiadas (**AZ**, **LF** e **AN**) têm perdas de peso maiores no primeiro "ano laboratorial" do que nos últimos quatro "anos laboratoriais", atingindo valores entre os 0.064% e os 0.130%. É curioso notar que as amostras (**LM**, **NMM**, **ETV**, **LC**, **EN** e **EV**) que denotam maior perda de peso nos últimos quatro "anos laboratoriais", apresentam no primeiro "ano laboratorial" perdas de peso sempre inferiores a 0.052%, valor abaixo do registado nesse período para as amostras anteriormente referenciadas (**AZ**, **LF** e **AN**).

Contrariamente ao que se afirmou relativamente ao poder reflector, resulta daqui evidente que, relativamente ao peso das amostras no início do ensaio, os primeiros contactos com a água não foram para todas as amostras efectivamente os mais agressivos. Isto é, a perda de peso ao longo do ensaio não ocorre, para algumas amostras (**LM**, **NMM**, **ETV**, **LC**, **EN** e **EV**), fundamentalmente no decurso do primeiro "ano" de ensaio, sendo sim maior o impacto dos quatros últimos "anos laboratoriais". Note-se, ainda, que a perda de peso nos últimos quatro "anos laboratoriais" nunca é inferior a 0.050%, havendo amostra que chegam a ter perdas de peso de cerca de 0.090% do seu peso inicial, valor próximo da perda de peso acumulada para algumas amostras (**LM**, **LC** e **EV**). Isto significa que amostras como (**AZ**, **LF** e **AN**), que mais peso perderam no decurso do primeiro "ano laboratorial", acabam por perder igual peso nos últimos quatro "anos laboratoriais". Isto significa, também, que apesar da desaceleração da reacção água/rocha (menor alterabilidade), a rocha continua a ser lixiviada de forma que ao fim dos últimos quatro "anos laboratoriais" se atinja uma perda de massa aproximadamente igual à verificada no primeiro "ano".

Fazendo $I_p = \Delta P$ (perda de peso), temos sempre $dI_p/dt > 0$ e decrescente, com excepção da **NMM** em que temos $dI_p/dt > 0$ e crescente. Isto significa que para esta amostra (**NMM**) temos $[dI_p/dt]_{t=1+} = 0.0093 > [dI_p/dt]_{t=1-} = 0.0052$, i.e., que a alterabilidade para esta amostra é cerca de 1,8 vezes superior nos últimos quatros "anos laboratoriais". Para as

restantes amostras temos sempre $[dI_p/dt]_{t=1-} > [dI_p/dt]_{t=1+}$, com valores para a razão $[dI_p/dt]_{t=1-}/[dI_p/dt]_{t=1+}$ que variam entre 2.2 (amostra **LM**) e 6.6 (amostra **AZ**). É, no entanto, importante fazer notar que a razão $[dI_p/dt]_{t=1-}/[dI_p/dt]_{t=1+}$ apresenta valores mais elevados (entre 4.8 e 6.5) para as amostras (**AZ**, **LF** e **AN**) com maior perda de peso no primeiro "ano laboratorial". Para as restantes amostras que apresentam maior perda de peso nos últimos quatro "anos laboratoriais" os valores desta razão situam-se entre 0.6 (amostra **NMM**) e 3.9 (amostra **ETV**). Para estas últimas amostras, a maioria destes valores situa-se entre 2.2 e 2.7.

Se bem que se observe, de um ponto de vista geral, que a alterabilidade das amostras ensaiadas diminui ao longo do processo de envelhecimento acelerado, a análise feita em termos de reactividade água/rocha (%) mostra, todavia, que as perdas de peso verificadas nos últimos quatro "anos laboratoriais" não são dispiciendas para a totalidade das amostras ensaiadas. Para as amostras (**LM**, **NMM**, **ETV**, **LC**, **EN** e **EV**) com maior perda de peso nos últimos quatro "anos laboratoriais" os valores da razão $\text{React}_{(\text{água/rocha})t=5}/\text{React}_{(\text{água/rocha})t=1}$ são naturalmente maiores que 1, variando para a maioria destas rochas entre 1.04 (**ETV**) e 1.8 (**LM**). A excepção é constituída pela amostra **NMM** (Negro de Mem Martins) que apresenta nos últimos quatro "anos laboratoriais" de ensaio uma reactividade água/rocha cerca de sete vezes superior à verificada no primeiro "ano laboratorial". Relativamente as amostras (**AZ**, **LF** e **AN**) com maior perda de peso no primeiro "ano laboratorial", os valores para essa razão entre 0.61 e 0.83, deixam perceber que a perda de peso nos últimos quatro "anos laboratoriais" foi pelo menos superior a 50% da verificada no primeiro "ano laboratorial", pelo que será, por esta razão, de ter em conta.

A análise da variação do peso ao longo do ensaio, por um lado, reforça a tese, que resultara do estudo da variação da reflectância das superfícies destas rochas, de que o primeiro impacto da água com a rocha é o mais agressivo. Por outro lado, vem dizer que se deve também ter em conta o efeito cumulativo dos processos de alteração ao longo dos últimos quatro "anos laboratoriais", o que não transpareceu de forma clara na análise das reflectâncias. Isto põe, também, o problema da escolha da grandeza a medir na avaliação da alterabilidade dos materiais. A sublinhar esta discussão, há ainda o caso particular da amostra **NMM**, que efectivamente viola a regra geral emanada da análise feita até aqui: $[dG/dt]_{t=1-} >> [dG/dt]_{t=1+}$.

Para o estudo das correlações possíveis entre a perda de peso (ΔP) e outras propriedades físico-químicas das respectivas rochas, construíram-se os diagramas de dispersão desta propriedade, respectivamente, com a porosidade ao ar (n_{ar}), a permeabilidade ao ar (k_{ar}) e, ainda, com a lixiviação química total (gj) (Figs.66 a 68). Calcularam-se também os respectivos coeficientes de correlação linear (r), dados no Quadro VI.

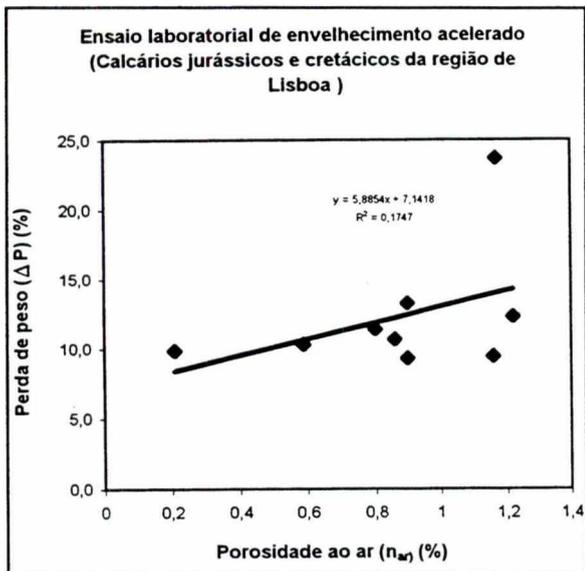


Fig.66 - Diagrama de dispersão: perda de peso (ΔP) e porosidade ao ar (n_{ar}).

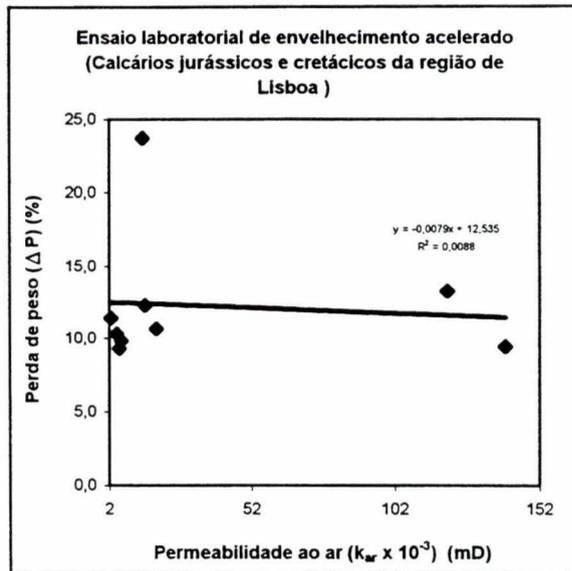


Fig.67 - Diagrama de dispersão: perda de peso (ΔP) e permeabilidade ao ar (k_{ar}).

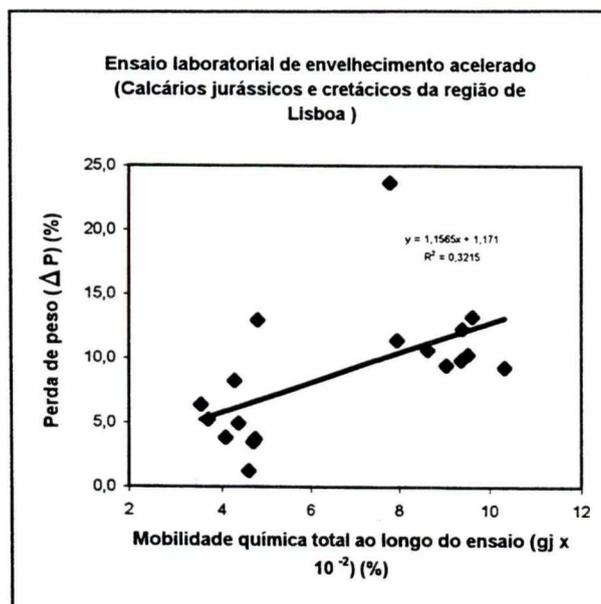


Fig.68 - Diagrama de dispersão: perda de peso (ΔP) e lixiviação química total (gj).

MATRIZ DE CORRELAÇÃO									
		Teores iniciais nas rochas (%)					Mob. química relativa (%)	Porosidade ao ar (%)	Permeabilidade ao ar (mD)
		CaO	SiO ₂	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	gj	n _{ar}	k _{ar}
Mobilidade química relativa (%)	CaO	0,3857							-0,1667
	SiO ₂		-0,3241						-0,5603
	MgO			-0,1489					0,1800
	Na ₂ O				0,3410				0,1714
	K ₂ O					-0,1947			-0,5835
	gj							-0,2204	-0,4956
Perda de peso (%)	ΔP						0,5670	0,4179	0,4821

Quadro XVI - Matriz de correlação

Verifica-se, da interpretação conjunta das correlações analisadas, que a perda de peso (ΔP) das amostras, observada ao longo do ensaio, é melhor explicada pela mobilidade química dos respectivos elementos constituintes. Todavia, a relação linear positiva ($r=0.5670$), que parece existir entre a perda de peso e a lixiviação química total (gj), permite afirmar que as variações verificadas na perda de peso (ΔP) ao longo do ensaio, são explicadas, apenas, em cerca de 32%, por este tipo de relação.

V.8.4.4 - MOBILIDADE QUÍMICA TOTAL

A mobilidade química acumulada ao longo dos 5 "anos laboratoriais" varia, para cerca de 67% das amostras ensaiadas, entre 9.04×10^{-2} (%) e 10.3×10^{-2} (%) do seu teor inicial (ver Quadro XIV e Fig.59). Isto é, os valores calculados para (gj) são sempre inferiores a 10.3×10^{-2} (%). O valor máximo foi registado para a amostra LC (Lioz da Colhoia). Para os restantes 33% das amostras ensaiadas, constituídos nomeadamente pelas amostras ETV, LF e EN, esses valores situam-se entre os 7.81×10^{-2} (%) e os 8.63×10^{-2} (%). A amostra EN (Encarnadão de Negrais) apresenta o menor valor (7.81×10^{-2} (%)) de lixiviação acumulada ao longo de todo o ensaio. Para cerca de 89% das amostras ensaiadas a razão

$(Mq)_{t=4}/(Mq)_{t=1}$, i.e., entre a mobilidade química ocorrida no primeiro "ano laboratorial" $(Mq)_{t=1}$ e a mobilidade química ocorrida nos últimos quatro "anos laboratoriais" $(Mq)_{t=4}$ do ensaio de envelhecimento laboratorial acelerado, é sempre maior ou igual a um, com valores entre 1 (LM) e 1.33 (ETV). De entre estas, 50 % têm para esta razão valores entre 1.25 e 1.33. Isto significa que o contacto das amostras rochosas com a água ao longo dos últimos quatro "anos laboratoriais" não é dispiciendo. A grande excepção é constituída pela amostra EN em que se verifica que a razão $(Mq)_{t=4}/(Mq)_{t=1}$ é igual a 0.63, indicando uma maior mobilidade química no primeiro "ano laboratorial".

Para a globalidade dos litotipos ensaiados, temos sempre $[dgj/dt] > 0$ e decrescente. A razão $[dgj/dt]_{t=1}/[dgj/dt]_{t=1+}$, apresenta valores entre 3.0 (amostra ETV) e 6.34 (amostra EN), o que significa que a alterabilidade destas rochas é, em termos da mobilidade química dos seus catiões, pelo menos cerca de 3 vezes superior no primeiro "ano" laboratorial de ensaio. Os valores para $[dgj/dt]_{t=1}$ variam entre 0.0354 %/"ano" e 0.0479 %/"ano", reportando-se estes casos extremos respectivamente às amostras LF e EN. Cerca de 88% destes valores variam entre 0.0408 %/"ano" e 0.0479 %/"ano". Os valores de $[dgj/dt]_{t=1+}$ variam entre 0.0076 %/"ano" e 0.0140 %/"ano", que são valores extremos e que foram registados respectivamente para as amostras EN e LC. Cerca de 89% destes valores situam-se entre 0.0111 %/"ano" e 0.0140 %/"ano".

É, ainda, curioso notar que, por um lado, a maior lixiviação relativa acumulada ao longo de todo o ensaio foi registada para a amostra (LC) que apresenta o maior valor de $[dgj/dt]_{t=1+} \approx 0.0140$ %/"ano". Isto significa que esta amostra (LC) apresenta a maior alterabilidade global graças à maior alterabilidade nos últimos quatro "anos laboratoriais", dado que o seu valor (≈ 3.37) para a razão $[dgj/dt]_{t=1}/[dgj/dt]_{t=1+}$, é um dos mais baixos valores registados. Por outro lado, a menor lixiviação química relativa acumulada ao longo dos 5 "anos laboratoriais" foi registada para a amostra (EN) que apresenta o menor valor para $[dgj/dt]_{t=1} \approx 0.0076$ %/"ano" e a maior relação $[dgj/dt]_{t=1}/[dgj/dt]_{t=1+} \approx 6.34$.

O estudo das correlações possíveis entre a lixiviação química total (gj) e, respectivamente, a porosidade (n_{ar}) e a permeabilidade (k_{ar}) ao ar, permite afirmar que o seu conhecimento beneficiará pouco do conhecimento prévio da porosidade e da permeabilidade ao ar, através da definição de uma relação linear entre estas variáveis (*vide* Figs.69 e 70 e, ainda, o Quadro XVI). Os coeficientes de correlação calculados são, respectivamente, iguais

a $r = -0.2204$ e $r = -0.4956$, e a proporção da variação total da lixiviação química (gj) que é explicada pela relação linear entre estas variáveis é, no máximo, aproximadamente igual a 25%.

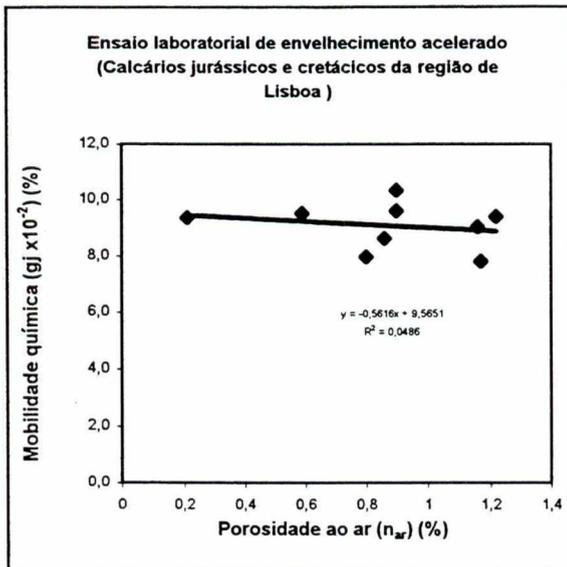


Fig.69 - Diagrama de dispersão: lixiviação química acumulada (gj) e porosidade ao ar (n_{ar}).

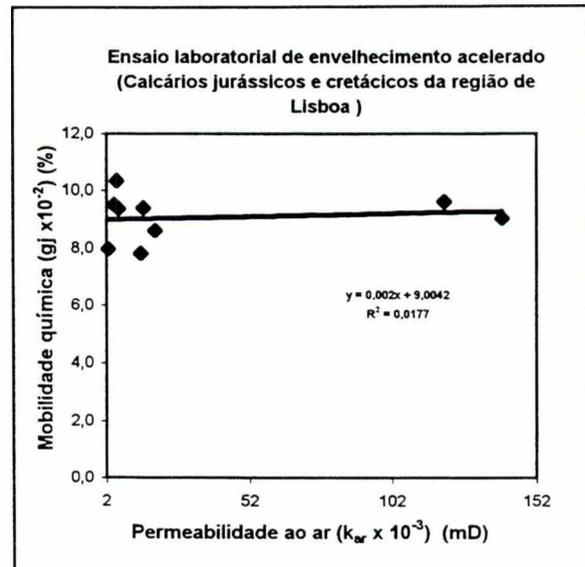


Fig.70 - Diagrama de dispersão: lixiviação química acumulada (gj) e permeabilidade ao ar (k_{ar}).

V.8.4.5 - COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DOS ELEMENTOS CONSTITUINTES DAS ROCHAS

Na análise subsequente é utilizada a seguinte simbologia: >>>, para valores da razão entre a lixiviação de dois elementos ≥ 10 , >> para valores entre 10 e ≥ 5 , > para valores < 5 .

Fazendo $qX = gj$, calculada para um só elemento químico (X), podemos avançar as seguintes considerações, sobre a mobilidade relativa dos elementos químicos das rochas, ao longo do ensaio.

V.8.4.5.1 - ANÁLISE INDIVIDUAL DAS AMOSTRAS, FACE À MOBILIDADE QUÍMICA DOS RESPECTIVOS ELEMENTOS CONSTITUINTES

Relativamente à análise individual das amostras, face à mobilidade química relativa acumulada dos respectivos elementos constituintes, sublinham-se as seguintes observações:

* **Lioz do Murganhal** (amostra LM). A mobilidade dos elementos químicos desta rocha lixiviados para a solução de arrefecimento, ao longo do ensaio de envelhecimento, permite estabelecer a seguinte relação de ordem: $K^+ \gg Na^+ > Si^{4+} \gg Ca^{2+} > Mg^{2+}$ (Fig.71). Se tomarmos a mobilidade do cálcio como referência, esta mesma relação de ordem pode ter a seguinte redacção: $244.89Ca^{2+} \gg 48.98Ca^{2+} > 22.96Ca^{2+} \gg Ca^{2+} > 0.0Ca^{2+}$. Isto permite afirmar, por exemplo, que a solubilidade do potássio (K) é cerca de 245 vezes superior à verificada para o cálcio. Importa, ainda, sublinhar as seguintes razões: $K^+/Na^+ \approx 5$, $(K^+ + Na^+)/Ca^{2+} \approx 293.87$ e $(K^+ + Na^+ + Si^{4+})/Ca^{2+} \approx 316.83$.

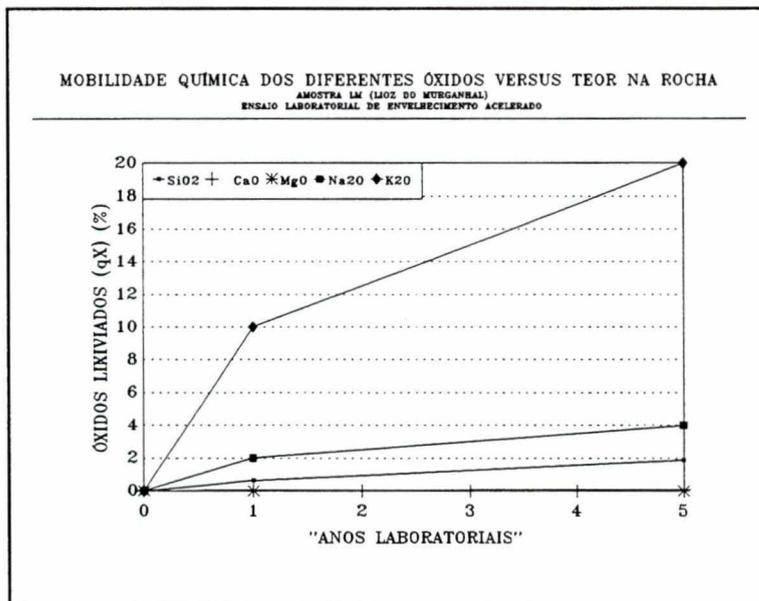


Fig.71 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Lioz do Murganhal).

* **Negro de Mem Martins** (amostra NMM). Para esta amostra, é possível estabelecer a seguinte relação de ordem para a mobilidade química dos seus elementos, ao longo do ensaio: $Na^+ \gg K^+ > Ca^{2+} > Si^{4+} > Mg^{2+}$ (Fig.72). Tomando a mobilidade do cálcio como referência, esta relação de ordem pode ter a seguinte redacção:

$34.41\text{Ca}^{2+} \gg 3.56\text{Ca}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > 0.71\text{Ca}^{2+} > 0.35\text{Ca}^{2+}$. Destacam-se, ainda, as seguintes razões: $\text{K}^+/\text{Na}^+ \approx 0.104$, $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)/\text{Ca}^{2+} \approx 37.97$ e $(\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Si}^{4+})/\text{Ca}^{2+} \approx 38.68$.

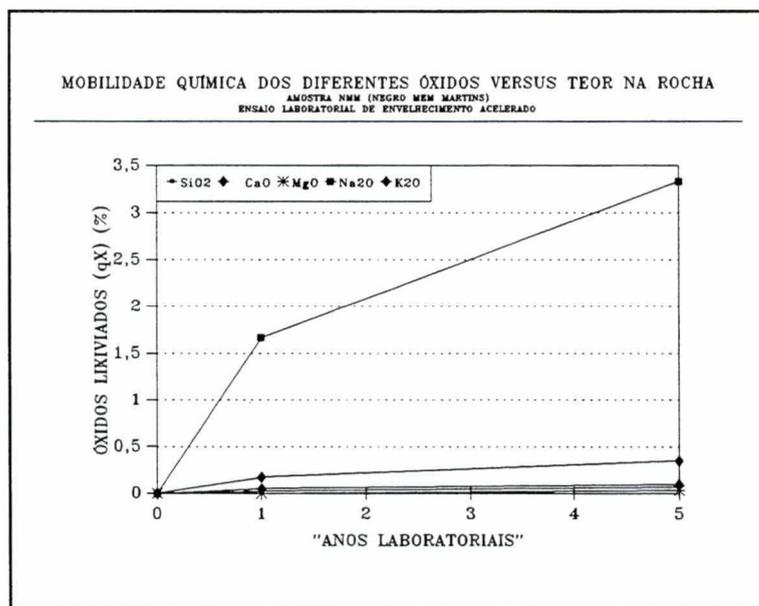


Fig.72 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Negro de Mem Martins).

* **Azul de Sintra** (amostra **AZ**). Para esta amostra, temos a seguinte relação de ordem para a mobilidade dos respectivos elementos químicos: $\text{Na}^+ > \text{K}^+ \gg \text{Si}^{4+} \gg \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ (Fig.73). Se tomarmos a mobilidade do cálcio como referência esta relação de ordem pode ser escrita da seguinte maneira: $197.78\text{Ca}^{2+} > 87.81\text{Ca}^{2+} \gg 4.78\text{Ca}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > 0.0\text{Ca}^{2+}$. Sublinham-se, ainda, as seguintes razões: $\text{K}^+/\text{Na}^+ \approx 0.444$, $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)/\text{Ca}^{2+} \approx 285.59$ e $(\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Si}^{4+})/\text{Ca}^{2+} \approx 290.37$.

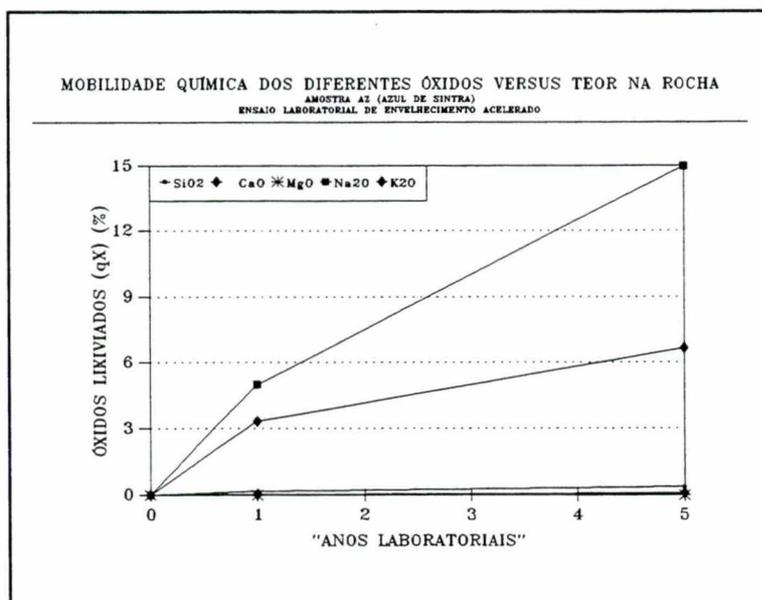


Fig.73 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Azul de Sintra).

* **Encarnadão tipo vidro** (amostra ETV). Temos, para a mobilidade química relativa acumulada ao longo do ensaio dos elementos químicos desta amostra, a seguinte relação de ordem: $Si^{4+} > Ca^{2+} > Na^+ = K^+ = Mg^{2+}$ (Fig. 74). Tomando a mobilidade do cálcio como referência, esta relação de ordem pode ter a seguinte redacção: $1.69Ca^{2+} > Ca^{2+} > 0.0Ca^{2+} = 0.0Ca^{2+} = 0.0Ca^{2+}$. Importa realçar, ainda, as seguintes razões: $(K^+ + Na^+)/Ca^{2+} = 0.0$ e $(K^+ + Na^+ + Si^{4+})/Ca^{2+} \approx 1.69$.

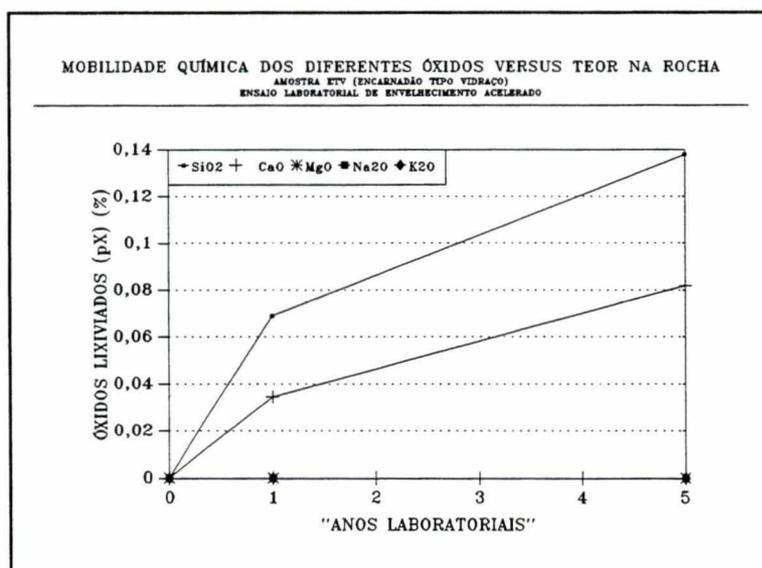


Fig.74 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Encarnadão tipo Vidraço, Pedreira do António Lino).

* **Lioz da Colhoa** (amostra LC). Para esta amostra, temos a seguinte relação de ordem para a mobilidade química dos seus elementos: $\text{Si}^{4+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ = \text{K}^+ = \text{Mg}^{2+}$ (Fig.75). Se tomarmos a mobilidade do cálcio como referência, esta relação de ordem pode ter a seguinte redacção: $2.18\text{Ca}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > 0.0\text{Ca}^{2+} = 0.0\text{Ca}^{2+} = 0.0\text{Ca}^{2+}$. Destacam-se, ainda, as seguintes razões: $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)/\text{Ca}^{2+} \approx 0.0$ e $(\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Si}^{4+})/\text{Ca}^{2+} \approx 2.18$.

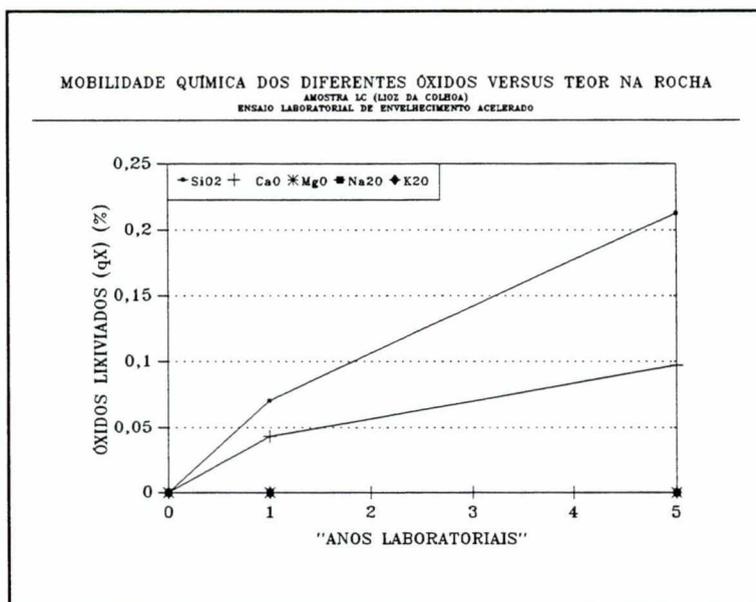


Fig.75 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Lioz da Colhoa).

* **Lioz da Fervença** (amostra LF). Para a mobilidade dos elementos químicos desta amostra, temos a seguinte relação de ordem: $\text{Ca}^{2+} > > > \text{Si}^{4+} = \text{Na}^+ = \text{K}^+ = \text{Mg}^{2+}$ (Fig.76). Tomando a mobilidade do cálcio como referência, esta relação de ordem pode ter a seguinte redacção: $\text{Ca}^{2+} > > > 0.0\text{Ca}^{2+} = 0.0\text{Ca}^{2+} = 0.0\text{Ca}^{2+} = 0.0\text{Ca}^{2+}$. Importa, ainda, realçar as seguintes razões: $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)/\text{Ca}^{2+} = 0.0$ e $(\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Si}^{4+})/\text{Ca}^{2+} \approx 0.0$.

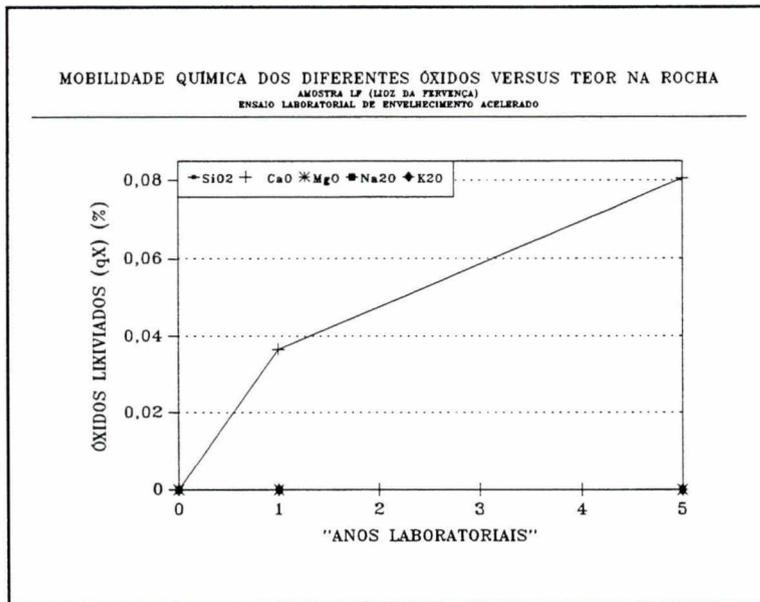


Fig. 76 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Lioz de Fervença).

* **Encarnação de Negrais (amostra EN).** Temos para esta amostra a seguinte relação de ordem para a mobilidade química dos seus elementos: $\text{Na}^+ \gg \text{K}^+ \gg \text{Mg}^{2+} > \text{Si}^{4+} > \text{Ca}^{2+}$ (Fig. 77). Se tomarmos a mobilidade do cálcio como referência, a relação de ordem anterior pode ser escrita da seguinte maneira: $169.26\text{Ca}^{2+} \gg 37.61\text{Ca}^{2+} \gg 6.04\text{Ca}^{2+} > 3.39\text{Ca}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$. Merecem, ainda, destaque as seguintes razões: $\text{K}^+/\text{Na}^+ \approx 0.222$, $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)/\text{Ca}^{2+} \approx 206.87$ e $(\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Si}^{4+})/\text{Ca}^{2+} \approx 210.25$.

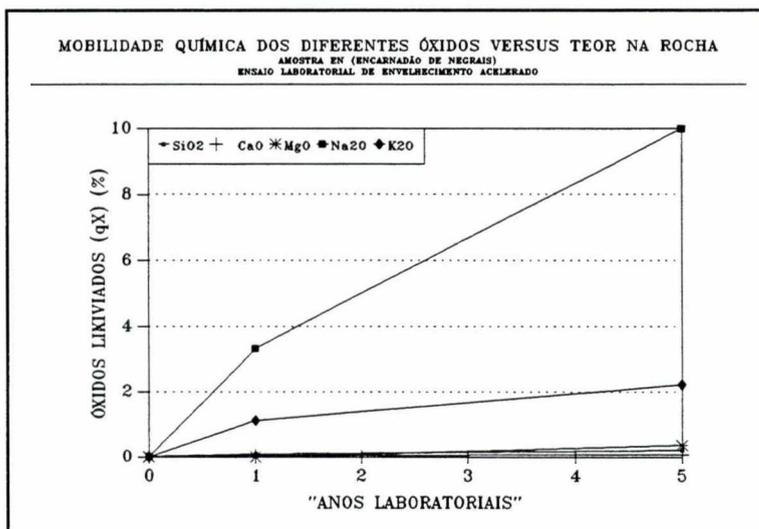


Fig. 77 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Encarnação de Negrais).

* **Amarelo de Negrais** (amostra AN). Para esta amostra temos a seguinte relação de ordem para a mobilidade dos elementos químicos: $\text{Na}^+ \gg \text{K}^+ \gg \text{Mg}^{2+} > \text{Si}^{4+} > \text{Ca}^{2+}$ (Fig.78). Tomando a mobilidade do cálcio como referência, esta relação de ordem pode ter a seguinte redacção: $741.52\text{Ca}^{2+} \gg 69.09\text{Ca}^{2+} \gg 15.02\text{Ca}^{2+} > 7.65\text{Ca}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$. Destacam-se, ainda, as seguintes razões: $\text{K}^+/\text{Na}^+ \approx 0.093$, $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)/\text{Ca}^{2+} \approx 810.61$ e $(\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Si}^{4+})/\text{Ca}^{2+} \approx 818.26$.

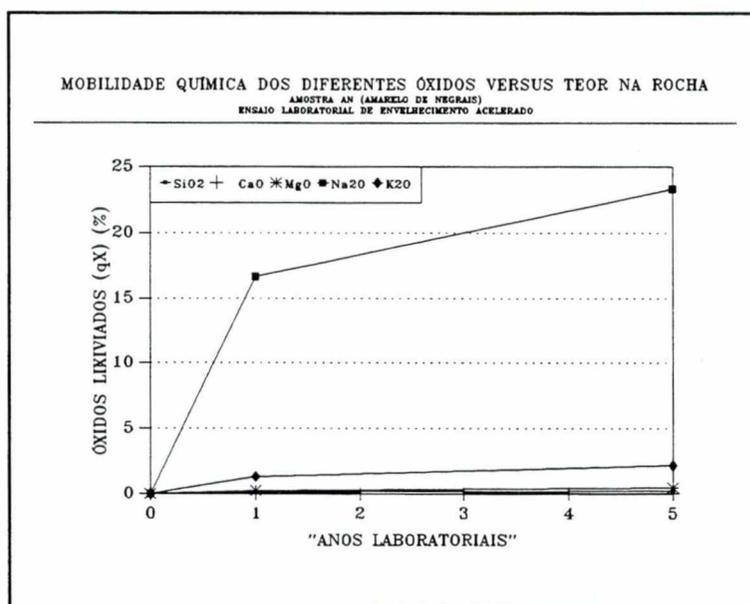


Fig.78 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Amarelo de Negrais).

* **Encarnação Vidraço** (amostra EV). A relação de ordem para a mobilidade química relativa acumulada ao longo do ensaio, para esta amostra, é a seguinte: $\text{Si}^{4+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ = \text{K}^+ = \text{Mg}^{2+}$ (Fig.79). Se tomarmos a mobilidade do cálcio como referência, esta relação de ordem pode ter a seguinte redacção: $3.69\text{Ca}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > 0.0\text{Ca}^{2+} = 0.0\text{Ca}^{2+} = 0.0\text{Ca}^{2+}$. Realçam-se, ainda, as seguintes razões: $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)/\text{Ca}^{2+} = 0.0$ e $(\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Si}^{4+})/\text{Ca}^{2+} \approx 3.69$.

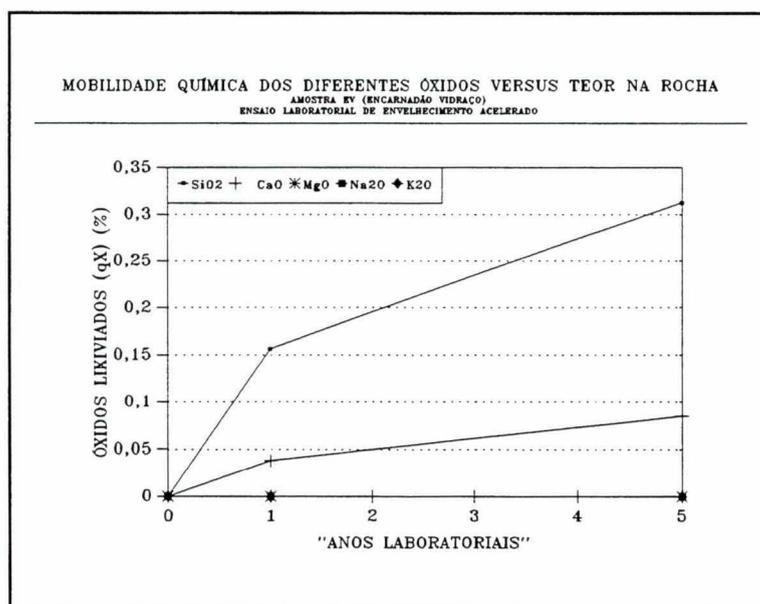


Fig.79 - Mobilidade relativa acumulada (%) dos elementos químicos (Encarnadão tipo Vidraço, Pedreira do Domingos).

Do conjunto de resultados obtidos, verifica-se ao longo do ensaio de envelhecimento acelerado "a húmido" uma mobilização mais extensa dos catiões metálicos Na^+ e K^+ . Esta chega a atingir, para algumas amostras (AN e LM), valores à volta dos 23.3% do respectivo teor inicial nas amostras. Face à mobilidade química do ião Ca^{2+} , a profunda remoção dos catiões Na^+ e K^+ torna-se mais evidente, dado os elevados valores que chegam a ser registados para a razão $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)/\text{Ca}^{2+}$, que variam entre 37.97 (NMM), 206.87 (EN), 285.59 (AZ), 293.87 (LM) e 810.61 (AN).

A seguir aos álcalis, aparece a sílica como o "elemento" mais extensamente mobilizado ao longo de todo o ensaio. De todos os elementos detectados na solução lixiviante, o magnésio é aquele que apresenta uma remoção menos extensa.

Há, no entanto, a sublinhar algumas particularidades que fogem um pouco a este quadro geral:

* É o caso do Lioz da Colhoa (LC), em que a sílica é o "elemento" mais extensamente mobilizado ao longo do ensaio, com uma mobilização cerca de 2.18 vezes superior à verificada para o cálcio.

* É o caso do Amarelo de Negrais (AN), em que o ião Mg^{2+} , com excepção dos álcalis, é dos iões mais extensamente mobilizados ao longo do ensaio, com valores de remoção cerca de 15 vezes superiores aos registados para o cálcio.

A composição mineralógica e química das rochas em estudo assim como algumas das suas propriedades físicas permitem avançar os seguintes comentários às observações efectuadas.

A diferença de comportamento acabada de referir é, sobretudo, devida às diferentes solubilidades dos catiões mencionados. Assiste-se a uma mais extensa mobilidade dos catiões mais facilmente solúveis, os alcalinos.

Quanto à composição mineralógica das rochas ensaiadas, esta é, globalmente, muito semelhante, mesmo tendo em conta os elementos não carbonatados presentes (*vide* Quadro III). Do estudo mínero-químico efectuado concluiu-se que, dos catiões mais intensa e extensamente mobilizados no ensaio efectuado, os Na^+ e K^+ encontram-se essencialmente associados a minerais argilosos do tipo ilite/haloisite, determinados por DRX; o Si^{4+} , aparece nestas amostras associado sobretudo às argilas e ao quartzo detrítico e/ou autigénico; a presença do Ca^{2+} , aparece sobretudo associada ao mineral essencial destas amostras, a calcite; o Mg^{2+} da água de lixiviação terá sobretudo origem na dolomite presente em algumas das amostras estudadas (amostras AN e NMM, por exemplo).

V.8.4.5.2 - ANÁLISE DA MOBILIDADE QUÍMICA DE CADA ELEMENTO NO CONJUNTO DAS ROCHAS ENSAIDAS

Quanto à diferente mobilidade química de cada elemento no conjunto das amostras ensaiadas, é possível avançar as seguintes considerações:

* **O ião cálcio (Ca^{2+}).** A mobilidade química global do cálcio ao longo do ensaio varia, para o conjunto das amostras ensaiadas, entre os valores extremos 0.031% e 0.097%, registados respectivamente para as amostras AN (Amarelo de Negrais) e LC (Lioz da Colhoa). O valor médio e o coeficiente de dispersão, para o conjunto de valores registados, são, respectivamente, iguais a 0.077% e 0.266. É, pois, possível seriar as amostras por ordem decrescente da mobilidade química deste elemento (Fig.80):

LC > NMM > EV > ETV > LM > LF > AZ > EN > AN

Se tomarmos como referência a amostra AN (Amarelo de Negrais) que apresenta a mais baixa taxa de lixiviação total de CaO ao longo do ensaio, a relação anterior pode ter a seguinte redacção:

3.10AN > 3.08AN > 2.69AN > 2.60AN = 2.60AN > 2.56AN > 2.41AN > 1.88AN > AN

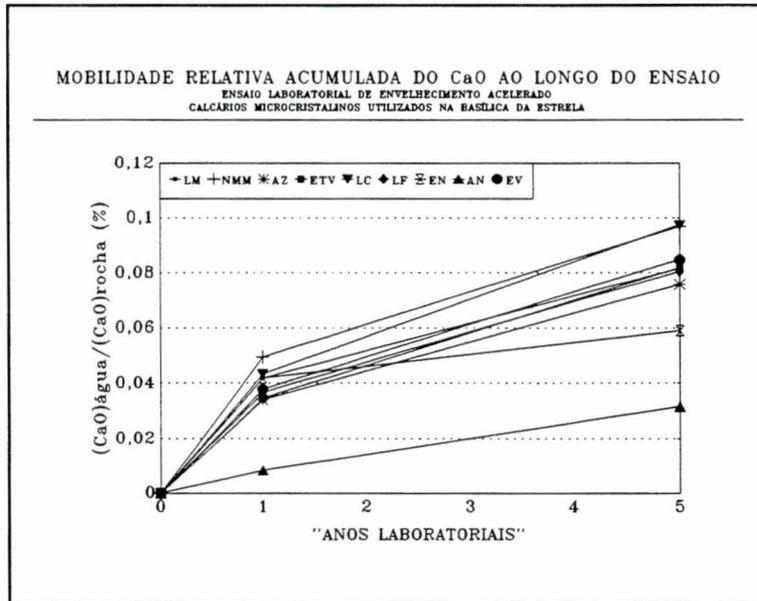


Fig.80 - Mobilidade relativa acumulada (%) do CaO, ao longo do ensaio.

Para este elemento temos sempre $[dqCa^{2+}/dt] > 0$ e decrescente. Quanto à razão $[dqCa^{2+}/dt]_{t=1} / [dqCa^{2+}/dt]_{t=1+}$, os valores registados variam entre ≈ 1.46 (amostra AN) e 9.78 (amostra EN), e permitem a seguinte seriação das amostras ensaiadas:

EN (≈ 9.8) > LM = NMM (≈ 4.2) > LF \approx AZ (≈ 3.3) > EV (≈ 3.2) > LC (≈ 3.1) > ETV (≈ 2.9) > AN (≈ 1.5)

Tendo como referência a amostra AN, que apresenta o mais baixo valor para esta razão ao longo do ensaio, a relação anterior pode ter a seguinte redacção:

6.70AN > 2.86AN = 2.86AN > 2.28AN > 2.24AN > 2.21AN > 2.19AN > 2AN > AN

Os valores para a razão $(MqCa^{2+})_{t=4} / (MqCa^{2+})_{t=1}$, variam entre os valores extremos ≈ 0.40 e ≈ 2.88 , registados respectivamente para as amostras EN (Encarnadão de Negrais) e AN (Amarelo de Negrais). É, pois, possível seriar por ordem decrescente as amostras ensaiadas, em conformidade com o respectivo valor dessa razão:

AN(≈ 2.88) > ETV(≈ 1.34) > LC(≈ 1.26) > EV(≈ 1.24) > AZ(≈ 1.22) > LF(≈ 1.19) > LM=NMM(≈ 0.96) > EN(≈ 0.40)

Se tomarmos como referência a amostra EN, que apresenta o mais baixo valor para essa razão, a relação anterior pode ter a seguinte redacção:

$$7.2\text{EN} > 3.35\text{EN} > 3.15\text{EN} > 3.1\text{EN} > 3.05\text{EN} > 2.98\text{EN} > 2.39\text{EN} = 2.39\text{EN} > \text{EN}$$

* **O ião magnésio (Mg^{2+}).** A mobilidade química total do magnésio ao longo do ensaio é, para o conjunto de rochas ensaiadas, sempre inferior a 0.488% do seu teor inicial. Para a maioria das amostras (LM, AZ, ETV, LC, LF e EV), o magnésio não é mobilizado ao longo destes ensaios de envelhecimento acelerado "a húmido". As únicas excepções são constituídas pelas amostras (NMM, EN e AN). Contudo, de entre estas, as amostras NMM e EN apresentam uma mobilidade química nula para o magnésio durante o primeiro "ano" laboratorial de ensaio (Fig.81).

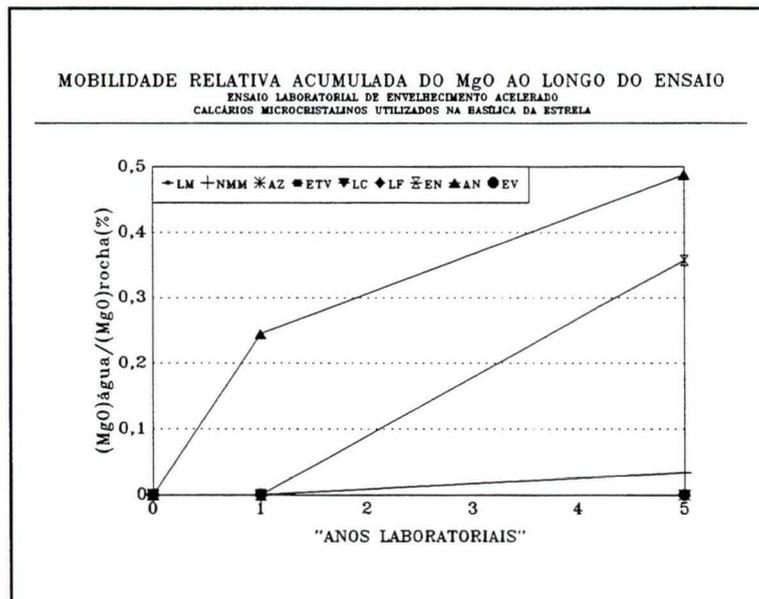


Fig.81 - Mobilidade relativa acumulada (%) do MgO , ao longo do ensaio.

Os valores registados têm valor médio e coeficiente de dispersão, respectivamente, iguais a 0.098% e a 1.919 e variam entre 0.0% e 0.488%. Estes permitem a seguinte seriação das amostras por ordem decrescente da mobilidade química deste elemento:

$$\mathbf{AN > EN > NMM > LM = AZ = ETV = LC = LF = EV}$$

Tomando como referência a amostra **NMM** que apresenta a mais baixa taxa de lixiviação total de **MgO** ao longo do ensaio, a relação anterior pode ter a seguinte redacção:

$$14.4\mathbf{NMM} > 10.6\mathbf{NMM} > > > \mathbf{NMM} > 0.0\mathbf{NMM}$$

em que a referência "0.0**NMM**" representa o conjunto de amostras (**LM**, **AZ**, **ETV**, **LC**, **LF** e **EV**) com mobilidade química nula para este elemento.

Quanto ao comportamento no tempo da mobilidade química cumulativa deste elemento, temos $[dqMg^{2+}/dt] > 0$ e decrescente, para a amostra **AN** (Amarelo de Negrais), e $[dMg^{2+}/dt] \geq 0$ e crescente, para as amostras **NMM** (Negro de Mem Martins) e **EN** (Encarnadão de Negrais). Isto é, para estas amostras temos $[dqMg^{2+}/dt]_{t=1-} = 0.0$ e respectivamente $[dqMg^{2+}/dt]_{t=1+} = 0.0085 \text{ \%/ano}$ e $[dqMg^{2+}/dt]_{t=1+} = 0.0893 \text{ \%/ano}$. Para o Amarelo de Negrais (**AN**), a razão $[dqMg^{2+}/dt]_{t=1-} / [dqMg^{2+}/dt]_{t=1+}$ é aproximadamente igual a 4, significando que a mobilidade química do magnésio é, para esta amostra, cerca de quatro vezes superior no primeiro "ano" de ensaio laboratorial. No entanto, o valor da relação $(MqMg^{2+})_{t=4} / (MqMg^{2+})_{t=1}$ sendo igual a 1, para esta amostra, indica que a mobilidade química total do magnésio verificada nos últimos quatro "anos" de ensaio laboratorial acaba por igualar a registada no primeiro "ano" de ensaio.

* **Silica** (SiO_2). Quanto à sílica, a sua mobilidade química é, para o conjunto de rochas ensaiadas, sempre inferior a 1.875% do seu teor inicial. O conjunto de valores registados tem um coeficiente de dispersão elevado igual a 1.489, variando entre os valores extremos 0.0% (amostra **LF**) e 1.875% (amostra **LM**). Pode, assim, estabelecer-se uma relação de ordem entre as amostras, face à mobilidade química global do SiO_2 ao longo do ensaio (Fig.82):

$$\mathbf{LM > AZ > EV > AN > LC > EN > ETV > NMM > LF}$$

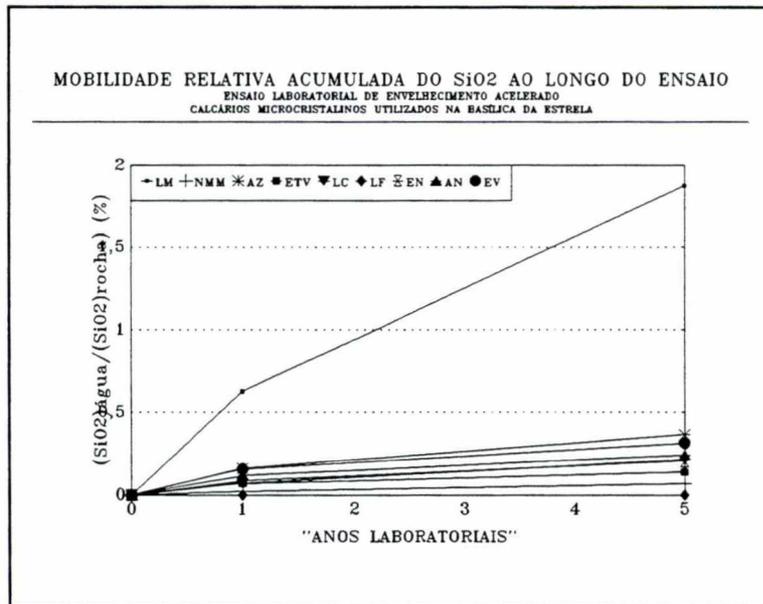


Fig.82 - Mobilidade relativa acumulada (%) do SiO₂, ao longo do ensaio.

Tomando como referência a amostra **NMM**, que é, das amostras com valores não nulos (reactividade não nula) para a mobilidade química do silício, a que apresenta a mais baixa taxa de lixiviação total, a relação anterior pode ter a seguinte redacção:
 27.4**NMM** > 5.3**NMM** > 4.6**NMM** > 3.5**NMM** > 3.1**NMM** > 3.0**NMM** > 2.0**NMM** > **NMM** > 0.0**NMM**.

Com excepção da amostra **LF** (Lioz de Fervença), para a qual a $dqSi^{4+}/dt=0$, temos sempre $dqSi^{4+}/dt > 0$ e decrescente. Quanto à razão $[dqSi^{4+}/dt]_{t=1} / [dqSi^{4+}/dt]_{t=1+}$, registaram-se valores entre 2.0 e 4.0, respectivamente para as amostras (**LM**, **NMM**, **LC**) e (**ETV** e **EV**), sendo a seguinte a relação de ordem decrescente das amostras face aos valores desta relação:

$$ETV = EV(4) > AN(\approx 3.71) > AZ(\approx 3.20) > EN(\approx 3.0) > NMM = LM = LC(=2.0)$$

Continuando a ter como referência a amostra **NMM**, a relação anterior pode ter a seguinte redacção:

$$2NMM = 2NMM > 1.9NMM > 1.6NMM > 1.5NMM > NMM = NMM = NMM$$

Os valores da razão $(MqSi^{4+})_{t=4}/(MqSi^{4+})_{t=1}$, sendo na globalidade ≥ 1 , indicam que a taxa de lixiviação do silício nos últimos quatro "anos" laboratoriais de ensaio ($(MqSi_{4+})_{t=4}$) é, para todas as amostras, igual ou superior à verificada no primeiro "ano" laboratorial ($(MqSi^{4+})_{t=1}$). É, então, possível dispor as amostras por ordem decrescente dos valores registados para essa relação:

$$LM=NMM=LC(\approx 2) > EN(\approx 1.33) > AZ(\approx 1.25) > AN(\approx 1.08) > ETV=EV(=1)$$

Tomando como referência a amostra **EV**, a relação anterior pode ter a seguinte redacção:

$$2EV=2EV=2EV > 1.33EV > 1.25EV > 1.08EV > EV=EV$$

* **O ião sódio** (Na^+). Os valores registados para a mobilidade total do sódio, no conjunto de amostras analisadas, com média e coeficiente de dispersão, respectivamente iguais a 6.185% e 1.343, variam entre 0.0% e 23.3% do seu teor inicial na rocha. Com excepção das amostras (**ETV**, **LC**, **LF** e **EV**) que apresentam uma mobilidade química nula para o sódio, as restantes (**AN**, **AZ**, **EN**, **LM** e **NMM**) podem ser dispostas por ordem decrescente da mobilidade química deste elemento (Fig.83):

$$AN > AZ > EN > LM > NMM$$

Se tomarmos como referência a amostra **NMM**, que apresenta a mais baixa taxa de lixiviação total de Na_2O ao longo do ensaio, a relação anterior pode ter a seguinte redacção:

$$7.0NMM > 4.5NMM > 3.0NMM > 1.2NMM > NMM$$

Para este conjunto de amostras, temos sempre $[dqNa^+/dt] > 0$ e decrescente e um conjunto de valores para a razão $[dqNa^+/dt]_{t=1}/[dqNa^+/dt]_{t=1+}$ entre ≈ 2 e ≈ 10 , que permitem a seguinte seriação:

$$AN(\approx 10) > LM=NMM(\approx 4) > EN(\approx 2.07) > AZ(\approx 2)$$

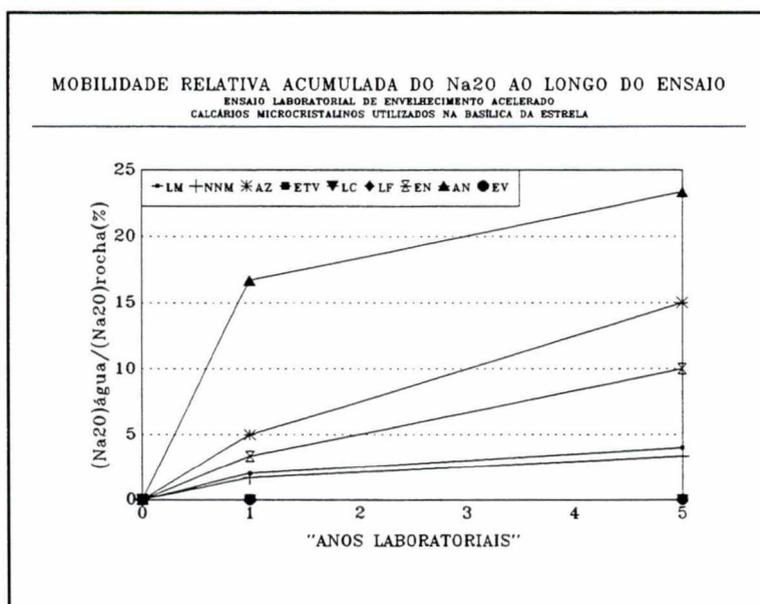


Fig.83 - Mobilidade relativa acumulada (%) do Na₂O, ao longo do ensaio.

Em função dos valores obtidos para a razão $(MqNa^{2+})_{t=4}/(MqNa^{2+})_{t=1}$, foi registrada a seguinte relação de ordem para as várias amostras:

$$AZ(2.0) = EN(2.0) > LM(\approx 1.0) = NMM(\approx 1.0) > AN(\approx 0.4)$$

Se tomarmos como referência o valor da amostra AN, esta relação de ordem pode ter a seguinte redacção:

$$5AN = 5AN > 2.5AN = 2.5AN > AN$$

* **O íão potássio (K⁺).** A mobilidade química do potássio, ao longo do ensaio, é nula para as amostras (ETV, LC, LF e EV). Para as restantes amostras (LM, AZ, EN, AN e NMM), os valores da mobilidade química total registados variam entre 0.345% (Am16) e 20% (Am6), do seu teor inicial nas amostras, com um coeficiente de dispersão igual a 1.881. Estas últimas amostras podem ser dispostas por ordem decrescente do respectivo valor para a mobilidade química deste elemento (Fig.84):

$$LM > AZ > LC > AN > NMM$$

Tomando como referência o valor da amostra NMM, a relação anterior pode ter a seguinte redacção:

$$58.0\text{NMM} > 19.3\text{NMM} > 6.5\text{NMM} > 6.3\text{NMM} > \text{NMM}$$

Para estas amostras (LM, NMM, AZ, EN e AN) temos sempre $[dqK^+/dt] > 0$ e decrescente. Quanto aos valores registados para a razão $[dqK^+/dt]_{t=1} / [dqK^+/dt]_{t=1+}$, estes variam entre 4 e ≈ 6 e permitem definir a seguinte relação de ordem para este conjunto de amostras:

$$\text{AN} (\approx 6) > \text{LM} = \text{NMM} = \text{AZ} = \text{EN}$$

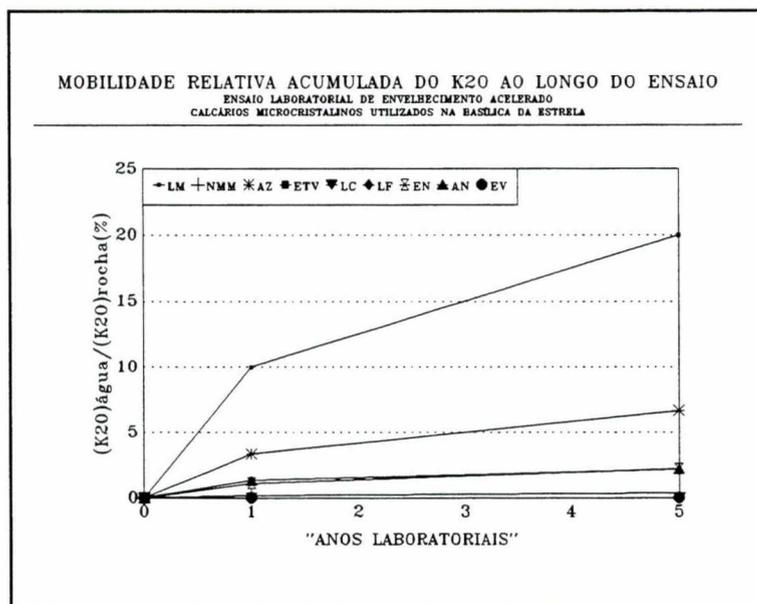


Fig.84 - Mobilidade relativa acumulada (%) do K_2O , ao longo do ensaio.

Para estas amostras, registaram-se apenas dois valores (0.67 e 1) para a razão $(MqK^+)_{t=4} / (MqK^+)_{t=1}$, que possibilitaram a seguinte relação de ordem:

$$\text{LM} = \text{NMM} = \text{AZ} = \text{EN} (=1) > \text{AN} (=0.67)$$

Se tomarmos como referência a amostra AN, a relação anterior pode ter a seguinte redacção: $1.49\text{AN} > \text{AN}$, em que "1.49AN" representa o conjunto das amostras LM, NMM, AZ e EN.

Daqui ressalta que a amostra AN é, de entre as amostras em que se verifica lixiviação mensurável de K^+ , a única em que a reactividade nos últimos quatro "anos laboratoriais" é menor, pouco mais de metade, do que a verificada no primeiro "ano laboratorial".

A partir deste conjunto de resultados é possível avançar as seguintes considerações. Dado que, em termos mineralógicos, as amostras ensaiadas apresentam larga similitude composicional, sobretudo em termos dos componentes não carbonatados (*vide* Quadro III), procuraram-se essencialmente diferenças texturais, químicas e físicas que permitissem avançar algumas explicações para a diferente mobilidade relativa dos elementos químicos constituintes das rochas, verificada ao longo do ensaio.

Tentaram-se, assim, correlações da mobilidade química relativa desses elementos em solução, quer com os respectivos teores iniciais nas rochas, quer com os valores de permeabilidades ao ar das respectivas amostras. Construíram-se os respectivos diagramas de dispersão e calcularam-se também os respectivos coeficientes de correlação linear (*vide* Figs. 85 a 94 e, ainda, o Quadro XVI).

Para o conjunto dos dados disponíveis, os coeficientes de correlação linear (r) entre a mobilidade química de cada elemento e o respectivo teor inicial na rocha, são, globalmente, muito baixos e variam entre $r=-0.3241$ e $r=0.3857$, respectivamente para a sílica (SiO_2) e para o cálcio (CaO). Com excepção do sódio e do cálcio que têm correlações positivas fracas entre a sua mobilidade química e os respectivos teores iniciais nas rochas, as restantes correlações são negativas fracas. Globalmente, a variabilidade verificada na mobilidade química dos elementos estudados ao longo do ensaio, só é explicada até cerca de 15% pela sua relação linear com o teor inicial na rocha.

Os coeficientes de correlação linear, entre a mobilidade química relativa de cada elemento e a permeabilidade ao ar, variam entre $r=-0.584$ e $r=0.180$, respectivamente para o potássio (K_2O) e para o magnésio (MgO).

Com excepção do sódio e do magnésio que têm correlações positivas fracas entre a sua mobilidade química e a permeabilidade ao ar das respectivas rochas, as restantes correlações são negativas. Estas são, globalmente, fracas, com excepção das correlações para a sílica ($r=-0.560$) e para o potássio ($r=-0.584$). Para estes dois elementos, a variabilidade verificada na mobilidade química é explicada em cerca de 31% e 34%, respectivamente, pela variação na permeabilidade ao ar das rochas estudadas.

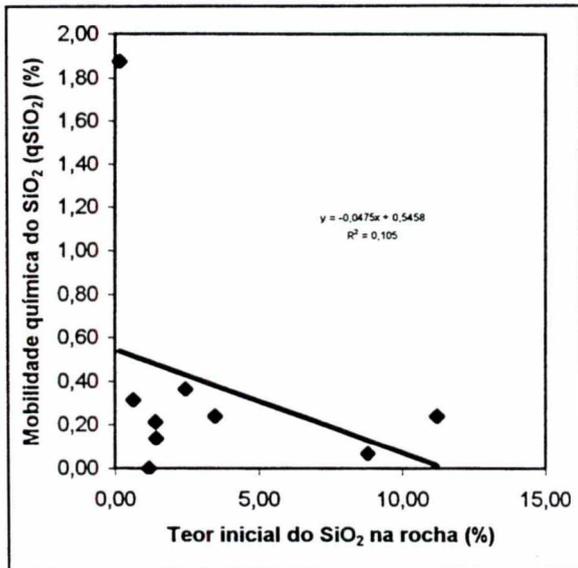


Fig.85 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do SiO₂ (qSiO₂, %) e o teor inicial do SiO₂ na rocha ((SiO₂)_{Rocha}, %).

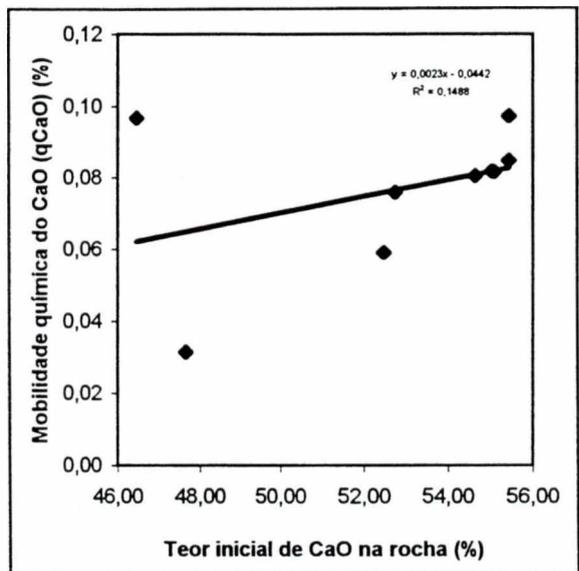


Fig.86 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do CaO (qCaO, %) e o teor inicial do CaO na rocha ((CaO)_{Rocha}, %).

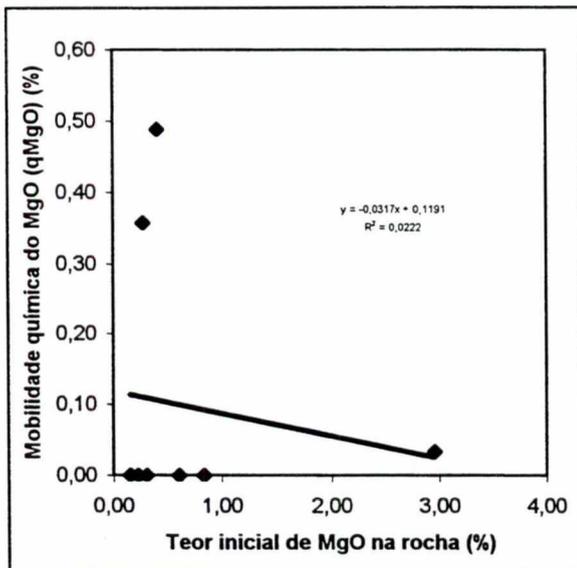


Fig.87 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do MgO (qMgO, %) e o teor inicial do MgO na rocha ((MgO)_{Rocha}, %).

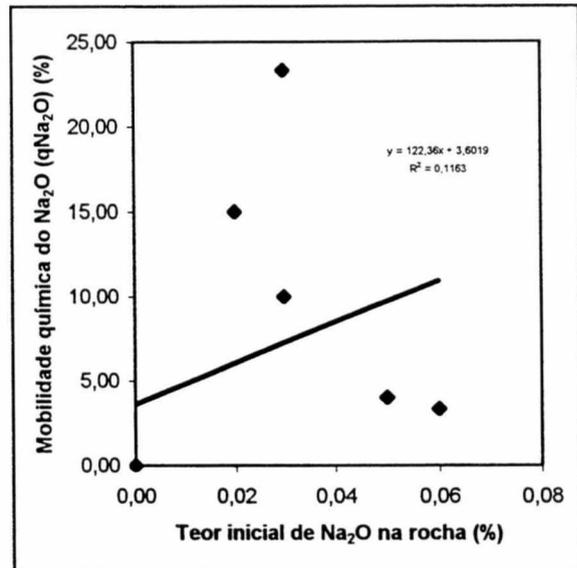


Fig.88 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do Na₂O (qNa₂O, %) e o teor inicial do Na₂O na rocha ((Na₂O)_{Rocha}, %).

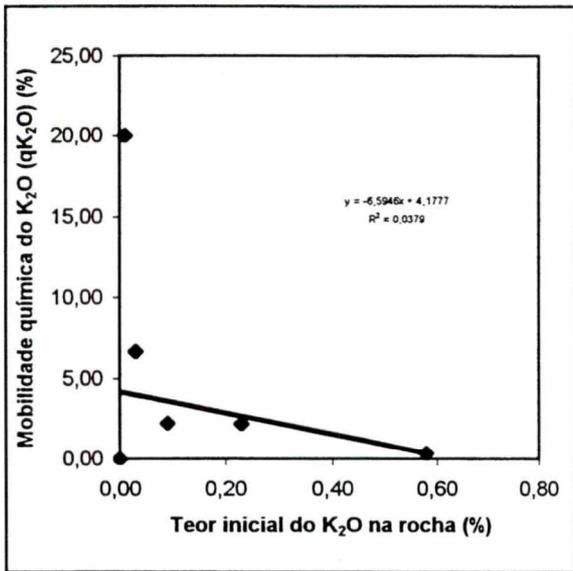


Fig.89 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do K₂O (qK₂O, %) e o teor inicial do K₂O na rocha ((K₂O)_{Rocha}, %).

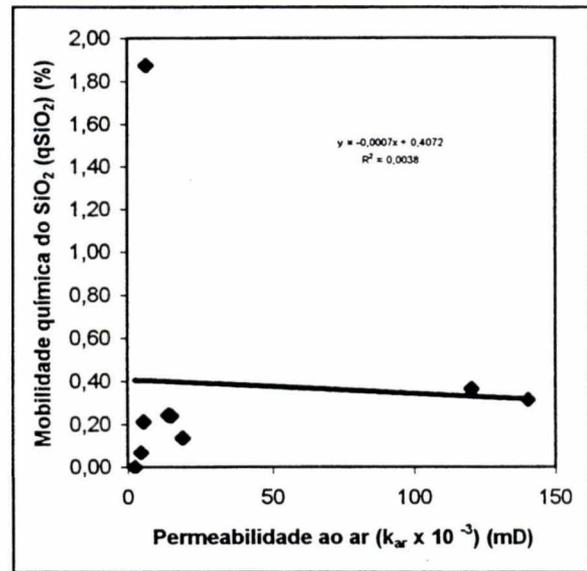


Fig.90 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do SiO₂ (qSiO₂, %) e a permeabilidade ao ar (k_{ar}, mD).

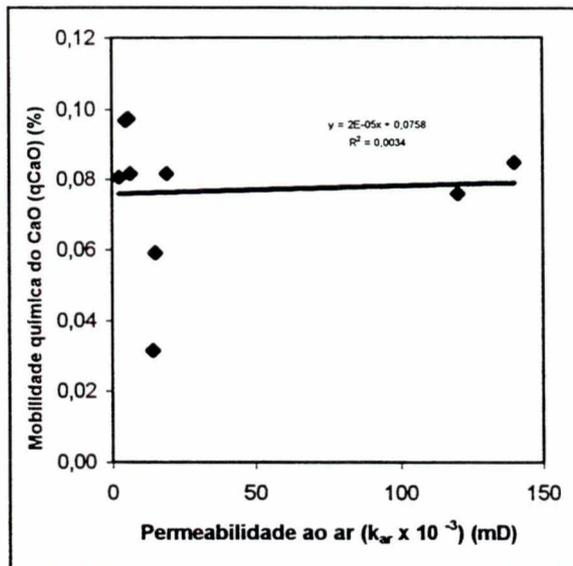


Fig.91 - Diagrama de dispersão: mobilidade química do CaO (qCaO, %) e a permeabilidade ao ar (k_{ar}, mD).

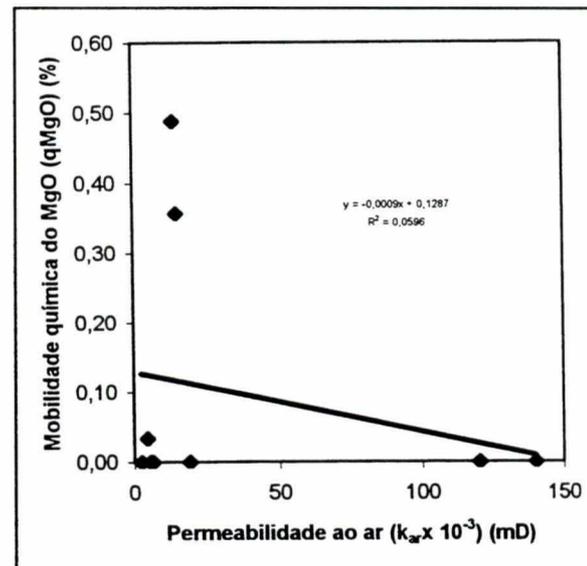


Fig.92 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do MgO (qMgO, %) e a permeabilidade ao ar (k_{ar}, mD).

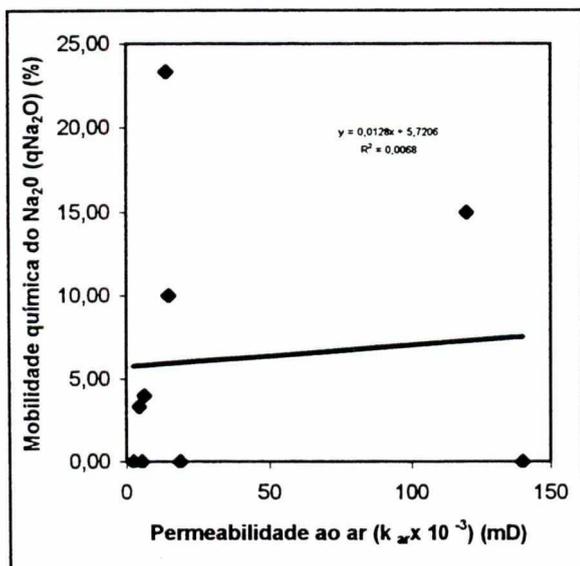


Fig.93 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do Na₂O (qNa₂O, %) e a permeabilidade ao ar (k_{ar}, mD).

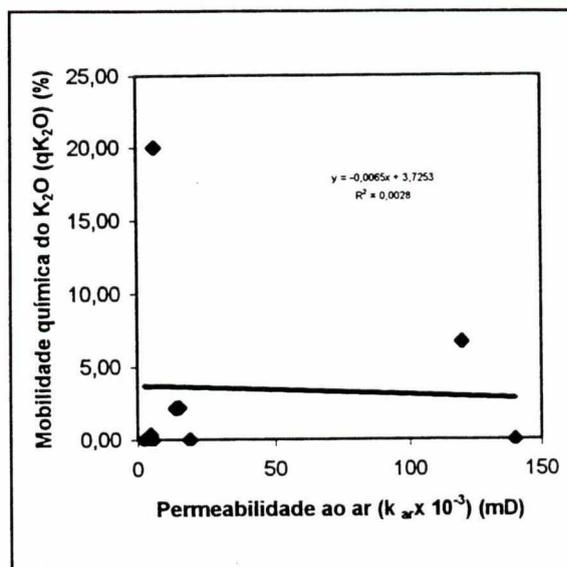


Fig.94 - Diagrama de dispersão: Mobilidade química do K₂O (qK₂O, %) e a permeabilidade ao ar (k_{ar}, mD).

V.8.5 - CÁLCULO E DISCUSSÃO DOS ÍNDICES DE ALTERABILIDADE

Os valores obtidos para o índice de alterabilidade, K , permitem seriar as amostras estudadas de acordo com a sua susceptibilidade à alteração (*vide* Quadro XV):

$$AN > AZ > EN > LF > ETV > NMM > LM > EV > LC$$

Tomando, por exemplo, como referência o valor da amostra **LC**, que é uma das duas amostras que apresentam os mais baixos valores para este índice de alterabilidade, a relação anterior pode ter a seguinte redação:

$$2.55LC > 1.43LC > 1.32LC > 1.23LC > 1.15LC > 1.11LC > 1.05LC > 1.02LC > LC$$

Os valores de K , obtidos para as diferentes amostras ensaiadas, permitem afirmar, de acordo com a seriação anterior, que a amostra **LC** (Lioz da Colhoa) é de todas a mais resistente à alteração. No outro extremo encontra-se a amostra **AN** (Amarelo de Negrais) que é a mais alterável de todas as ensaiadas, apresentando uma alterabilidade cerca de duas vezes e meia (2.5) superior à alterabilidade da amostra mais resistente (Lioz da Colhoa). Deste modo, estes resultados obtidos permitem prever a alterabilidade dos litotipos ensaiados quando utilizados em determinadas aplicações, sob condições de alguma forma comparáveis

às do ensaio aqui realizado, ou então, tentar justificar em obra o diferente comportamento observado para o conjunto de calcários jurássico-cretácicos usados no revestimento interior da Basílica da Estrela, como, aliás, foi sugerido por Aires-Barros et al. (1975) em estudos de índole semelhante.

Todavia, a utilização deste tipo de informação é demasiado contingente na medida em que as conclusões que se podem tirar com base nos valores calculados para este índice dependem, sobretudo, do tempo de duração do ensaio, dado que as amostras não denotam um comportamento homogéneo fase a este tipo de ensaio. É curioso notar que as amostras mais alteráveis numa dada fase do ensaio não são necessariamente as mais alteráveis nas fases seguintes. Por exemplo, a seriação das amostras, em função dos valores calculados para este índice ao fim do primeiro "ano laboratorial", é, em muito, diferente da anterior obtida ao fim dos cinco "anos laboratoriais" de ensaio (*vide* Quadro XV):

AN > AZ > LF > ETV > EN > EV > LC > LM > NMM

Dado que este índice de alterabilidade é essencialmente de natureza geoquímica, sendo calculado com base na perda de peso e da lixiviação química, procuraram-se diferenças de natureza física que pudessem fundamentar os diferentes resultados e comportamentos registados.

Construíu-se assim o diagrama de dispersão dos valores deste índice e da permeabilidade ao ar determinada para o conjunto das rochas estudadas (Fig.95).

O coeficiente de correlação calculado ($r=0.4836$) indica a existência de uma correlação linear positiva fraca entre este índice de alterabilidade e a permeabilidade ao ar das respectivas amostras.

O valor de r^2 igual a 0.2339, permite afirmar que somente cerca de 23% da variabilidade do índice de alterabilidade é explicada pela sua relação linear com a permeabilidade ao ar. Isto é, o conhecimento do índice de alterabilidade pouco beneficia do conhecimento prévio da permeabilidade ao ar das rochas, através da respectiva relação linear.

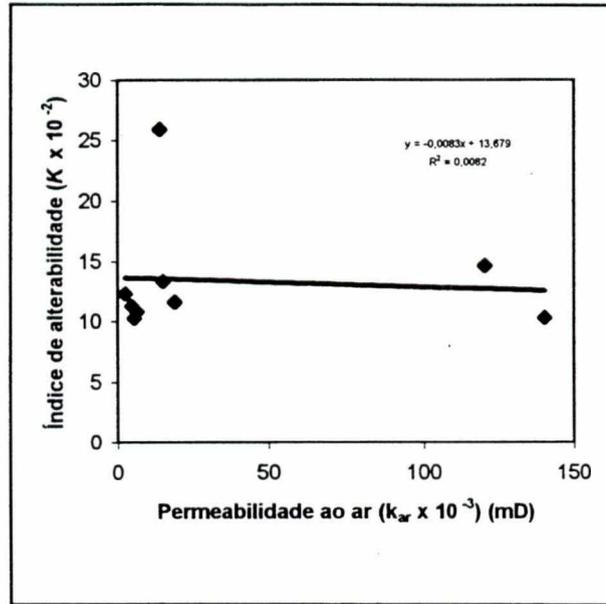


Fig.95 - Diagrama de dispersão: índice de alterabilidade (K) e a permeabilidade ao ar (k_{ar} , mD).

VI - PRINCIPAIS FENÓMENOS DE DECAIMENTO NA BASÍLICA DA ESTRELA

Na Basílica da Estrela é possível identificar, genericamente de acordo com as definições de Aires-Barros (1991), os seguintes principais fenómenos de decaimento:

1) No exterior do monumento:

1.1. Infestação biológica (líquenes, algas, pequenos arbustos e pombos). Sobretudo algas nas colunas e paredes da fachada principal, algas e arbustos nas paredes exteriores laterais viradas a Norte, junto às escadas que dão acesso ao terraço, e que estão viradas para o pátio interior (Fig.96). O terraço encontra-se pejado de líquenes (Fig.97). Os pombos ocupam sobretudo as torres sineiras, tendo sido pontualmente encontrados também no interior da igreja, devido a existência esporádica de alguns vidros partidos no zimbório.

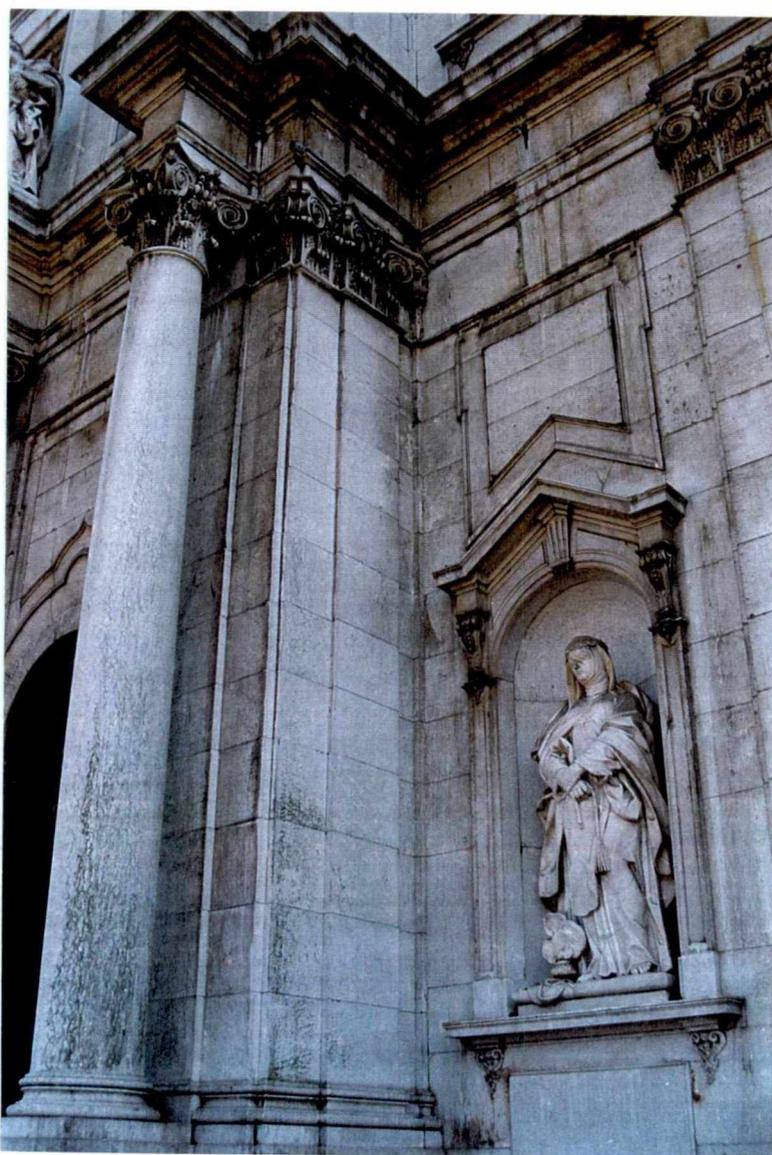


Fig.96 - Pormenor da infestação por algas das superfícies estilolíticas, nas colunas de Lioz da fachada principal.

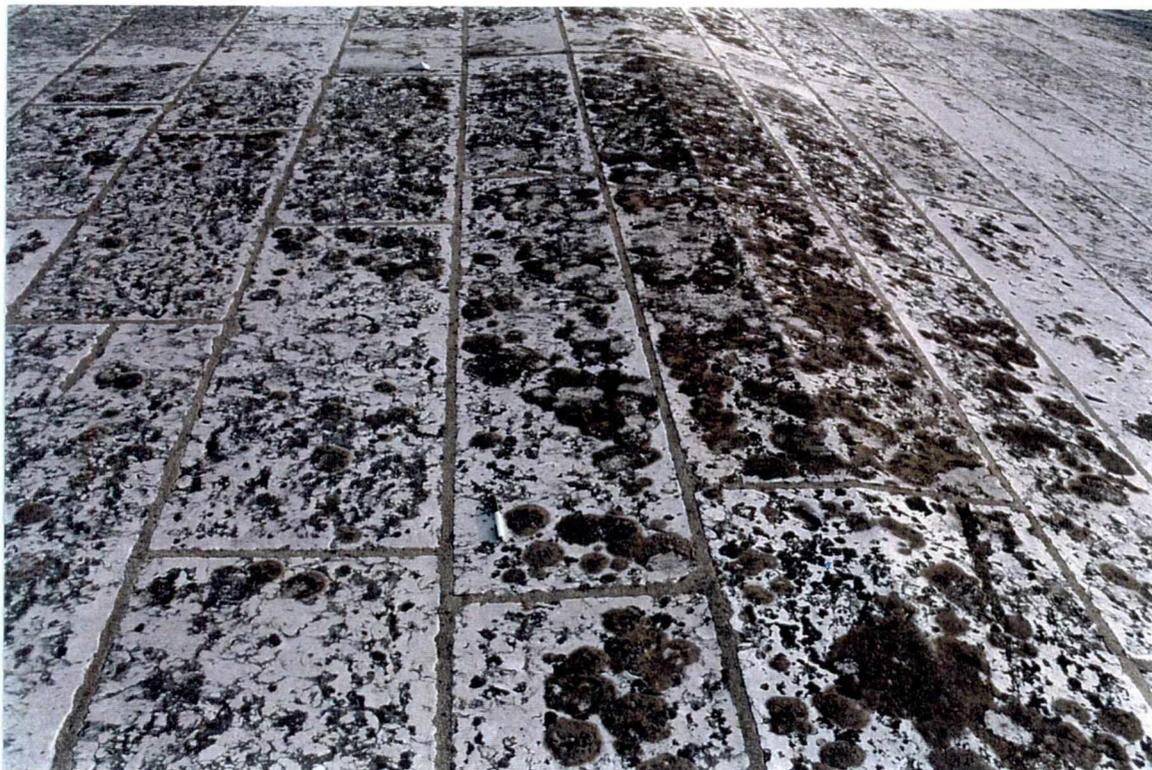


Fig.97 - Pormenor da infestação liquénica do terraço.

1.2. Fissuras, fracturas e lacunas. Vejam-se, por exemplo, os estilolitos abertos nas colunas em Lioz da fachada principal (Fig.96) e, ainda, nas pedras de Lioz dos balaústres do Terraço (Fig.98).



Fig.98 - Fracturas e estilolitos abertos no Lioz da balaustrada do Terraço.

2.3. Sujidades de cor negra acastanhada, em zonas sobretudo da fachada principal e da cúpula do zimbório, suficientemente protegidas da accção das águas pluviais, não havendo todavia transformações físico-químicas relevantes e guardando as superfícies o seu relevo (Figs.96 e 99).



Fig.99 - Pormenor da cúpula do zimbório, onde são visíveis sujidades de cor negra acastanhada, em zonas suficientemente protegidas da accção das águas pluviais.

2) No interior do monumento:

2.1. Fragmentação ou esboroamento - desintegração da pedra em fragmentos mais ou menos coesos, de dimensões superiores às dos grãos de areia (diâmetro médio > 2 mm).

2.2. Pulverização ou enfarinhamento - desintegração da pedra em fragmentos arenosos e pulveriformes de dimensões inferiores a 2 mm.

2.3. Lascagem - separação da rocha em escamas e placas com alguns centímetros de espessura, paralelas à superfície da rocha e devidas, sobretudo, à insolação e a fortes variações de temperatura.

Os fenómenos de desintegração granular (fragmentação, pulverização e lascagem) observam-se sobretudo nos painéis em Amarelo de Negrais, que se distribuem pelo interior da Basílica, e com maior intensidade naqueles que se localizam na nave. Em cada painel, como vimos, estes fenómenos parecem desenvolver-se do exterior para o interior e de baixo para cima, concentrando-se sobretudo nas partes laterais e no topo, partes mais directamente sujeitas a acção das águas de infiltração (vide Figs.100 e 101).



Fig.100 - Aspecto geral do painel em Amarelo de Negrais (estrutura no centro da fotografia). Painel esquerdo junto ao altar de S. Teresa.



Fig.101 - Pormenor do estado de desagregação do painel anterior em Amarelo de Negrais. Segunda placa a contar de baixo.

2.4 Escamação - destacamento de camadas (escamas) com espessura de 1 a 20 mm, paralelas à superfície da pedra e independentes da sua estrutura petrográfica. No que respeita a esta patologia e à lascagem, sublinhe-se as observações feitas na sala de monitorização dos poluentes atmosféricos e que se encontram ilustradas na Fig.102. Era frequente assistir ao seu destacamento, seguido da queda de um pó de cor branca, aqui e ali manchado de tons laranjas.



Fig.102 - Pormenor de uma das paredes da sala de monitorização dos poluentes atmosféricos (Coro alto). É visível o "destacamento" de pequenas lascas (escamas) do calcário de revestimento.

2.5 Incrustações - formação de depósitos superficiais gerados sobre a rocha e resultantes, no caso da Basílica da Estrela, da acumulação de materiais estranhos à rocha (concreções e pátinas).

2.5.1) Concreções - depósitos compactos pouco desenvolvidos, gerados por aposição e crescimento a partir da superfície, sem ligação genética evidente com o substrato. Estas são muito comuns no chão da igreja, quer no transepto, quer na nave, e, ainda, no coro alto, junto à estação de monitorização dos poluentes atmosféricos (Fig.103). À lupa, o material destes depósitos parece ser composto por pequenos grãos aglomerados por um material branco mais macio. A análise mineralógica por DRX e IV permitiu verificar que estes depósitos são sobretudo de calcite associada a um silicato, todavia não identificado, e, ainda, de compostos hidratados, provavelmente produtos resultantes da alteração do silicato (Quadro XVII).



Fig.103 - Concreções no chão do coro alto. São também comuns no chão da igreja (transepto e nave). Resultado, sobretudo, da lixiviação das juntas pelas águas de infiltração.

DEPÓSITO DE ESCORÊNCIA		
TIPO DE AMOSTRA	MINERALOGIA	
Amostra Global	Calcite	Silicato
Grãos Baços	Calcite	Silicato
Material Branco	Calcite (XXX)	Silicato

Legenda: XXX - Muito abundante.

Quadro XVII - Resultados da análise mineralógica por DRX e IV dos depósitos de escorrências (LAMPIS)

2.5.2) Pátina - aspecto da pedra após envelhecimento natural. Verifica-se, um pouco por todo lado, pelo envelhecimento natural das pedras na sua interacção com o ambiente circundante.

2.6. Cristalização de sais (eflorescências) - cristalização à superfície da pedra de sais solúveis carreados por migração por capilaridade e depositados por evaporação, com formação de agregados cristalinos de fraca coesão, granulares, filamentosos e pulveriformes. No caso da Basílica, as eflorescências encontradas, sendo quase exclusivamente calcíticas, ter-se-ão formado muito provavelmente a partir de lixiviações promovidas pela água da chuva que penetram a partir da terraço, atravessam a cúpula e percolam pelas juntas e descontinuidades estruturais, depositando os sais sobre as superfícies das pedras de revestimento do seu interior. São notáveis as estalactites nas abóbadas do transepto norte e do coro junto à estação de monitorização e as "manchas" brancas de calcite reprecipitada no centro dos painéis e um pouco por toda a igreja, mas sobretudo no Amarelo de Negrais, no Encarnadão e no Lioz, onde se distingue bem do tom mais escuro que lhe é emprestado pelas "sujidades" (Figs.104 e 105).

2.7. Sujidades acinzentadas ou ligeiramente acastanhadas - produtos da deposição seca, como resultado dos fenómenos de condensação em zonas em que há protecção suficiente da acção das águas pluviais, não havendo transformações físico-químicas relevantes, guardando as superfícies o seu relevo (vê-se um pouco por toda a igreja).

2.8. Manchas - manchas de cor negra acastanhada, devido a escorrência de um material de natureza betuminosa, a partir das juntas das unidades estruturais interiores da Basílica da Estrela (Fig.106). Observam-se quer nas paredes, quer mesmo na abóbada do zimbório. São também frequentes manchas associadas a diferentes teores de humidade das paredes, nomeadamente na galilé (Fig.107).



Fig.104 - Aspecto geral da parede do lado direito do altar de S. José. Notar as largas manchas esbranquiçadas de calcite reprecipitada sobre o Lioz e o Amarelo de Negrais.

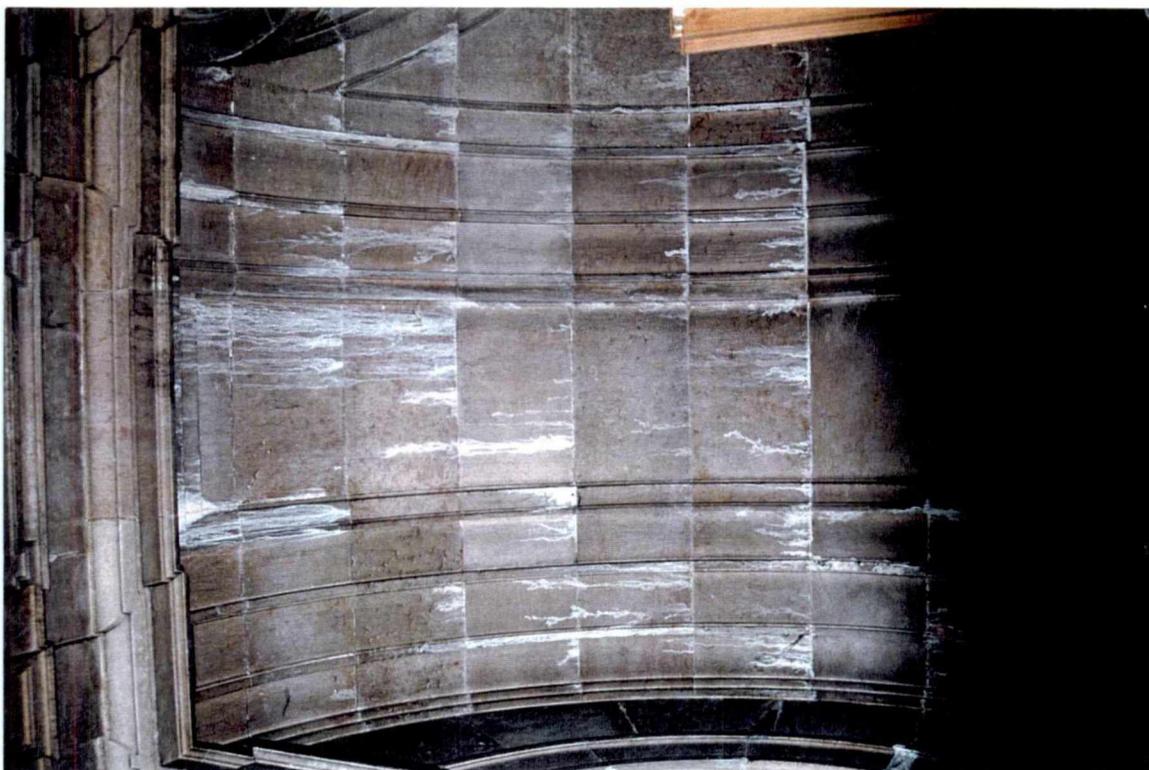


Fig.105 - Pormenor das inúmeras eflorescências na abóbada do coro alto (i.e., junto ao Orgão).

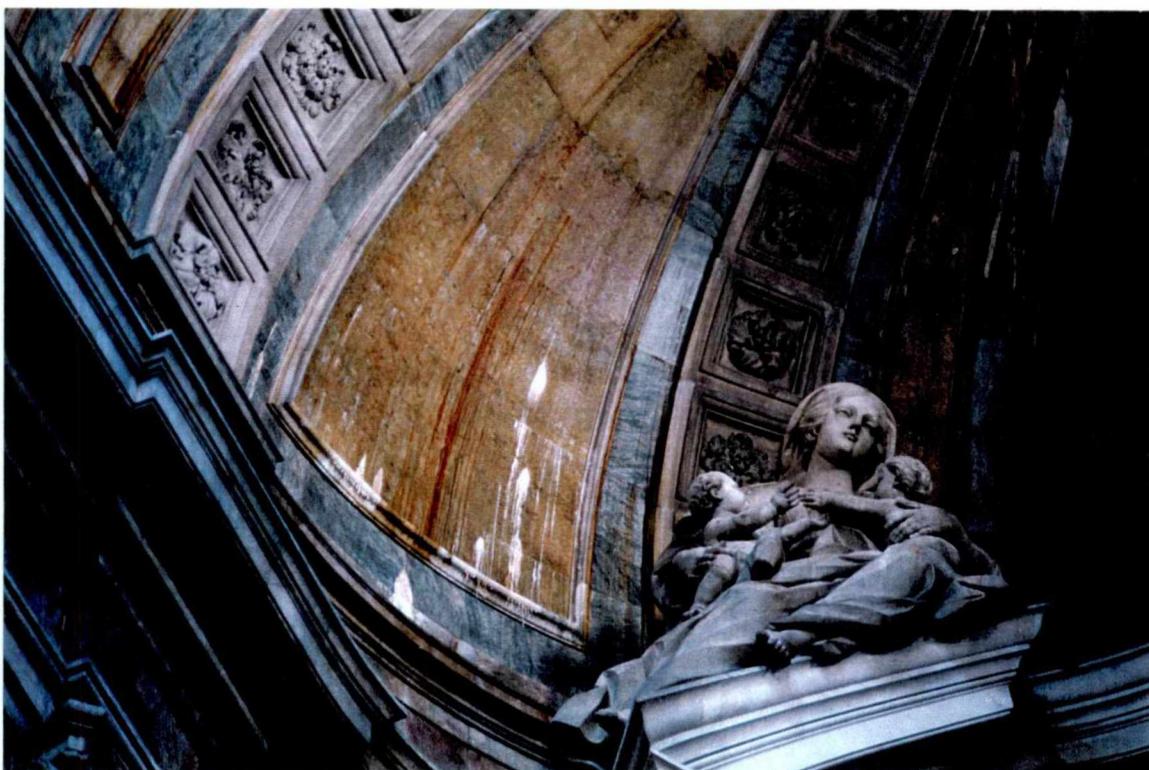


Fig.106 - Pormenor da abóbada do zimbório, onde são visíveis as manchas de cor negra acastanhada e, ainda, algumas estalactites (eflorescências).



Fig.107 - Pormenor de uma das paredes da galilé, onde são visíveis manchas associadas a diferentes teores de humidade das paredes.

VII - MINEROQUÍMICA DOS PRODUTOS DE ALTERAÇÃO DOS PAINÉIS EM AMARELO DE NEGRAIS DA BASÍLICA DA ESTRELA

VII.1 - INTRODUÇÃO

Apresenta-se, aqui, o estudo mineroquímico dos produtos de alteração de cinco painéis interiores da Basílica da Estrela que constituem estruturas arquiteturais que delimitam cinco grandes áreas, quer localizadas no transepto junto ao altar do SS.^{mo} Sacramento e em frente ao túmulo de D. Maria I, quer localizadas na nave junto aos altares de S. José e S. Teresa (*vide* Fig.1).

Os painéis são em Amarelo de Negrais, variedade, como vimos, colorida, microcristalina dos calcários de rudistas, cretácicos, da região de Lisboa. A implantação dos pontos de amostragem dos produtos de alteração sobre estes painéis, visando o aproveitamento da sua bidimensionalidade, obedeceu à divisão das respectivas áreas de cerca de 4-5 m² em quatro situadas respectivamente a 0 (base do painel a cerca de 2 m do chão) , 1, 2 e 3 metros de altura (Fig.108).

A amostragem foi feita em três campanhas e sobre uma grelha de doze pontos previamente definida para os níveis de amostragem dos parâmetros termohigrométricos (temperatura, humidade relativa, etc.).

VII.2 - RESULTADOS

O material particulado resultante dos processos de desagregação dos diferentes painéis em Amarelo de Negrais não é macroscopicamente muito diferente de painel para painel. É um material essencialmente heterométrico (desde lascas a material pulveriforme), de cor branca ou amarela, por vezes levemente manchada de tons róseos ou de negro. Frequentemente as partículas de maior dimensão encontram-se envolvidas por material pulveriforme macroscopicamente semelhante. São ainda visíveis algumas escamas de um material brando, de cor branca e brilho gorduroso. Material friável em que se destacam facilmente várias lâminas, quer simplesmente com a unha, quer com a ajuda de um estilete.



Fig.108 - Pormenor de um dos alçados interiores da Basílica, onde se pode ver a implantação da malha de amostragem sobre os "painéis" (Escala: 1/129).

Quando observado à lupa, verifica-se que este material consiste, por vezes, em pequenos cristais baços e de cor branca ou amarela; outras vezes são cristais transparentes e de brilho vítreo. Aparecendo muitas vezes como cristais isolados ou formando pequenos agregados, podem também surgir incrustados numa matriz compacta, de granularidade muito fina e de cor amarela, manchada, por vezes, de tons claros. Também é frequente encontrar-se um pó residual de tons amarelo-alaranjados.

A priori, a principal diferença entre as amostras coligidas nos diferentes pontos de amostragem parecia residir fundamentalmente na sua quantidade, que era obviamente função da respectiva intensidade de desagregação local. O material de alteração foi, então, submetido a análises mineralógicas por técnicas de difracção de raios X (DRX), e espectrometria de absorção de raios infravermelhos (IV). Efectuaram-se, ainda, análises químicas de duas amostras globais coligidas em dois painéis da nave da igreja, nomeadamente nos painéis direito e esquerdo localizados junto ao altar de S. Teresa.

Nos Quadros XVIII e XIX apresentam-se, respectivamente, os resultados das análises mineralógica e química deste material.

MINERALOGIA	LOCALIZAÇÃO DOS PAINÉIS									
	SS. ^{mo} Sacramento		D. Maria I		S. José		S. Teresa			
	Painel esquerdo		Painel esquerdo		Painel direito		Painel direito		Painel esquerdo	
	(min)	(max)	(min)	(max)	(min)	(max)	(min)	(max)	(min)	(max)
Calcite	+	■	v	■	+	■	+	■	●	■
Dolomite	v	+	-	-	v	●	v	+	v	■
Quartzo	+	●	v	■	+	●	v	●	v	■
Ilite/Haloisite	v	+	-	-	+	-	+	-	+	●
Silicato	-	-	v	+	v	●	v	+	v	●
Maghemite	-	-	-	-	v	●	-	-	-	-
Hematite/Goetite	v	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trona	-	-	-	-	-	-	-	-	+	■
Thenardite	-	-	-	-	-	-	-	-	v	■
Cera	v	+	v	●	v	■	v	■	v	■

Legenda: - - Não detectado; V - Vestigial; + - Presente; ● - Abundante; ■ - Muito abundante.

Quadro XVIII - Análise mineralógica dos produtos de alteração (valores em função dos pontos de amostragem)

ÓXIDOS	LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	
	PAINEL DIREITO	PAINEL ESQUERDO
SiO ₂	15.51	31.25
Al ₂ O ₃	3.72	7.31
Fe ₂ O ₃	1.82	1.69
MgO	6.24	7.27
CaO	31.07	28.38
Na ₂ O	0.87	3.55
K ₂ O	1.02	1.75
TiO ₂	0.32	0.30
MnO	0.03	0.02
P ₂ O ₅	0.00	0.00
Perda ao rubro	38.60	n.d.
TOTAL	99.20	-

Legenda: n.d. – Não determinada a perda ao rubro, por falta de material.

Quadro XIX - Análise química (%) de amostras globais coligidas nos painéis direito e esquerdo localizados junto ao altar de S. Teresa

VII.3 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise mineralógica obtida por DRX e IV dos produtos de alteração, mostra que estes são, na sua maioria, constituídos pelos mesmos minerais da rocha sã coligida em pedreiras (*vide* Quadros III e XVIII).

É de salientar, todavia, a presença de pequenas escamas brancas de brilho gorduroso em todas as amostras coligidas no interior da Basílica. Estas escamas, identificadas como cera, têm comportamento esponjoso e constituem, em muitos casos, uma camada totalmente solidária à rocha que contamina praticamente todo o material amostrado. Caracterizam-se por não se dissolverem em tolueno e manterem a sua estrutura mesmo depois de sujeitas a diversas etapas de aquecimento (de 60°C a 150°C) (Pereira, 1993).

A cera distribui-se, nos diferentes painéis, de maneira distinta:

* No painel, junto ao altar do SS.^{mo} Sacramento, está quantitativamente mal representada nos níveis de amostragem um, dois e três metros, concentrando-se sobretudo no material desagregado do nível de amostragem a zero metros. Nos restantes níveis de amostragem a sua presença é meramente vestigial. De todos os painéis estudados, o painel, junto ao altar do SS.^{mo} Sacramento, é aquele que apresenta menor quantidade deste composto.

* No painel, situado em frente ao túmulo de D. Maria I, com excepção de alguns pontos situados a cotas elevadas (3 e 4 metros), a presença quantitativa e espacial deste material é praticamente uniforme nos vários níveis de amostragem do painel.

* No painel, situado do lado direito do altar de S. José, a cera detectada em todos os níveis de amostragem apresenta, relativamente aos painéis anteriores, valores quantitativos superiores e uniformemente distribuídos. As quantidades elevadas deste material aparecem alojadas nas inúmeras cavidades existentes no painel, onde formam uma camada solidária com o material rochoso desagregado.

* De todos os painéis estudados, o direito e o esquerdo localizados junto ao altar de S. Teresa apresentam, globalmente, maior quantidade de escamas brancas. Aqui, a cera concentra-se sobretudo nos níveis mais baixos, notando-se, em geral, um decréscimo quando se evolui no sentido ascendente, isto é, para pontos de amostragem de maior cota.

O aparecimento da cera nestes painéis poderá estar associado a campanhas de limpeza e/ou protecção, o que já constituía prática comum nos séculos passados. Atendendo à forma heterogénea como a cera se encontra distribuída e ao mau estado de conservação dos painéis, pode concluir-se que a sua aplicação não terá sido realizada do modo mais correcto e que os objectivos da sua colocação não foram plenamente conseguidos.

No que respeita à natureza dos produtos de alteração presentes e dominantes, acresce, ainda, observar que os resultados do estudo mineralógico efectuado por difracção de raios X e espectrometria de absorção de raios infravermelhos são corroborados pelos dados das análises químicas de duas amostras globais coligidas em dois painéis localizados na nave da igreja, nomeadamente nos painéis direito e esquerdo localizados junto ao altar de S. Teresa.

Verifica-se, por exemplo, que a ocorrência localizada de trona ($\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e thenardite (Na_2SO_4) no painel esquerdo situado junto ao altar de S. Teresa é acompanhada de um enriquecimento em Na igual a cerca de 4 vezes o teor do painel direito (*vide* Quadro XIX).

Podemos, numa perspectiva global, dizer, todavia, que as análises químicas, tal como as mineralógicas, reforçam a ideia de predomínio claro dos processos de natureza física (fragmentação, pulverização e lascagem) e de quase ausência de fenómenos de alteração química, aqui materializada pela ocorrência localizada dos sais supracitados. A maioria das

eflorescências encontradas corresponde, pois, exclusivamente à calcite reprecipitada. Pode então afirmar-se que do ponto de vista da tipologia das patologias não há significativa diferença entre os painéis estudados.

Os produtos de alteração referenciados encontram-se intimamente associados aos problemas de infiltração generalizada de águas pluviais de que padece a Basílica da Estrela. Todavia, a explicação para a origem localizada da trona e da thenardite no painel esquerdo situado junto ao altar de S. Teresa, carece de uma análise mais pormenorizada dos tipos de intervenções a que o monumento tenha sido sujeito, dos níveis de poluição e, ainda, das variáveis termohigrométricas caracterizadoras do microclima envolvente.

A área afectada por estes sais é muito pequena face à dimensão da igreja, pelo que o decaimento produzido é insignificante.

O local em que os sais precipitam depende do fornecimento de solução salina e da ocorrência de fenómenos de evaporação. A temperatura, a humidade relativa e a forma da solução são os factores mais importantes que controlam a cristalização (Arnold & Zehnder, 1989).

No caso da Basílica da Estrela, a análise dos parâmetros termohigrométricos (temperatura, humidade relativa, etc) leva-nos a admitir condições termohigrométricas idênticas para a precipitação destes sais em toda a igreja, em virtude de se não ter delimitado, à escala dos painéis, diferenças microclimáticas entre a Nave e o Transepto (vide Capítulo nono). Não estão, deste modo, encontradas justificações termohigrométricas para a ocorrência localizada destes sais. Resta-nos a análise do "fornecimento da solução salina".

Os sais acumulados nas paredes dos monumentos podem derivar de iões lixiviados das suas pedras e argamassas, dos solos, de materiais usados em trabalhos de preservação e restauração, da atmosfera poluída, do metabolismo dos organismos e, ainda, de outras fontes desconhecidas (Arnold & Zehnder, 1989; Aires-Barros et al., 1995 e 1997). A presença do Na, elemento que foi detectado nas análises químicas efectuadas ao calcário que constitui os dois painéis do altar de S. Teresa, poderá ser explicada pela aplicação de soluções alcalinas de Na e K como produtos de limpeza.

Na verdade, e em conformidade com consultas feitas aos arquivos da Direcção Regional de Monumentos de Lisboa, sabe-se que foram realizados, entre 1986 e 1987, "Trabalhos de consolidação e de conservação", no interior da Basílica da Estrela de que se destacam (vide Capítulo oitavo):

* "Protecção com material impermeável fixado de forma estanque de todos os quadros a óleo do altar mor, galerias laterais, transepto e corpo da igreja e seu levantamento e reposição";

* "Limpeza, lavagem e escovagem de todas as cantarias do interior da igreja (Capela mor, Transepto e Nave), seu polimento quando necessário, incluindo grupos escultóricos, faixas, relevos, cimalthas, altos relevos, etc".

A utilização de produtos de limpeza e impermeabilização e, possivelmente, a não uniformidade na sua aplicação poderão explicar a abundância localizada de Na, na amostra coligida no painel esquerdo junto ao altar de S. Teresa.

O sulfato (SO_4^{-2}) pode ter origem nas águas de infiltração que percolam por todos os painéis. Todas as águas presentes nas paredes são soluções salinas mais ou menos diluídas (Arnold & Zehnder, 1989). Os sulfatos podem resultar da reacção de sais de sódio com o ácido sulfúrico presente na água e este, por sua vez, pode ter derivado da poluição atmosférica (Arnold & Zehnder, 1989).

A atmosfera poluída é uma fonte importante de iões salinos, de qualquer modo não deve ser necessariamente considerada como a principal fonte no estudo de interiores de monumentos. Isto é, o efeito da poluição pode, por vezes, ser negligenciado em estudos de interiores de monumentos (Arnold & Zehnder, 1989). Os sais alcalinos podem ser introduzidos por trabalhos de restauro.

O estudo acabado de efectuar permitiu a avaliação correcta dos tipos de patologias presentes. Os problemas estruturais do monumento são apontados como responsáveis pelas infiltrações pluviais e estas como sendo o principal factor diferenciador do comportamento dos diversos painéis de Amarelo de Negrais localizados em pontos distintos da Basílica. Quanto maior for a dimensão deste problema para uma dada estrutura arquitectural particular, maiores serão as infiltrações pluviais e mais intensas serão as lixiviações dos elementos químicos das rochas, das argamassas e, ainda, de todos os outros materiais que tenham sido utilizados na sua concepção.

VIII - ALGUMAS INTERVENÇÕES NA BASÍLICA NO PERÍODO DE 1979-1987

Seguem-se breves apontamentos sobre o levantamento histórico de alguns trabalhos ditos de Consolidação e de Conservação que terão sido levados a cabo na Basílica da Estrela, no período de 1979-1987, e que constam dos arquivos da Direcção Regional de Monumentos de Lisboa.

Presumivelmente, os trabalhos terão sido realizados pela empresa CONSTRUÇÕES ANSELMO COSTA, com sede, no ano de 1987, na Av. Roma, 35-1º F, Lisboa.

VIII.1 - TRABALHOS REALIZADOS EM 1979

- 1) Na nave: "tomagem" de juntas que se encontrem abertas no lajedo e cimalkhas do terraço da nave da igreja, com um produto plástico especial tipo "Palesit" aplicado sob pressão depois das juntas terem sido bem limpas, sendo superiormente "tomadas" com uma argamassa de cimento branco e "Melitol ao traço 1:4".
- 2) Colocação de tacos de cantaria no zimbório, fixação de pedras partidas, isolamento de gatos de ferro. Fecho das juntas das cantarias com um produto plástico especial tipo "Palesit" aplicado sob pressão depois destas terem sido bem limpas, sendo superiormente "tomadas" com uma argamassa de cimento branco ao traço 1:4.
- 3) No zimbório e caixilhos: pintura a tinta de óleo em madeiras, execução de trabalhos preparatórios e dar uma última demão de tinta a meio esmalte. Retirar massas dos vidros e pôr massas novas.
- 4) Substituição de vidros partidos ou que se venham a partir e colocar vidraça nacional de 3 mm.
- 5) Na sacristia e na sala anexa à tribuna da rainha: limpeza do telhado tipo "Campos", substituindo as telhas partidas.
- 6) Na tribuna da rainha: fornecimento e assentamento de calhas e algerozes de zinco nº12 devidamente pintados, arrancando as existentes. Abertura e fecho de roços para meter "pestana" na parede.

- 7) Armar e desarmar andaimes com cerca de 15 m de alto e cerca de 5 m de largo para a pintura dos caixilhos do zimbório e fecho das juntas das cantarias partindo do terraço da igreja.
- 8) Armar e desarmar andaime tubular com três pisos devidamente travado no varandim do zimbório para pintura dos caixilhos, pôr massas e vidros e "tomar" juntas das cantarias, incluindo "inçar" o mesmo e seu transporte.
- 9) Armar andaimes para conserto dos telhados da sacristia e sala anexa à tribuna da rainha.

VIII.2 - TRABALHOS NA CAPELA DE N.^A SR.^A DO CARMO, REALIZADOS EM 1979, COM INÍCIO EM 5 SETEMBRO

- 1) Armar e desarmar andaimes.
- 2) Rebocar todas as paredes até à altura da cornija, fazendo protecção do altar bem como das imagens e dos quadros expostos nas paredes.
- 3) Passar à máquina o pavimento com duas lixas, betumar e encerar.

VIII.3 - TRABALHOS REALIZADOS EM 1981

- 1) "Tomagem" de juntas do lajedo e cimalthas do terraço, das lajes do terraço na zona dos altares e altar-mor, a fim de se evitar a entrada das águas pluviais no interior da Basílica.
- 2) Fornecimento e montagem de diversos suportes em latão para pára-raios e soldaduras a prata do cabo de cobre, por operário especializado.
- 3) Substituição de caixilhos circulares curvos em casquinha com 0,06 m de espessura no lanternim central.
- 4) Encabeçar em caixilhos no lanternim central.
- 5) Fornecimento e assentamento de forro de pinho tratado e ripa numa zona do telhado da tribuna da rainha.
- 6) Retirar caixilhos de madeira com rede com 0,80 m x 1,70 m do lanternim do zimbório, pintar e assentar de novo.

- 7) Pintura a tinta de óleo em caixilhos e portas, incluindo queimar a tinta velha nos guarda-ventos da galilé, nas portas do terraço e na portas da sacristia.
- 8) Pinturas nos portões de ferro da fachada principal, guardas e quartos do zimbório e do lanternim, com tinta à base de plumbagino, nas demãos necessárias, levando aparelho, o zarcão, depois da tinta ter sido raspada e passada à lixa.
- 9) Limpeza das portas de madeira exótica da galilé, passar à lixa e aplicar um produto do tipo "Bondex".
- 10) Pintura e conserto dos "cabecetes" dos sinos, incluindo pintura das ferragens.
- 11) Demolir e fazer de novo um pano de tijolo que entaipa uma porta de uma torrinha do terraço que está a cair.
- 12) No altar-mor e nos altares laterais: "tomagem" de juntas que se encontram abertas no lajedo e cimalthas do terraço do altar-mor e altares laterais, com um produto tipo "Barra 57 (produto plástico especial)" e enchimento com argamassa de cimento e areia e adiconamento do mesmo produto nas quantidades especificadas, incluindo a abertura das juntas e transporte dos entulhos.

VIII.4 - TRABALHOS REALIZADOS EM JUNHO DE 1982

- 1) Fornecimento e assentamento de dois vidros com 4 mm em substituição dos que estão partidos na clarabóia, com as dimensões de 0,70 m x 0,30 m.
- 2) Reparação do laroç, em chapa de zinco, levando soldaduras e substituição da chapa em mau estado.
- 3) Reparação de uma saída de água no telhado, levando uma aba nova, em chapa de zinco.
- 4) Fornecimento e assentamento de telhas do tipo "Lusa", em substituição das que estão partidas nas coberturas da igreja, incluindo a remoção dos entulhos para o vazadouro.

VIII.5 - TRABALHOS DE CONSERVAÇÃO REALIZADO EM 1984 (ENTRE 13 DE JULHO E 31 DE DEZEMBRO)

- 1) Fornecimento e assentamento de algeroz em falta, incluindo reparação e consolidação dos restantes e andaimes para a execução dos trabalhos.
- 2) Demolição da placa de cobertura existente no saguão, incluindo os sanitários existentes e remoção dos entulhos para o vazadouro.
- 3) Pintura de paredes na zona do saguão, com tinta de água na cor existente, incluindo reparação de rebocos.
- 4) Substituição dos vidros nas portas e janelões do saguão.
- 5) Limpeza e pintura de paredes na sala da portaria.
- 6) Retirar guarda-vento existente na porta que dá para o exterior.
- 7) Pinturas a tinta de óleo nas portas, incluindo reparação e afinação.
- 8) Entaipar vão da porta com alvenaria de tijolo "a meia luz", incluindo reboco.
- 9) Transformação do vão de janela em porta, na dependência junto da sala da portaria incluindo fornecimento de porta.
- 10) Reparação e limpeza do pavimento da sala da portaria.
- 11) Mudança do PBX, incluindo abertura e tapamento de roços.

VIII.6 - TRABALHOS REALIZADOS NO PERÍODO DE 1986-1987

A data limite de execução dos primeiros trabalhos era 31/12/86, tendo sido prorrogada até 31 Maio de 1987.

Os trabalhos realizados intitulavam-se "Trabalhos de consolidação e de conservação (10% dos quais foram realizados no interior) - Trabalhos complementares" e diziam essencialmente respeito ao seguinte:

- 1) Colocação de ferragens nos sinos das duas torres da Basílica, incluindo travessas, tirantes, alças e cajados, badaleiras e asas;
- 2) Colocação de madeiras novas nos cabeçotes dos sinos, incluindo a respectiva pintura;
- 3) Montagem e desmontagem de andaimes para escoramento dos sinos durante os trabalhos.

VIII.6.1 - MATERIAIS UTILIZADOS

- * Sacos de cimento
- * Tijolo 30 x 20 x 7
- * Melitol
- * Palesite OBO da Sital
- * Barra líquida extra rápida
- * Resina epoxi especial
- * Tinta de esmalte e s/ capa
- * Forro
- * Vigas de madeiras, quina viva
- * Tintas de água
- * Telha Lusa
- * Telhões tipo Lusa
- * Tubo plástico U060 mm
- * Tubo plástico U080 mm
- * Madeira exótica

VIII.6.2 - TRABALHOS EXTERIORES

- 1) Montagem e desmontagem de andaimes e seu transporte de e para o armazem, na fachada sul, torre sineira sul, fachada principal, torre sineira norte, fachada do convento, saguão, corpo da igreja acima dos telhados e zimbório.
- 2) Picagem do reboco até ao osso, incluindo lavagem e remoção de entulho, na fachada sul, fachada do convento, saguão comprido, saguão pequeno e corpo da igreja acima dos telhados.
- 3) Encasque e reboco de cimento e areia ao traço 1:4, com aditivo impermeabilizante, com acabamento final a areado fino, pronto a apintar.

- 4) Reparação de cimalkhas executada com massa, incluindo demolição e reconstituição dos troços aluídos ou fendidos, com acabamento final a areado fino, pronto a pintar, na fachada lateral sul e fachada do convento.
- 5) "Refechamento" de juntas ou fendas das cantarias à base de injecções com resinas epoxi, onde necessário:
 - * no terraço e cúpula do lanternim do zimbório;
 - * nas fixações dos fogaréus da cúpula do lanternim;
 - * idem, nos óculos da cúpula;
 - * nas juntas de fixação da esfera, cruz e pára-raios do zimbório, incluindo revisões das ancoragens;
 - * nos fogaréus das torres sineiras;
 - * nas fixações das esferas e cruces das torres sineiras.
- 6) Revisão das juntas do terraço da igreja e dos janelões do zimbório e torres sineiras, incluindo remoção das que se encontram soltas, sua limpeza e preenchimento com argamassa não expansiva, de produto a aprovar pela fiscalização, no terraço, janelões e torres sineiras.
- 7) Revisão das juntas de cantaria, incluindo remoção do material solto, sua limpeza e preenchimento com argamassa de cimento ao traço 1:1 em fachadas, balaústres, adro, cimalkhas, frisos, etc, em exterior incluindo galilé, na fachada lateral sul, torres sineiras, alçado principal, fachada lateral norte, fachada poente, zona conventual, galilé e adro.
- 8) Limpeza a escova de aço e lavagem de cantarias exteriores, incluindo socos, pilastras, cimalkhas, entablamentos, guarnecimentos de vão, moldurados, elementos decorativos, colunas, estátuas, fogaréus, balaustradas, etc, nas fachadas, zimbório, torres sineiras e galilé.
- 9) Fornecimento e assentamento de cantarias em substituição de elementos em falta ou deteriorados, nos balaústres do terraço, nas lajes do terraço e do adro, com 0,10 m de espessura e, em cobertura da calha elevada do terraço, com 0,03 m de espessura.
- 10) Profunda reparação de caixilharias com substituição de peças em mau estado, em cerca de 20% incluindo substituição de fechos e ferragens, nos janelões do lanternim, óculos do lanternim, óculos superiores da cúpula, óculos inferiores

- da cúpula, janelões da cúpula, janelões do corpo da igreja e do coro, corpo da sacristia, residência paroquial, corpo conventual (fachada) e pátio pequeno.
- 11) Fornecimento e assentamento de janelas idênticas às existentes, nas escadas de acesso à residência e ao coro e nos andares das torres sineiras e nas escadas de acesso ao terraço.
 - 12) Reparação dos gradeamentos do adro de acesso à galilé, incluindo substituição de madeiras deterioradas, de ferragens e molas.
 - 13) Fornecimento e colocação de vidraça de 3 mm, em substituição de vidros partidos ou de caixilharia nova (a medir).
 - 14) Remoção de tintas velhas em caixilharias, em portas e guarda-ventos exteriores e sua pintura a três demão a tinta de óleo sintética.
 - 15) Pintura sobre madeira nova, incluindo aparelho a três demão de tinta de óleo sintética.
 - 16) Remoção de tintas e pintura, incluindo aparelho anti-corrosivo e duas de mão de sub-capa e duas de esmalte, em grades de protecção de janelas e em portões, com reparação e afinação de ferragens e fechaduras.
 - 17) Reparação dos portões do terraço, incluindo substituição de madeiras, ferragens, fechaduras e sua pintura a três demão.
 - 18) Construção de alçapões de acesso aos pisos dos sinos, com tampa e porta amovíveis, em alumínio pintado, incluindo remates às cantarias, ferragens e acabamentos para evitar entradas de pássaros para os pisos inferiores.
 - 19) Vedação de frestas em rede de latão de 1,5 mm de malha 1", fixa à cantoneira de latão, incluindo assentamento e pintura.
 - 20) Ramal de alimentação de água com Ø 1/2", incluindo torneira de suspensão e de serviço com "record" para mangueira de plástico com 20,0 m, a retirar do pátio da residência incluindo abertura e tapamento de roços e pintura nos traçados à vista.
 - 21) Revisão do pára-raios quanto à fixação, isolamento de cabos e sistema de terra, incluindo medições eléctricas.

- 22) Limpeza do telhado com substituição de telha defeituosa, com levantamento e reposição de telha para a substituição de rufos, fraldas, pestanas e caleiras de zinco, na fachada nascente, torreão nascente/norte, capela da Senhora dos Passos, construção junto do pátio pequeno, etc.
- 23) Levantamento de telha, seu apeamento e limpeza para posterior colocação da aproveitável, na sacristia, residência paroquial e balcão norte da igreja.
- 24) Limpeza geral, incluindo aspiração de poeiras e lavagem de madeiramentos em sotãos da sacristia, residência paroquial e balcão norte.
- 25) Substituição de madeiramento por madeira de pinho tratado em autoclave, em forro de telhado, em varedo, madres ou estruturas com madeiras de quina viva.
- 26) Limpeza de telhados com substituição de telhões em mau estado, incluindo assentamentos e remates, na sacristia, fachada nascente, residência, claustros, balcão norte e pátio pequeno.
- 27) Levantamento e substituição de chapa de zinco nº14, em rufos, larós, caleiras, incluindo abas de dilatação lateral, "cobre" juntas e pinturas, nos remates dos telhados e mansardas.
- 28) Fornecimento de telha em substituição da existente.
- 29) Pintura de madeiramentos com tinta ignífuga, antes do assentamento de telha e no interior dos sotãos e forro.
- 30) Levantamento e recolocação de clara-bóias, com substituição de elementos em mau estado, incluindo pintura.
- 31) Fornecimento e assentamento de tubos de queda de águas pluviais, incluindo funís acessórios, fixação e pintura.
- 32) Assentamento de telha, quer a levantada, quer a de substituição, incluindo escolhas e fixação.
- 33) Pintura a tinta de água a três demão sobre demão de isolante em paredes de cimalhas.
- 34) Revisões das fixações dos candelabros do altar mor e altar lateral, com levantamento e reposição das lajes de cantaria do terraço.
- 35) Execução de caleiras de recolha de águas do adro, nos vãos das quatro portas da galilé e respectivo esgoto. Isto envolveu:

- * o levantamento, corte e reassentamento de pedras para a execução das caleiras, com substituição das danificadas;
 - * a execução de caleiras com 0,15 x 0,30 x 2,00 m úteis, incluindo cantoneira de latão com 30 x 15 x 3 mm, com chumbadouro para apoio das grelhas;
 - * grelhas com latão fundido com 2000 x 170 x 2,7 mm;
 - * fornecimento e assentamento de tubo de polietileno para esgoto, em esgoto de caleiras, incluindo ramais e acessórios com curva e tampão para escovamento, levantamento e reposição do lajado do adro (com substituição do que for danificado), abertura e tapamento de vala;
 - * "furação" do muro lateral norte do adro para o atravessamento do esgoto, com reassentamento das cantarias e fornecimento e assentamento de pedra de cantaria formando gárgula e remate do tubo.
- 36) Tubagem e caixas a "embeber" nas paredes exteriores do I.G.C., para enfiamento de cabos telefónicos e de energia, obedecendo aos regulamentos em vigor, incluindo abertura e tapamento de roços e enfiamento a realizar com licenciamento das empresas concessionárias.
- 37) Revisão das suspensões dos sinos e das fixações dos martelos, quer na torre norte, quer na torre sul, efectuando o escoramento com estrutura tubular das que se encontram em risco de cair.
- 38) Limpeza dos ralos dos pátios e dos respectivos tubos de esgoto de águas pluviais.

VIII.6.3 - TRABALHOS INTERIORES

- 1) Montagem e desmontagem de andaimes para limpeza interior da igreja, transepto, zimbório e galilé, incluindo transportes cargas e descargas, na galilé, altar mor, transepto, corpo da igreja, zimbório, acima da galeria e no coro
- 2) Montagem e desmontagem de estruturas tubulares para criação de plataformas de trabalho de acesso à face inferior das abóbadas no altar mor e no corpo da igreja.

- 3) Protecção com material impermeável fixado de forma estanque de todos os quadros a óleo do altar mor, galerias laterais, transepto e corpo da igreja e seu levantamento e reposição.
- 4) Limpeza, lavagem e escovagem de todas as cantarias do interior da igreja, seu polimento quando necessário, incluindo grupos escultóricos, faixas, relevos, cimalkhas, altos relevos, etc., na capela mor, transepto e nave.

Sublinhe-se, finalmente, a existência, para mais de vinte anos, dos problemas associados à infiltração de águas pluviais. Realça-se, também, a importância que este tipo de investigação tem, sobretudo, no fornecimento de informações sobre aspectos particulares dos trabalhos realizados, que podem auxiliar na explicação da origem de determinados produtos de decaimento amostrados, para além de poderem ter, também, algum interesse no quadro da compreensão dos fenómenos de decaimento observados.

IX - MICROCLIMA NO INTERIOR DA BASÍLICA DA ESTRELA

IX.1 - INTRODUÇÃO

"'Climate' is an abstraction like 'goodness', easier to recognise than to define precisely."

Linacre, E. (1992)

"Clima" é uma abstracção como a "bondade", mais fácil de reconhecer do que de definir com precisão. A subtileza do conceito de clima é evidenciada pela variedade de definições encontradas na literatura. No entanto, em consenso com algumas definições publicadas, clima pode ser definido como a síntese, a longo prazo, das condições atmosféricas características de um dado lugar. Representa, assim, o conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera numa dada região. É expresso através dos valores médios dos vários elementos da atmosfera e também das probabilidades de ocorrência de condições extremas (Linacre, 1992).

O estudo do clima deve estar mais ligado às características da atmosfera a longo prazo, pois tende mais a ser estatístico do que determinista e refere-se mais às diferenças espaciais do que às temporais (Linacre, 1992). Ao fazer-se a descrição quantitativa do clima de um local, através da caracterização do padrão a longo-prazo das condições atmosféricas, é importante esclarecer a relação entre o que se mede e o que se entende por clima de áreas como sejam um monumento, um vale, um país ou do globo inteiro. A palavra clima tem diferentes significados de acordo com a dimensão do domínio a que se refere. Por exemplo, pode falar-se do clima de um jardim, do clima de uma cidade, ou de mudanças do clima global. É importante catalogar estes climas separadamente, distinguindo o 'microclima' de um sítio (como seja uma estação climática ou um monumento) do 'topoclima' de uma localidade (como um vale ou cidade), do 'mesoclima' de uma região, do 'clima sinóptico' de um continente, e do 'clima global' de todo o planeta (Linacre, 1992).

Não é possível medir o clima, mas apenas os elementos individuais que o compõem. Um elemento de clima é qualquer uma das várias propriedades ou condições da atmosfera que no seu conjunto determinam o estado físico da atmosfera num dado local, para qualquer momento ou período de tempo. Por sua vez, um factor climático, como, por exemplo, a latitude ou a sombra, é uma variável que controla o elemento climático (Linacre, 1982).

IX.2 - OS PARÂMETROS TERMO-HIGROMÉTRICOS CARACTERIZADORES DO MICROCLIMA

A caracterização do microclima interior da Basílica da Estrela impôs a medição de alguns parâmetros termo-higrométricos considerados de extrema importância no estudo do decaimento das rochas dos monumentos.

A campanha longa, que se estendeu entre Fevereiro de 1992 e Abril de 1996, consistiu na medição da temperatura da parede, temperatura do ar (na proximidade da parede), temperatura húmida, temperatura do ponto de orvalho e humidade relativa. Segundo Aires-Barros (1991):

- * A **temperatura (T)** (°C) indica o nível de calor ou de frio. Define-se como a medida da energia cinética média, E , das moléculas do gás em estudo (no nosso caso o ar), segundo a equação:

$$T = \left(\frac{2}{3K} \right) E$$

em que:

K - é a constante de Boltzmann, igual a 1.381×10^{-16} erg/°K

- * A **humidade relativa (HR)** (%) exprime o grau da saturação do ar e depende não só da temperatura do ar, como da quantidade de vapor presente na atmosfera. É dada pela relação entre a quantidade de vapor (m_v), presente num dado volume V de atmosfera, e a quantidade de vapor (m_s) de saturação, à mesma temperatura:

$$HR = 100 \times \left(\frac{m_v}{m_s} \right) \%$$

- * A **temperatura de orvalho (T_o)** exprime a temperatura a que o ar se satura e dá início à condensação espontânea. Fisicamente, a temperatura de orvalho do ar

húmido à temperatura (T), pressão (p) e humidade específica²⁴ (HE), é a temperatura a que deve ser arrefecido o ar para se atingir a saturação sem variação de (p) e de (HE).

* O **afastamento ao ponto de orvalho** (ΔT_o), que depende de T e do grau de saturação do ar, indica com que diferença térmica pode dar-se a condensação espontânea:

$$\Delta T_o = T - T_o$$

É necessário explicitar os conceitos de temperatura húmida (T_h) ou psicrométrica e de temperatura seca (T_s). Podemos fazê-lo recorrendo, por exemplo²⁵, à lei de Dalton da evaporação (Lencastre et al., 1984).

De acordo com a lei de Dalton, a evaporação E varia linearmente com o deficit de saturação do ar [$e_w(T_h) - e(T_s)$], tal que:

$$E = a [e_w(T_h) - e(T_s)]$$

em que:

$e_w(T_h)$ - representa a tensão de vapor²⁶ saturado à temperatura média da camada evaporante que envolve o sistema húmido, chamada temperatura húmida, T_h ;

$e(T_s)$ - é a tensão do vapor no ar ambiente, à respectiva temperatura, chamada temperatura seca, T_s .

Quanto à relação entre a temperatura seca (T_s), temperatura húmida (T_h) e temperatura de orvalho (T_o), tem-se:

²⁴ A **Humidade específica** (HE), representa a quantidade de vapor (em g) dispersa num kg de ar (Aires-Barros, 1991).

²⁵ Como alternativa poderia recorrer à expressão para a humidade relativa do ar, à temperatura (T_s), também conhecida por fórmula do psicrómetro e que é deduzida a partir da lei de Dalton (ver, por exemplo, Lencastre et al., 1984).

²⁶ Define-se tensão do vapor, e , como a pressão exercida pelo vapor em determinado espaço; o espaço diz-se saturado quando não comporta mais vapor (Lencastre et al., 1984).

$$T_s \geq T_h \geq T_o$$

Esta desigualdade é tanto maior quanto menor for a HR e tem-se $T_s = T_h = T_o$, em condições de saturação.

Importa, ainda, observar que (Aires-Barros, 1991):

- * se uma superfície humedecida tem temperatura T_h , começa a evaporação e o ar na sua proximidade terá um máximo localizado de **HE**;
- * se a temperatura da parede é T_o , dá-se a condensação do vapor de água na sua superfície e o ar na sua proximidade terá um mínimo localizado de **HE**;
- * se a temperatura é tal que se verifica a igualdade $T_h = T_o$, está-se em condições de saturação. Na prática tem-se um equilíbrio dinâmico entre a condensação e a evaporação.

IX.3 - LEVANTAMENTO TERMO-HIGROMÉTRICO E METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS DADOS COLIGIDOS

Tendo em vista o estudo espaço-temporal do comportamento destes elementos do clima, foram efectuadas medições duas vezes por semana (uma de manhã e outra de tarde, com vista a captar a sua variação diurna), em quatro zonas distintas do interior da Basílica da Estrela, localizadas no Transepto e na Nave (*vide* Fig.1). A repartição espacial das patologias e a geometria dos painéis, determinaram a implantação de redes de doze pontos de amostragem. Isto permitiu, localmente, o estudo de superfície dos elementos do clima, segundo alinhamentos ("perfis") horizontais e verticais (*vide* Fig.108). Isto é, a rede de amostragem foi desenhada de forma a permitir aceder à estratificação do ar na atmosfera interior e, ainda, à evolução espaço-temporal dos parâmetros termo-higrométricos, no sentido de se puderem estabelecer relações entre estes parâmetros e a intensidade e tipo de patologias observadas.

É inútil medir o que depois não é adequadamente arquivado para uso e análise posterior. É, por conseguinte, importante arquivar correctamente o fluxo muitas vezes longo de observações climáticas. Nesta conformidade, os dados uma vez introduzidos em computador, foram inicialmente sujeitos a um controlo de qualidade. Este permitiu identificar

valores ausentes ou deslocados e, ainda, verificar a consistência interna dos dados. Esta última foi feita verificando-se, por exemplo, se as temperaturas do termómetro seco excediam as do termómetro húmido. Este tipo de controlo é importante para estudos climatológicos, visto que estes precisam de registos de valores diários, fiáveis e longos, obtidos com equipamento devidamente calibrados.

As medições de elementos climáticos são de pouco interesse até serem 'analisadas', i.e., até serem organizadas segundo uma ordem com algum significado, reduzidas a quantidades manuseáveis e descritas sucintamente de modo a detectarem-se anomalias nos dados que possam levar ao exame e à inferência de possíveis causas.

Neste estudo, os dados coligidos, uma vez controlados, foram suplementados com cálculos de médias e valores extremos, de forma a obter-se alguma indicação sobre a variabilidade existente nos dados e concentrar nesses parâmetros grande parte da informação contida nos longos registos iniciais. Os Quadros XX a XXXIX (Anexo I) mostram, para cada elemento do clima medido, a estrutura dos dados sujeitos à análise subsequente. Apresentam-se, como exemplo, os valores máximos, médios e mínimos mensais, para cada elemento do clima, obtidos em cada ponto de amostragem do painel SS^{mo} Sacramento, no período entre Março de 1993 e Abril de 1996. Considera-se apenas este período, dado que em Março de 1993 se alterou a malha de amostragem, passando-se dos oito pontos iniciais para os doze finais, e, ainda, porque se procurou manter a estrutura dos dados a sujeitar à análise estatística. Evita-se, deste modo, a introdução de derivas "artificiais" nas séries climatológicas obtidas, assegurando, quanto possível, a "homogeneidade" inicial dos dados. Este cuidado permite, assim, reduzir as discontinuidades nos registos que poderiam, por exemplo, conduzir a inferências não verdadeiras de diferenciação de climas.

Os procedimentos de análise dos dados, etapa intermédia entre a obtenção dos dados e a sua aplicação à resolução de problemas práticos, foram orientados no sentido de possibilitarem a descrição concisa dos longos registos de dados climáticos e a detecção de eventos extremos e de similitude das circunstâncias em lugares e tempos diferentes e, ainda, de ocorrências de irregularidades nas séries ao longo da campanha de amostragem.

O estudo espaço-temporal dos elementos climáticos amostrados foi essencialmente suportado por tratamento estatístico dos dados coligidos. Para os painéis estudados, a "captação" da variabilidade espaço-temporal dos elementos do clima foi feita através da aplicação de métodos de correlação e regressão lineares às medições "simultâneas" efectuadas

nos diferentes pontos da rede em conformidade com o proposto por Linacre (1992). Isto permitiu apreciar, por um lado, o desenho da malha de amostragem utilizada na captação da variabilidade espacial dos elementos do clima, por outro, a implicação da duração da campanha de amostragem na detecção de variações temporais. Isto é, possibilitou a discussão sobre o tipo de rede de amostragem e sobre o intervalo de tempo necessários à captação das mudanças nos microclimas implicados nos fenómenos de decaimento em estudo.

No domínio espacial, o estudo foi feito apenas a duas dimensões, procurando obedecer, quer à distribuição espacial do tipo e intensidade das patologias observadas, quer também à geometria dos respectivos painéis. Deste modo, as análises foram feitas, quer segundo a direcção horizontal, quer segundo a direcção vertical, que são respectivamente, a menor e a maior dimensão das estruturas arquitecturais em estudo. Estas direcções também são, respectivamente, a de menor e maior variação espacial do tipo e intensidade das patologias observadas. Os resultados obtidos nesta análise espaço-temporal constam dos Quadros XL a LIV (Anexo II).

A redução da dimensão espacial permitiu passar ao estudo do comportamento, no tempo, das séries climatológicas obtidas da análise anterior. Caracterizaram-se as respectivas estruturas através da análise da variabilidade sazonal e anual e da caracterização dos diferentes padrões subjacentes. Para esse propósito, além do tipo de análises realizadas no domínio do espaço-temporal, i.e. estudos de correlação e regressão linear, desenharam-se também gráficos dos "desvios cumulativos" e fizeram-se testes de aleatoriedade de sequências às séries obtidas.

Segundo Linacre (1992), os gráficos dos desvios cumulativos, para além de interessantes na detecção de falta de homogeneidade das séries climatológicas (devida, por exemplo, a descontinuidades nos registos), permitem também o estabelecimento claro dos padrões estruturais subjacentes. Este tipo de informação constitui, também, importante auxílio na interpretação dos gráficos que dão a variação no tempo dos parâmetros dos elementos do clima (isto é, dos respectivos cronogramas).

Para além da análise dos elementos do clima já referida, foram ainda calculadas, para cada painel, as frequências de ocorrência de fenómenos de condensação, saturação e evaporação, através da análise correlativa da temperatura da parede, temperatura do ponto de orvalho e temperatura húmida, para os diversos períodos de análise (vide, por exemplo, Figs.233 a 243).

Definidas as séries climatológicas mais significativas e características de cada painel, foi, então, feita a análise de correlação entre elas para se aferir da variabilidade espacial do microclima interior da Basílica da Estrela.

A apresentação e discussão dos resultados é feita, inicialmente, para o painel SS^{mo} Sacramento. Face aos resultados obtidos, faz-se em seguida a análise comparativa das séries climatológicas dos elementos medidos nos diversos painéis. Finalmente e, ainda, na sequência dos resultados obtidos, faz-se a caracterização pormenorizada das séries temporais obtidas para os diferentes parâmetros termo-higrométricos, com base na amostragem coligida sobre o painel SS^{mo} Sacramento.

O aparelho utilizado ao longo de toda a campanha foi um Psicrómetro Digital Jenway 5100. De acordo com o manual de operação temos uma resolução de 1%, para a humidade relativa; 0.1°C, para o ponto de orvalho e, finalmente, 0.1°C, para a temperatura. Quanto à precisão, temos: $\pm 2\%$, para a humidade; $\pm 2^\circ\text{C}$, para o ponto de orvalho; e $\pm 0.5^\circ\text{C}$, para a temperatura.

IX.4 - ESTUDO ESPAÇO-TEMPORAL

A análise das matrizes das correlações espaço-temporais estudadas para as diferentes séries climatológicas obtidas em cada ponto de amostragem previamente seleccionados como representativos do microclima interior da Basílica da Estrela (*vide* Quadros XL a LIV, Anexo II), permite avançar, para cada elemento do clima, as seguintes considerações:

*** Temperatura da parede (°C)**

Segundo a direcção horizontal, os valores dos coeficientes de correlação espacial situam-se entre 0.99 e 1.00, para mais de 97% das correlações estudadas. Esta estabilidade espacial é mantida ao longo de todo o período de amostragem, sendo o valor de correlação mais baixo igual a 0.80 para os valores máximos da temperatura da parede, medidos a um metro de altura do lado esquerdo e do lado direito do painel, no ano de 1995.

Segundo a direcção vertical, os valores dos coeficientes de correlação variam entre 0.96 e 1.00. Mais de 98% dos casos analisados têm valores entre 0.99 e 1.00.

Em conformidade com a matriz de correlações para os diferentes períodos de amostragem pode dizer-se, com excepção dos valores baixos encontrados para as correlações efectuadas entre o ano de 1996 e os outros períodos de amostragem, que este elemento exhibe também uma boa continuidade temporal, com valores do coeficiente de correlação entre 0.90 e 0.98. Cerca de 74% destes valores variam entre 0.95 e 0.98. As piores correlações verificaram-se, em geral, entre os anos 94/96 e 95/96, e são, em parte, explicadas pela escassez de dados. Entre estes anos as séries, deste elemento climático, pior correlacionadas são as constituídas pelos seus valores máximos.

*** Temperatura do ar (°C)**

Segundo a direcção horizontal, os valores dos coeficientes de correlação espacial variam entre 0.99 e 1.00, para cerca de 93% das correlações estudadas. Somente dois casos apresentam valores de correlação inferiores a 0.96 (i.e. igual a 0.84), para os valores mínimos da temperatura do ar medidos a cerca de dois metros da base do painel, na sua parte central e do seu lado esquerdo, no ano de 1996. Esta estabilidade espacial é mesmo mantida ao longo de todo o período de amostragem.

Segundo a direcção vertical, os valores dos coeficientes de correlação encontrados variam entre 0.99 e 1.00, para cerca de 93% das análises efectuadas. Ocorrem, apenas, três valores entre 0.82 e 0.89, para as correlações entre os valores mínimos medidos a 1 e 3 metros de altura, no ano de 1996. Estes valores mais baixos de correlação podem em parte ser explicados pela escassez de dados obtida nesse ano. Segundo esta direcção também se mantém a estabilidade espacial ao longo de todo o período de análise (1993-1996).

Com excepção dos baixos valores encontrados para as correlações efectuadas entre o ano de 1996 e os outros períodos de amostragem, devido sobretudo à insuficiente informação, e em conformidade com a matriz de correlações (para os diferentes períodos de amostragem), pode dizer-se que também este elemento do clima exhibe uma boa continuidade temporal, com valores de correlação entre 0.85 e 0.98. Cerca de 72% destes valores variam entre 0.95 e 0.98. De entre estes, os dois valores de correlação mais baixos, entre 0.85 e 0.89,

verificaram-se para os valores mínimos mensais deste elemento do clima. Efectivamente, as piores correlações registaram-se entre os anos 94/96 e 95/96, podendo ser também explicadas pela escassez de dados. Entre estes anos, os máximos mensais aparecem, aqui também, como os parâmetros deste elemento do clima pior correlacionados.

*** Temperatura húmida (°C)**

Segundo a direcção horizontal, cerca de 82% das correlações estudadas têm valores dos coeficientes de correlação espacial entre 0.99 e 1.00. Dos restantes, apenas cinco valores se encontram abaixo de 0.96. Estes variam entre 0.77 e 0.93 e registaram-se para correlações entre os valores máximos mensais amostrados em pontos situados a dois metros de altura da base do painel, respectivamente, do lado direito, esquerdo e parte central, no ano de 1995. Esta estabilidade espacial, patenteada através dos elevados valores dos coeficientes de correlação calculados, mantém-se ao longo de todo o período de amostragem.

Segundo a direcção vertical, cerca de 82% dos valores dos coeficientes de correlação variam entre 0.99 e 1.00 e, apenas, 4% entre 0.73 e 0.90. Estes últimos foram registados para os valores máximos mensais amostrados nos anos de 1994 e 1995. Segundo esta direcção também se mantém a estabilidade espacial ao longo de todo o período de análise (1993/1996), sobretudo para os valores médios e mínimos mensais, aparecendo as correlações entre os valores máximos mensais menos estáveis no tempo.

Este elemento do clima já não mostra tão boa continuidade temporal como os dois elementos anteriores, dados os valores do coeficiente de correlação entre 0.52 e 0.96. Cerca de 94% destes valores situam-se abaixo de 0.95 e 78% têm valores entre 0.52 e 0.89. Com excepção dos baixos valores encontrados para as correlações entre os valores medidos no ano de 1996 e nos outros períodos de amostragem (possivelmente devido à insuficiência de informação), pode dizer-se, em conformidade com a matriz de correlações para os diferentes períodos de amostragem, que são os valores máximos mensais deste elemento do clima que exibem pior continuidade temporal, apresentando a maior dispersão de valores do coeficiente de correlação, i.e., entre 0.52 e 0.93.

*** Temperatura do ponto de orvalho (°C)**

Segundo a direcção horizontal, a totalidade das correlações estudadas tem valores de coeficientes de correlação espacial entre 0.99 e 1.00. Cerca de 92% das correlações estudadas têm coeficientes de correlação igual a 1.00. Esta elevadíssima continuidade espacial, patenteada através dos elevados valores dos coeficientes de correlação calculados, mantém-se ao longo de todo o período de amostragem. No ano 1993, tem valores do coeficiente de correlação entre 0.99 e 1.00 e 92% dos valores são iguais a 1.00. No ano de 1994, tem valores do coeficiente de correlação entre 0.99 e 1.00 e 87% dos valores são iguais a 1.00. No ano de 1995, a totalidade dos valores de correlação é igual a 1.00 e no ano de 1996, tem valores de correlação entre 0.99 e 1.00 e 92% dos valores são iguais a 1.00.

Segundo a direcção vertical, continua a observar-se a boa continuidade espacial ao longo de todo o período de análise (1993/1996), com valores dos coeficientes de correlação entre 0.97 e 1.00. Cerca de 95% destes valores variam entre 0.99 e 1.00.

Curiosamente, sendo este o elemento do clima que apresenta maior e melhor continuidade espacial, já o mesmo não se passa relativamente à sua continuidade temporal que não existe, apresentando valores dos coeficiente de correlação entre 0.18 e 0.85, com cerca de 75% dos valores entre 0.18 e 0.64. Contrariamente aos valores médios mensais, os valores máximos e mínimos mensais apresentam, em geral, coeficientes de correlação muito baixos para valores distanciados de mais de dois anos.

*** Humidade relativa (%)**

Segundo a direcção horizontal, cerca de 95% das correlações estudadas têm valores de coeficientes de correlação espacial entre 0.99 e 1.00. Apenas duas situações, das restantes, apresentam valores mais baixos que 0.96. Estes últimos valores são iguais a 0.80 e 0.81, e respeitam às correlações entre os valores máximos mensais medidos nos pontos da rede situados a um metro da base do painel, no ano de 1996. Estes valores mais baixos poderão, em parte, ser explicados pela insuficiência de dados obtidos nesse ano. Esta elevadíssima continuidade espacial mantém-se ao longo de todo o período de amostragem (1993/96): em 1993, 97% dos valores dos coeficientes de correlação variam entre 0.99 e 1.00; em 1994,

cerca de 89% das relações estudadas apresentam valores que variam entre 0.99 e 1.00; em 1995, 89% dos valores variam entre 0.99 e 1.00 e em 1996, 95% dos valores de correlação variam entre 0.99 e 1.00.

Segundo a direcção vertical, continua a observar-se uma boa continuidade espacial, com cerca de 87% dos valores dos coeficientes de correlação encontrados variando entre 0.99 e 1.00. Apenas três situações apresentam valores abaixo dos 0.92, variando entre 0.80 e 0.83. Mantém-se uma boa estabilidade espacial, segundo esta direcção, ao longo de todo o período de análise (1993/96).

Este é efectivamente de todos os elementos do clima o que apresenta maior flutuação ao longo do período de amostragem, com grande dispersão de valores do coeficiente de correlação entre -0.70 e 0.65, contrariamente à boa continuidade espacial que apresenta. Naturalmente que são os valores médios mensais dos parâmetros termohigrométricos que apresentam os coeficientes de correlação mais elevados. Os valores médios dos parâmetros termohigrométricos são, pois, representativos e característicos do clima de um determinado domínio. Todavia, em virtude dessa sua característica, não são os valores médios que se configuram como os parâmetros ideais para o estudo dos fenómenos em causa.

O estudo acabado de realizar, à luz da metodologia exposta, mostrou que, na sua globalidade, os elementos do clima e respectivos parâmetros (máximos, médias e mínimos mensais) estão, espacialmente, fortemente correlacionados, não sendo significativa a sua variabilidade espacial nas duas principais direcções de análise definidas de acordo com a geometria da superfície estudada. Sublinhe-se que é, todavia, possível destacar as excelentes continuidades espaciais verificadas, à escala do painel, pela temperatura do ponto de orvalho e pela humidade relativa, face às respectivas continuidades temporais.

Os números mostram que, para os elementos do clima medidos, não foram detectados microclimas diferentes sobre o painel, dado os elevados valores dos coeficientes de correlação e, também, a pequena dispersão dos valores encontrados (cerca de 99% têm valores entre 0.96 e 1.00).

Em conformidade com a análise feita e dada a boa continuidade espacial, contrariamente a temporal, evidenciada, à escala do painel, pelos elementos do clima medidos, a informação inicialmente coligida e usada na análise anterior foi então condensada nos valores encontrados nos Quadros LV a LXX (Anexo III). A redução da dimensão espacial

é feita, neste caso, sem perda de informação pertinente à compreensão dos fenômenos em estudo, em virtude da sua redundância configurada nos elevados valores dos coeficientes de correlação espacial calculados.

Com base nesses valores foram ainda construídos os respectivos cronogramas que permitem visualizar melhor o comportamento no tempo das séries climatológicas resultantes, uma vez que estes revelam as tendências mais claramente. Os cronogramas serão analisados mais tarde (*vide* Capítulo IX.6 sobre "**Caracterização das séries climatológicas (cronológicas)**").

IX.5 - ANÁLISE COMPARATIVA DAS SÉRIES CLIMATOLÓGICAS OBTIDAS DO ESTUDO ANTERIOR PARA OS DIFERENTES PAINÉIS

Assumindo que os resultados obtidos na discussão anterior sobre a qualidade do desenho da malha de amostragem implantada sobre o painel SS.^{mo} Sacramento podem ser extensivos aos restantes painéis localizados, respectivamente, na parte Norte do transepto (painel Túmulo D. Maria I) e de um e outro lado da nave, nomeadamente, painel S. José e painel S. Teresa, foram obtidas, para estes painéis, as séries climatológicas apresentadas nos Quadros LV a LXX (Anexo III).

Seguindo a mesma metodologia de abordagem utilizada na análise anterior obtiveram-se, com base na informação contida nos Quadros LV a LXX, os respectivos coeficientes de correlação espacial para as séries dos elementos do clima medidos nos diferentes painéis (Quadro LXXI, Anexo IV).

Para o total das relações estudadas ao longo dos anos da campanha de amostragem, cerca de 78% dos valores encontrados para os coeficientes de correlação linear variam entre 0.95 e 1.00. Apenas cerca de 6% têm valores abaixo de 0.85.

Para a correlação entre os elementos do clima medidos nos painéis SS.^{mo} Sacramento e Túmulo D. Maria I, localizados respectivamente na parte Sul e Norte do transepto, cerca de 78% dos valores encontrados variam entre 0.95 e 1.00. Apenas dois valores ($\approx 3\%$) são inferiores a 0.85. De todos os elementos do clima estudados e respectivos parâmetros, merece aqui destaque a variação no tempo da qualidade da relação espacial entre as séries dos máximos da temperatura húmida medida nestes dois painéis. Os valores de correlação linear calculados variam entre 0.70 e 0.95. A continuidade temporal da relação espacial dos valores

máximos da temperatura húmida não é tão boa como a verificada para as outras séries, quer deste mesmo elemento, quer dos outros elementos do clima, nomeadamente para a temperatura da parede, do ar e do ponto de orvalho, etc.

As correlações entre as séries dos elementos do clima medidos nos dois painéis localizados na nave da igreja, respectivamente painel S. José, virado a SE, e o painel S. Teresa, virado a NW, são, globalmente, muito fortes. Cerca de 82% dos valores encontrados, para as relações estudada ao longo dos anos de amostragem, variam entre 0.95 e 1.00. Apenas quatro valores ($\approx 6\%$) são inferiores a 0.85. Aqui, merece destaque a maior variação, no tempo, da qualidade da relação espacial para as séries dos valores mínimos da temperatura do ar, da humidade relativa e dos valores máximos da temperatura húmida, medidos nesses painéis.

Para as correlações cruzadas, isto é, transepto versus nave, a situação varia ligeiramente, com a percentagem de valores de coeficientes de correlação entre 0.95 e 1.00 a variar entre $\approx 74\%$ e $\approx 80\%$. Todavia, apenas cerca de 2% a $\approx 10\%$ (i.e., entre 2 e 6 valores) são inferiores a 0.85.

Esta variação no tempo dos valores das correlação espaciais, para os elementos do clima em estudo, levou-nos a calcular novos coeficientes de correlação com base nos registos longos obtidos no período 1993/1996 (Quadro LXXI, Anexo IV).

Estes novos valores permitem avançar as seguintes considerações:

* Para o transepto: os valores de correlação obtidos a partir dos registos longos variam entre 0.89 e 1.00. Apenas um valor (0.89), de entre estes, situa-se abaixo de 0.94. Este foi registado para a correlação espacial das séries constituídas pelos máximos da temperatura húmida. Coeficientes de correlação linear iguais a 1.00, foram apenas obtidos para as relações espaciais entre as séries constituídas pelos valores médios mensais da temperatura da parede, do ar e da temperatura húmida.

* Para a nave: os valores de correlação obtidos a partir dos registos longos variam entre 0.87 e 1.00. Aqui, apenas quatro valores (cerca de 6%) variam abaixo de 0.94, i.e. entre 0.87 e 0.94. O valor mais baixo (0.87) foi registado para a correlação espacial das séries constituídas pelos máximos da temperatura húmida. Os coeficientes de correlação linear iguais a 1.00 foram obtidos para as relações espaciais entre as séries constituídas pelos valores médios mensais da temperatura da parede, do ar, do ponto de orvalho e da temperatura húmida.

* Para as correlações cruzadas, isto é, nave versus transepto, os valores dos coeficientes de correlação linear encontrados com base nos registos longos variam entre 0.85 e 1.00. Cerca de 70% dos valores variam entre 0.95 e 1.00. O valor mais baixo (0.85) foi registado, novamente, para a correlação espacial das séries constituídas pelos máximos da temperatura húmida. No outro extremo, isto é, os valores da correlação linear iguais a 1.00 verificam-se geralmente para as séries constituídas pelos valores médios mensais da temperatura da parede e do ar.

Com base nesta interpretação e em conformidade com as conclusões tiradas a partir do estudo realizado para cada painel, podemos adiantar que não foi possível por esta via delimitar microclimas significativamente diferentes juntos a estes painéis localizados em pontos distintos do interior da Basílica da Estrela. Segundo Linacre (1992), valores de coeficientes de correlação linear superiores a 0.75 para medições de elementos do clima efectuadas a uma dada distância, reflectem a não existência de microclima distintos entre os pontos de amostragem.

A despeito das conclusões tiradas e dos elevados valores dos coeficientes de correlação encontrados, deve sublinhar-se a menor continuidade espacial e temporal observada para a humidade relativa, não importa o parâmetro tido em conta, se tomarmos sobretudo como referência os comportamentos da temperatura da parede e do ar. Como comportamentos próximos do deste elemento do clima são apenas de apontar os das séries dos máximos da temperatura húmida e dos máximos da temperatura do ponto de orvalho.

A questão que se coloca é saber se esta menor continuidade espaço-temporal destes elementos do clima corresponde efectivamente a uma variabilidade climática, por pequena que seja, ou antes se se associa à maior sensibilidade do instrumento de medição aos critérios de operação (i.e., maior exigência quanto à manutenção e calibração) necessários à realização de medições não enviesadas.

IX.6 - CARACTERIZAÇÃO DAS SÉRIES CLIMATOLÓGICAS (CRONOLÓGICAS)

IX.6.1 - PAINEL SS^{MO} SACRAMENTO

IX.6.1.1 - TEMPERATURA DA PAREDE (°C)

A variação ao longo do ano de 1993, dos valores máximos, médios e mínimos mensais da temperatura da parede, é claramente marcada pelo efeito sazonal, com os valores mais altos (23.9°C, 23.4°C e 22.9°C), registados nos meses de Verão, e os mais baixos, respectivamente 16.2°C, 15.5°C e 14.7°C, nos meses de Inverno (Fig.109). De entre os meses de Verão e Inverno, merecem particular destaque os de Agosto e Dezembro, em que se atingem, respectivamente, os máximos e mínimos anuais das séries constituídas pelos valores médios e mínimos mensais.

É nos meses de Agosto e de Março que os valores extremos mensais da temperatura da parede quase se tocam, sendo por conseguinte os meses de maior estabilidade térmica, expressa através da menor dispersão dos valores medidos ao longo desses meses. Em contrapartida, o mês de Junho é o mês de maior instabilidade térmica, traduzida numa maior flutuação dos valores máximos, médios e mínimos mensais deste elemento do clima. Em Junho regista-se o máximo anual da amplitude térmica mensal, traduzido no maior desfazamento entre os valores máximos e mínimos mensais desse ano. Vê-se, todavia, que os valores extremos mensais (máximos e mínimos mensais) deste elemento têm um comportamento idêntico ao dos valores médios mensais, i.e., que estes três parâmetros considerados estão, em geral, bem correlacionados.

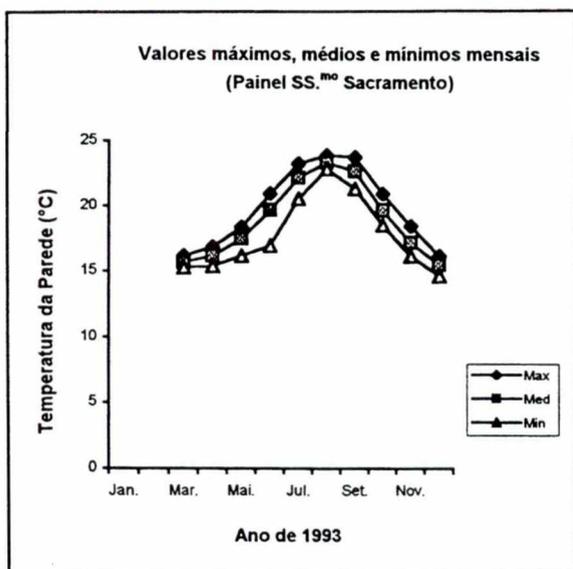


Fig.109 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

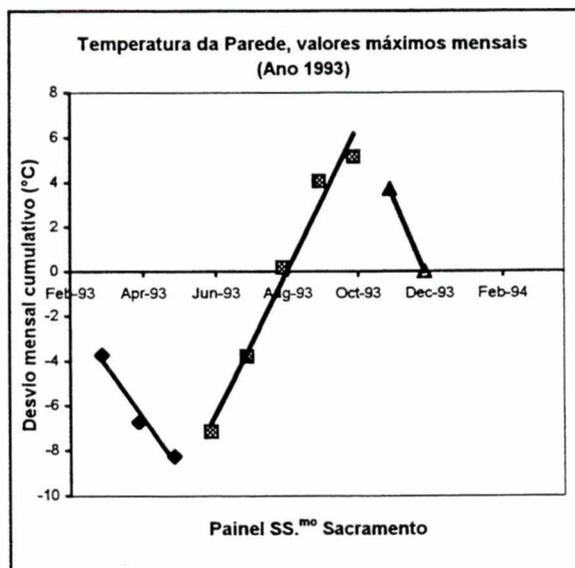


Fig.110 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

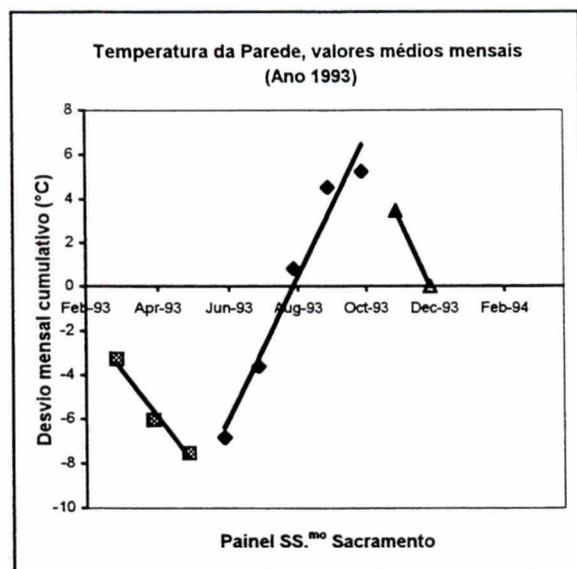


Fig.111 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

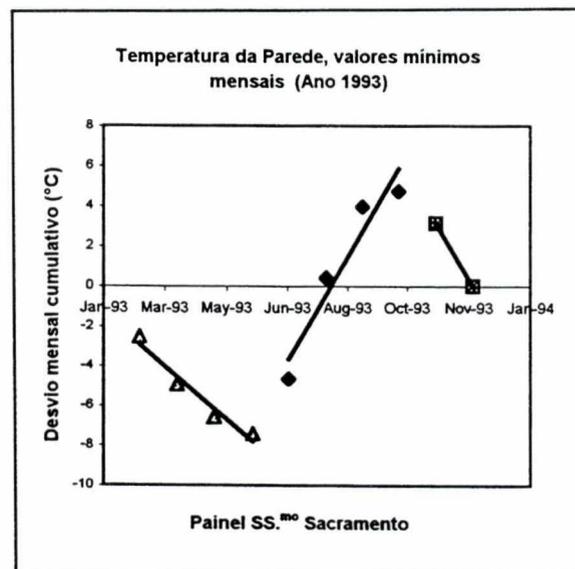


Fig.112 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

A amplitude térmica anual, definida, segundo Linacre (1992), como a diferença entre as temperaturas médias do mês mais quente e do mês mais frio, foi calculada para o ano de 1993 como a diferença entre os valores médios mensais de Agosto (23.4°C) e Dezembro (15.5°C), que são, em média, os meses respectivamente mais quente e mais frio do ano. Esta

é, pois, igual a 7.9°C e difere em cerca de 1.3°C da que seria calculada pela diferença entre o máximo e o mínimo anual.

Cerca de 50% dos meses têm valores máximos, médios e mínimos, abaixo das respectivas médias anuais (*vide* Quadros LV a LXX, Anexo III e Figs.110 a 112).

O padrão subjacente às três séries constituídas respectivamente pelos valores máximos, médios e mínimos mensais é idêntico e caracteriza-se fundamentalmente por ser constituído por dois períodos frios²⁷ e de igual declive que delimitam um período mais quente²⁸ e de variação mais rápida, que se estende entre os meses de Junho e Outubro (Figs.110 a 112). Para o ano 1993, os gráficos dos desvios mensais cumulativos em relação à média anual, em função do tempo, mostram séries marcadas por um ciclo anual com acentuada variação sazonal e com tendência para valores mais altos que a média anual entre o fim da Primavera e o princípio do Outono. Esta estrutura parece manter-se nos anos seguintes, isto é em 1994 e 1995 (Figs.113 a 121). Verifica-se, assim, nesses anos a existência de um padrão em tudo idêntico ao encontrado para o ano de 1993. Ainda para este elemento do clima, parece manter-se a tendência, já verificada em 1993, de as séries constituídas pelos valores máximos mensais apresentarem, relativamente às séries dos valores mínimos, uma maior flutuação à volta do seu valor médio anual e, também, um maior efeito sazonal, o que se traduz num comportamento mais irregular.

²⁷Períodos frios são os períodos com valores de temperatura relativamente mais baixos que a média anual.

²⁸Períodos quentes são períodos com valores de temperatura superiores à média anual.

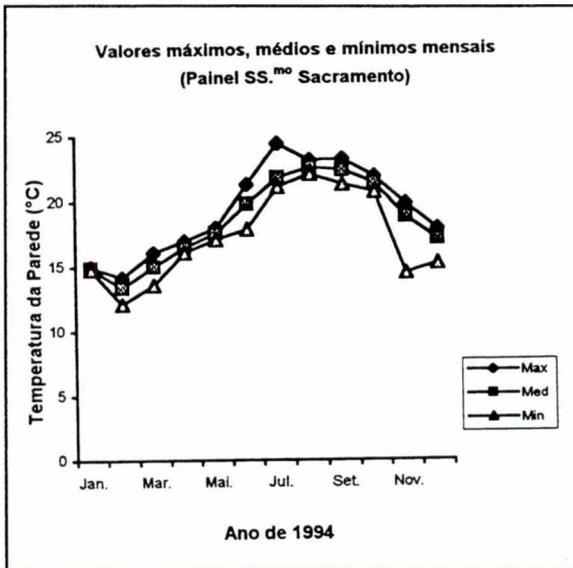


Fig.113 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

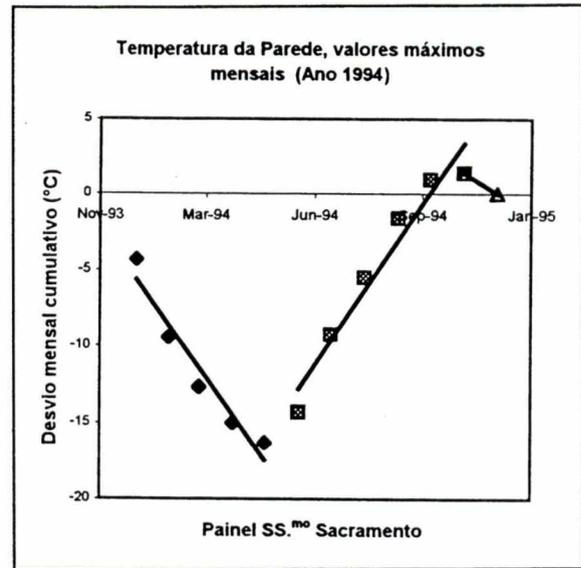


Fig.114 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

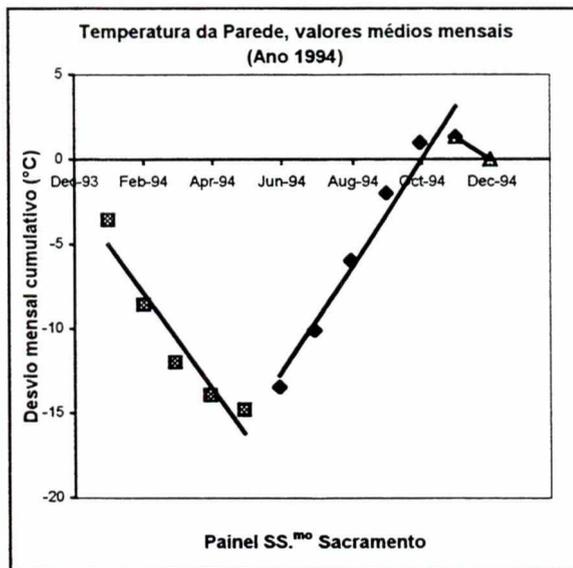


Fig.115 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

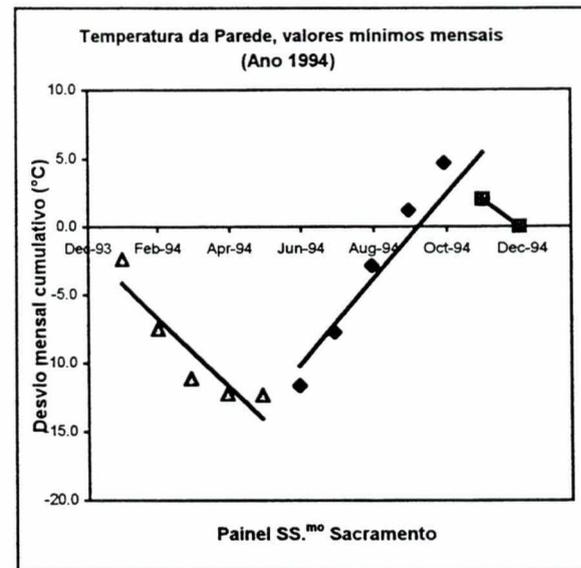


Fig.116 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

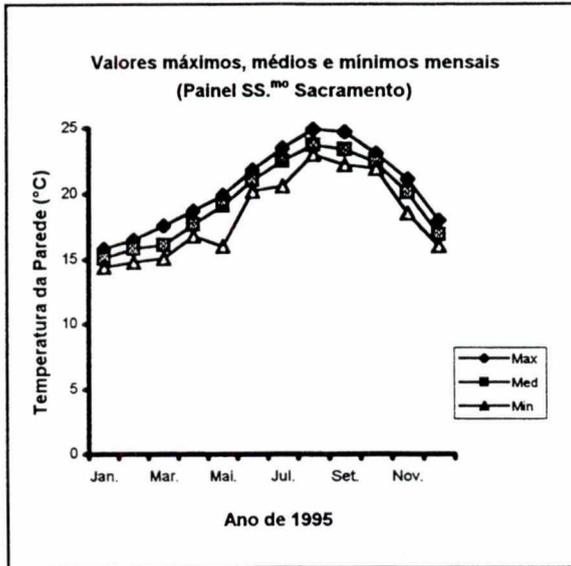


Fig.117 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

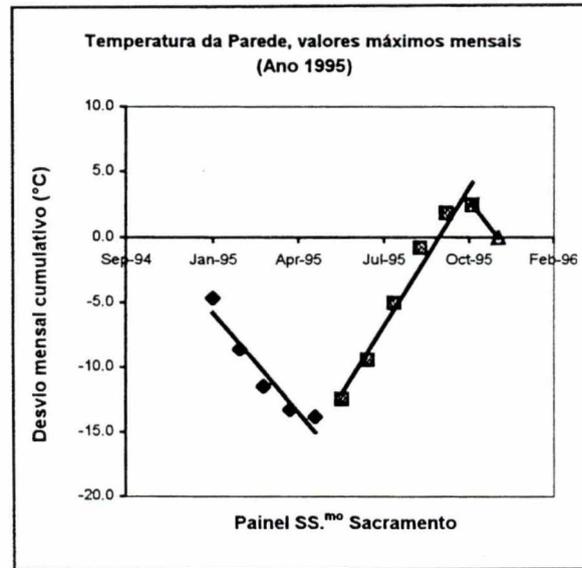


Fig.118 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

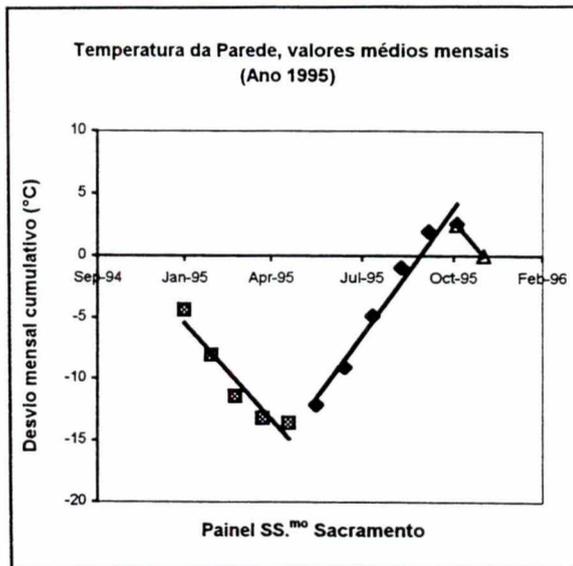


Fig.119 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

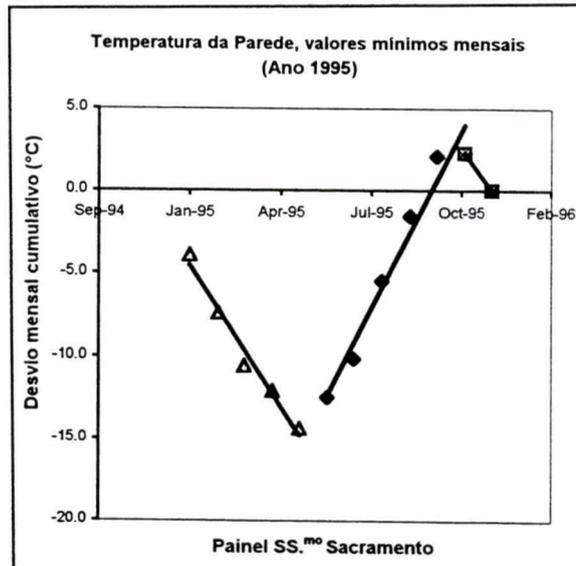


Fig.120 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

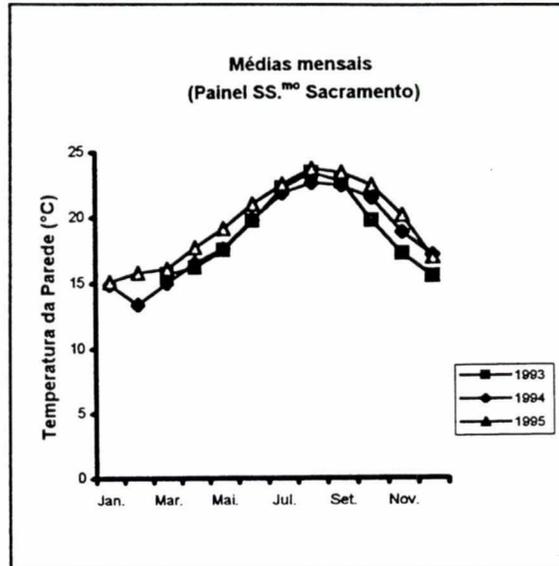


Fig.121 - Cronogramas dos valores médios mensais. Anos de 1993, 1994 e 1995.

A análise comparativa das diferentes séries climatológicas anuais, obtidas para este mesmo elemento e neste mesmo painel, permite aferir da sua flutuação anual e do conhecido efeito de autocorrelação dos elementos do clima. Para isso realizaram-se estudos de correlação e regressão linear e construíram-se cronogramas dos valores médios anuais (Figs.122 a 125) e (Quadro LXXII, Anexo V).

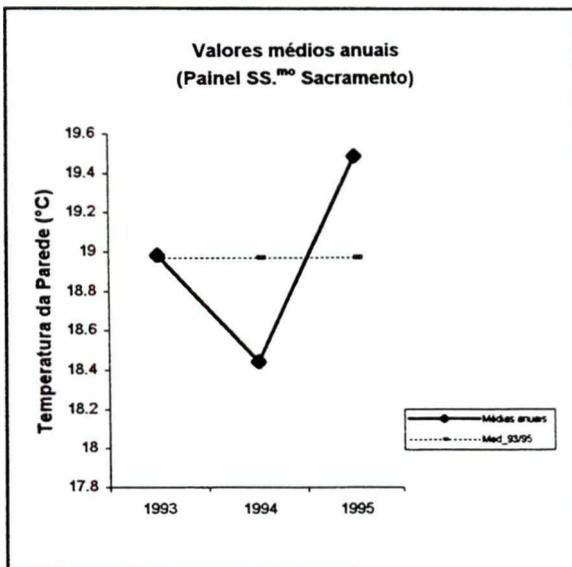


Fig.122 - Cronograma dos valores médios anuais.

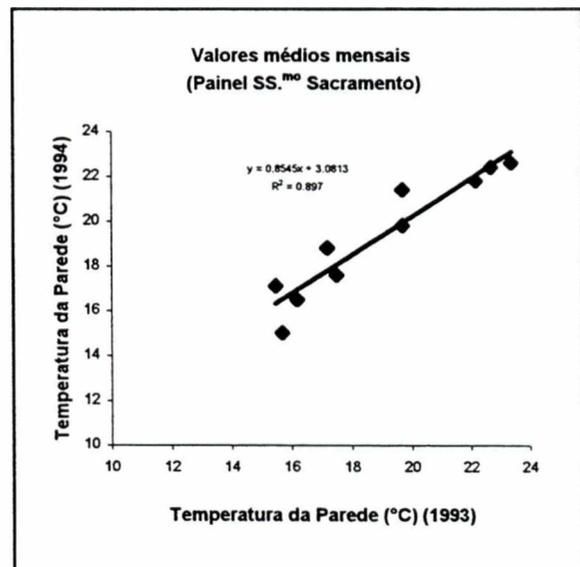


Fig.123 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1994 e de 1993.

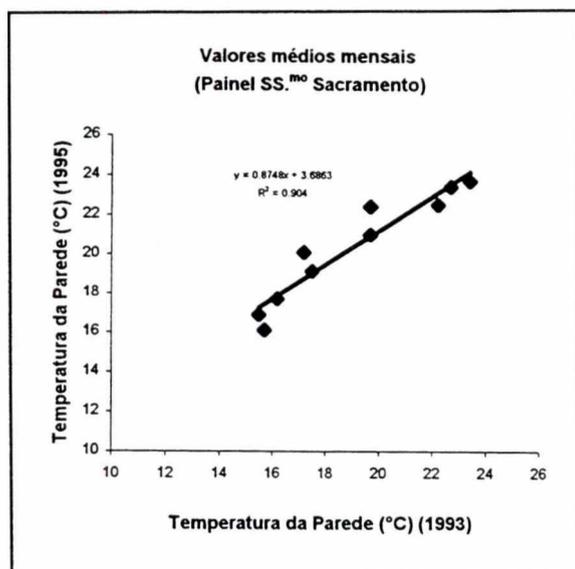


Fig.124 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1993.

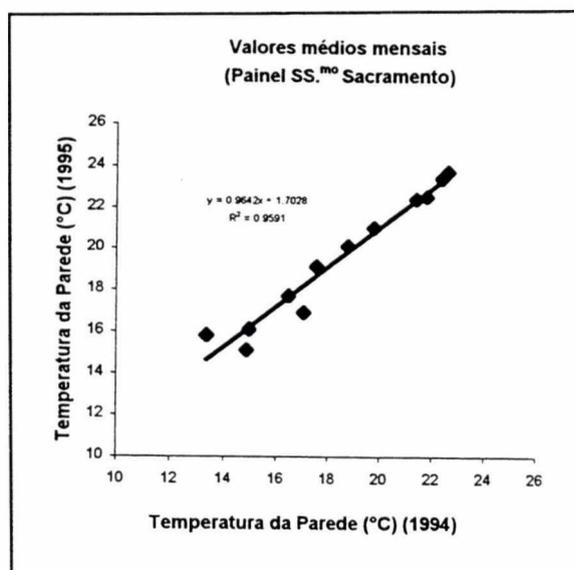


Fig.125 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1994.

O cronograma dos valores médios anuais mostra que não é visível nenhuma tendência na variação média deste elemento ao longo dos três anos de amostragem (Fig.122). Apenas a média anual de 1995 (19.5°C) se encontra acima da média a longo prazo deste elemento (média do período 1993/1995), que é, neste caso, igual a média anual de 1993 (19.0°C). As médias anuais de 1994 e 1995 encontram-se sensivelmente à igual distância da média a longo prazo (19.0°C), i.e., respectivamente a -0.6°C e 0.5°C . Estas diferenças não são significativas se tivermos em conta a precisão ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) do aparelho utilizado na medição da temperatura (*vide* página 190).

Isto deixa, por conseguinte, perceber que, em termos médios, não se verifica uma mudança drástica nas condições ambientais de um ano para o outro. Esta situação encontra-se perfeitamente traduzida nos elevados valores dos coeficientes de correlação das séries anuais (em geral, entre 0.92 e 0.98), indicando que os valores de um ano para o outro estão muito bem correlacionados (Quadro LXX, Anexo V).

Parece haver, em média, a mesma correlação (0.95) entre os anos de 1993/94 e 1993/95, apesar da pequena variação de um ano para o outro. De acordo com os respectivos valores de r^2 (sendo r o coeficiente de correlação), 0.904 e 0.897, parece poder dizer-se, todavia, que a equação de regressar linear de 1995 sobre 1993 é relativamente mais precisa

do que a equação da regressão linear de 1994 sobre 1993. O padrão da distribuição sazonal deste elemento do clima no ano de 1993 está, pois, mais próximo do padrão do ano de 1995 do que do padrão dos valores de 1994 (Figs.123 a 125).

Sublinhe-se, ainda, a maior semelhança entre os anos 1994 e 1995 (coeficiente de correlação igual a 0.98) relativamente à verificada entre 1993 e 1994 (coeficiente de correlação igual a 0.95). Também o elevado valor de r^2 (0.9591), da recta de regressão de 1995 sobre 1994, reflecte a pequeníssima variação na flutuação sazonal de um ano para o outro. Isto significa que as variações nos valores medidos no ano de 1995 são explicadas em cerca de 96% pelas variações verificadas no ano de 1994. Os valores mensais de 1994 são sempre, com excepção do valor do mês de Dezembro, acompanhados por valores superiores de 1995. Os maiores desvios no comportamento das séries destes dois anos reportam-se aos meses de Fevereiro ($\Delta T=2.4^\circ\text{C}$), Maio ($\Delta T=1.5^\circ\text{C}$) e Novembro ($\Delta T=1.3^\circ\text{C}$).

Pode dizer-se que, de maneira geral, a flutuação de ano para ano é menor que a flutuação introduzida pelo efeito sazonal, permitindo concluir que o padrão dos resultados de um determinado ano é, em muito, semelhante ao padrão dos resultados do ano anterior. Esta pequena flutuação térmica verificada de ano para ano traduz-se, também, numa pequena dispersão dos valores medidos à volta da respectiva recta de regressão e, por conseguinte, nos elevados valores de r^2 , que variam entre 0.897 e 0.9591.

As pequenas diferenças encontradas, neste caso, entre as séries anuais podem ser devidas, na sua maioria, a padrões desiguais de dados e a possíveis erros de medição.

IX.6.1.2 - TEMPERATURA DO AR ($^\circ\text{C}$)

A temperatura do ar apresenta um comportamento muito idêntico ao da temperatura da parede, constituindo dois elementos do clima fortemente correlacionados, com valores de correlação iguais a 1.00 ao longo de todo o período de amostragem. Isto verifica-se, quer para as séries globais, quer para as séries dos diferentes períodos de amostragem (vide Figs.126 a 145). A relação entre estes dois elementos do clima mantém-se invariante no tempo, o que pode também ser visto através dos diagramas de dispersão e das respectivas rectas de regressão (Figs. 143 a 145). Os elevados valores de r^2 (iguais respectivamente a 0.9998, para o ano de 1993; 0.9999, para o ano de 1994 e 0.9997, para o ano de 1995), da

regressão da temperatura do ar sobre a temperatura da parede, indicam a inexistência de diferenças significativas entre estes dois elementos do clima, que apresentam valores muito próximos e ainda uma variação sazonal muito idêntica ao longo do período da campanha.

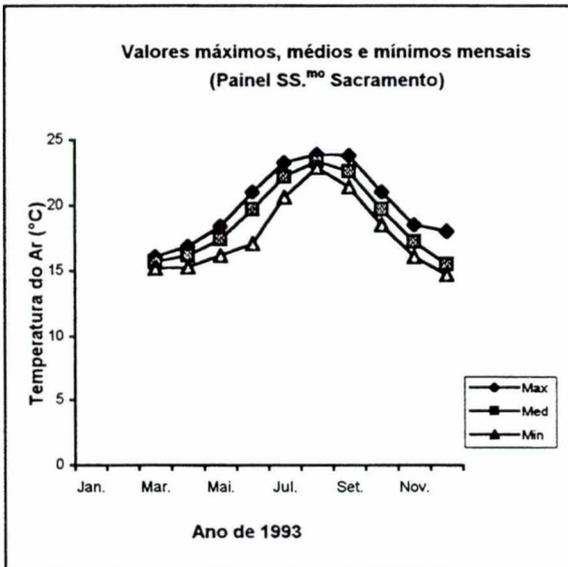


Fig.126 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

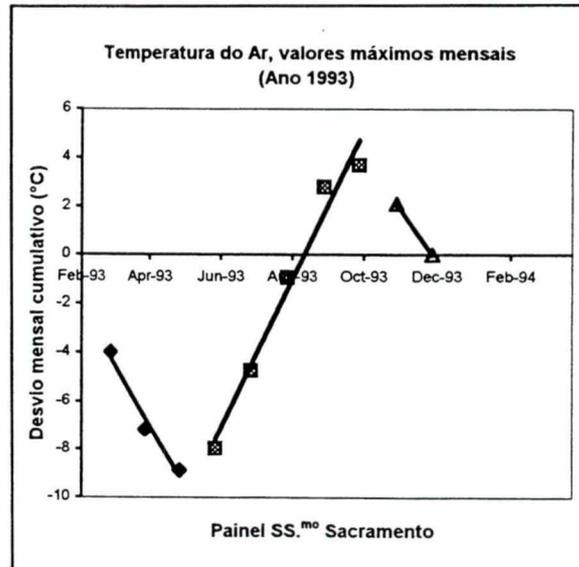


Fig.127 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

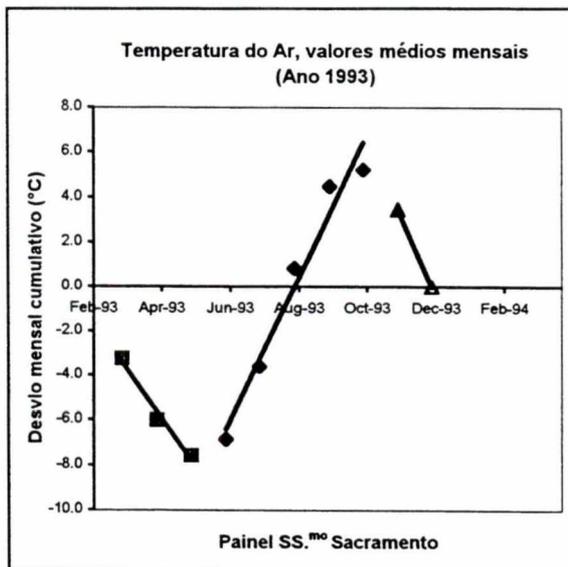


Fig.128 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

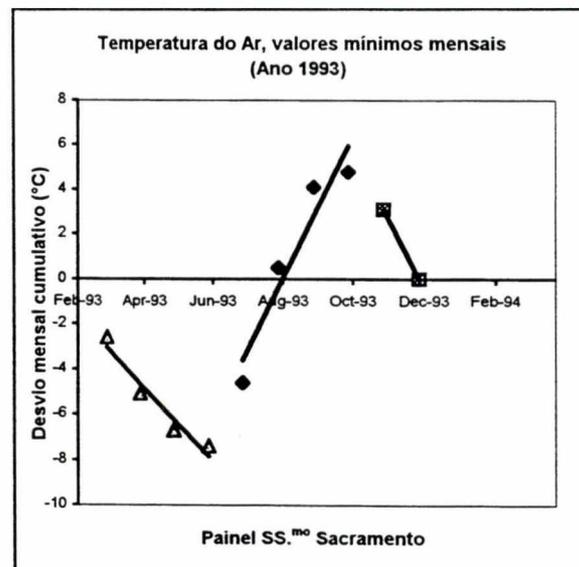


Fig.129 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

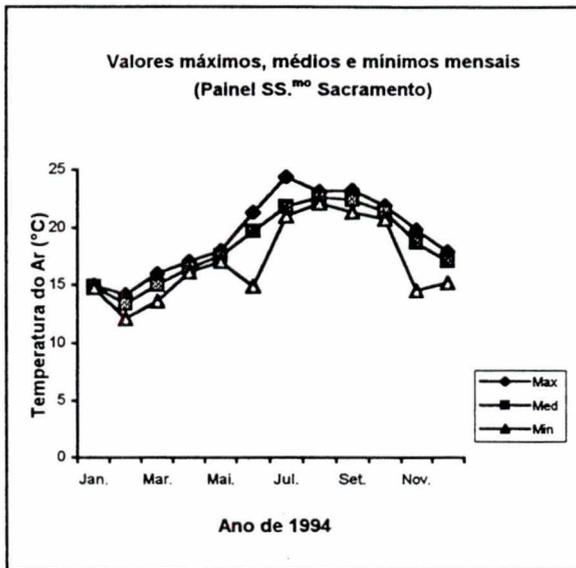


Fig.130 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

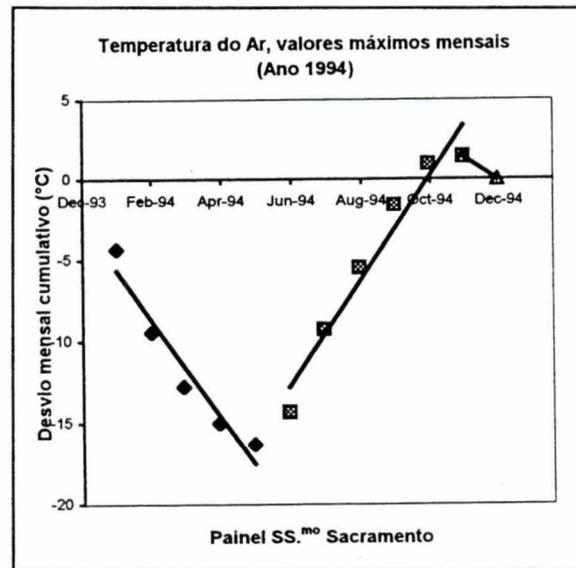


Fig.131 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

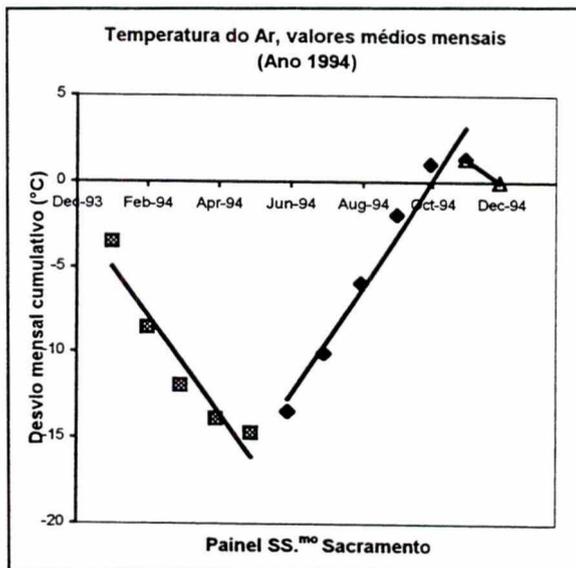


Fig.132 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

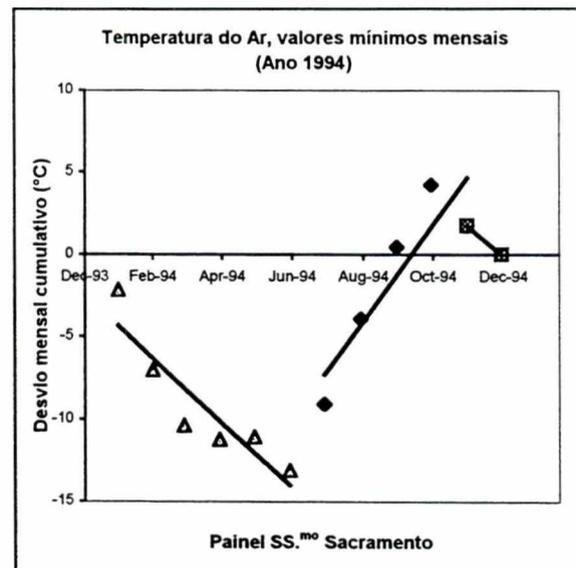


Fig.133 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

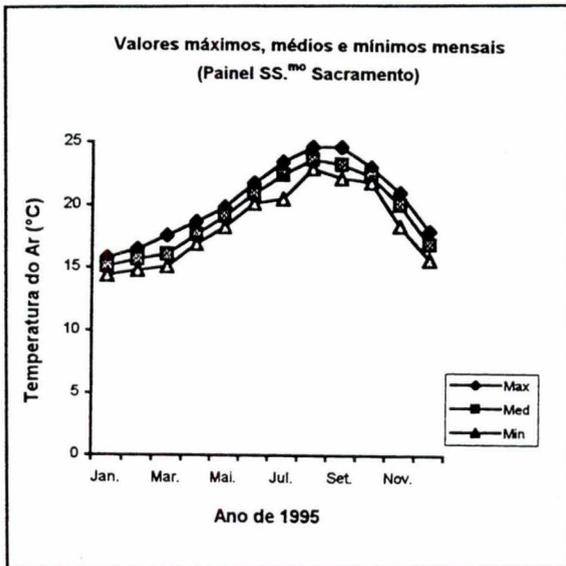


Fig.134 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

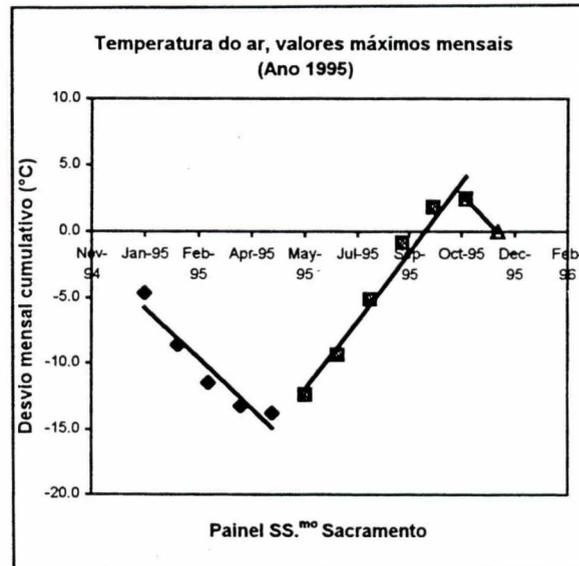


Fig.135 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

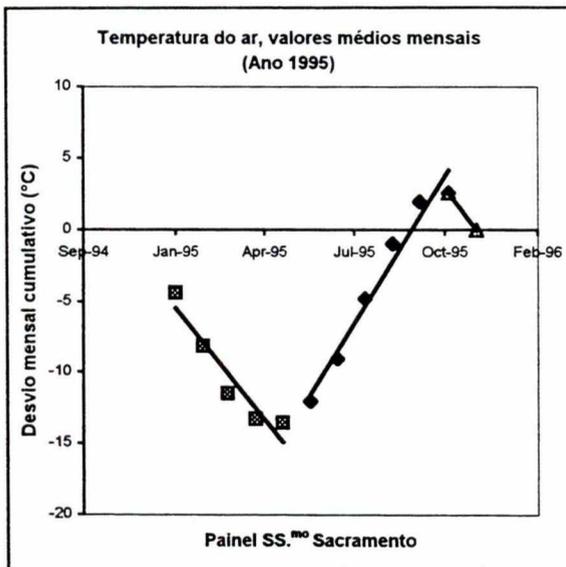


Fig.136 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

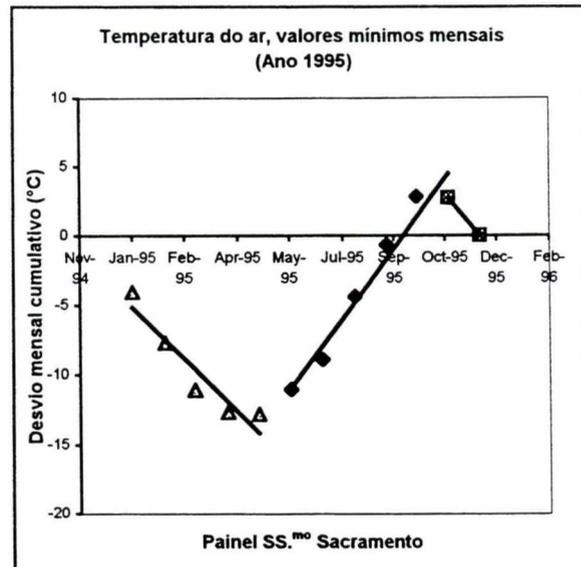


Fig.137 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

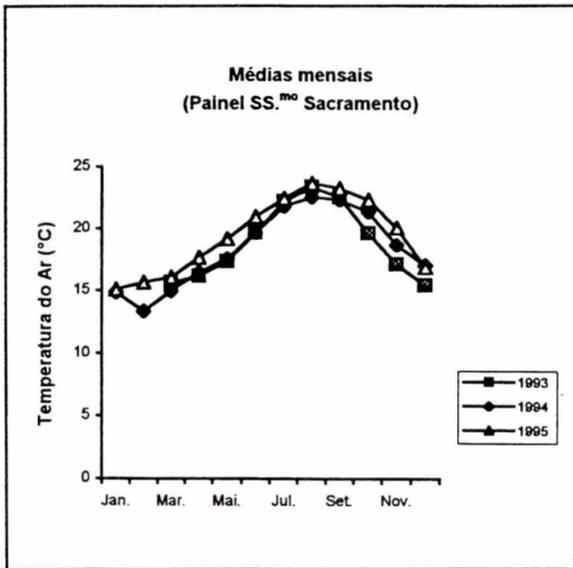


Fig.138 - Cronogramas dos valores médios mensais. Anos de 1993, 1994 e 1995.

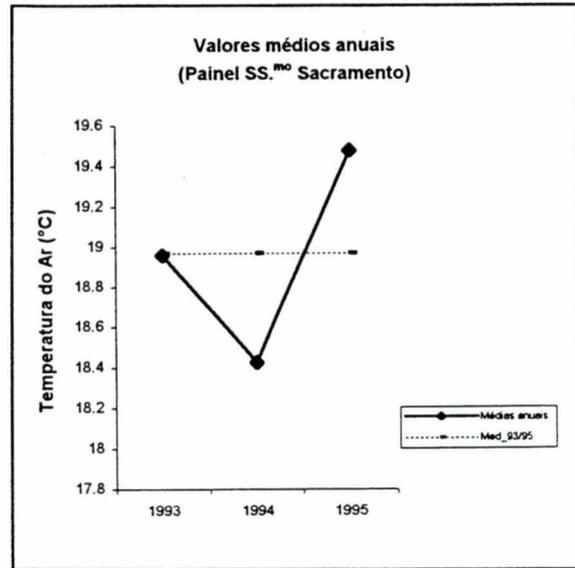


Fig.139 - Cronograma dos valores médios anuais.

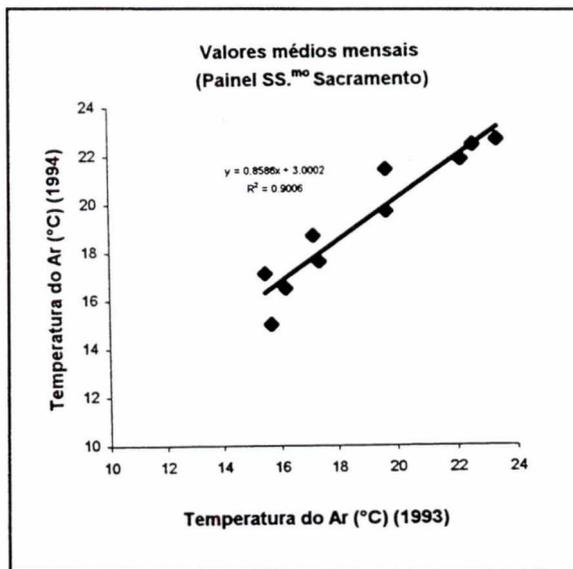


Fig.140 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1994 e de 1993.

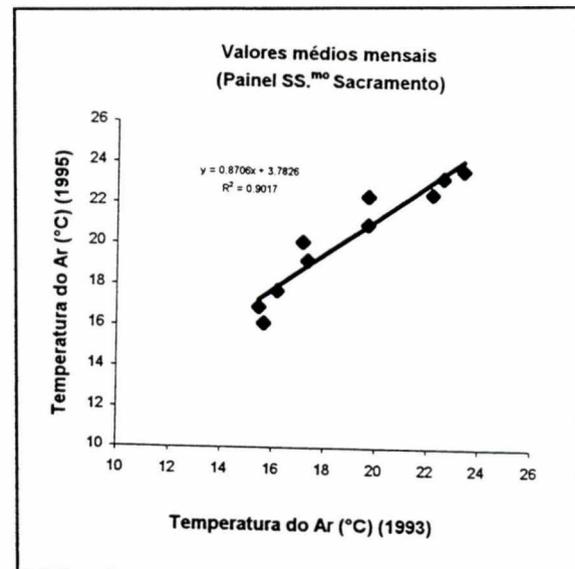


Fig.141 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1993.

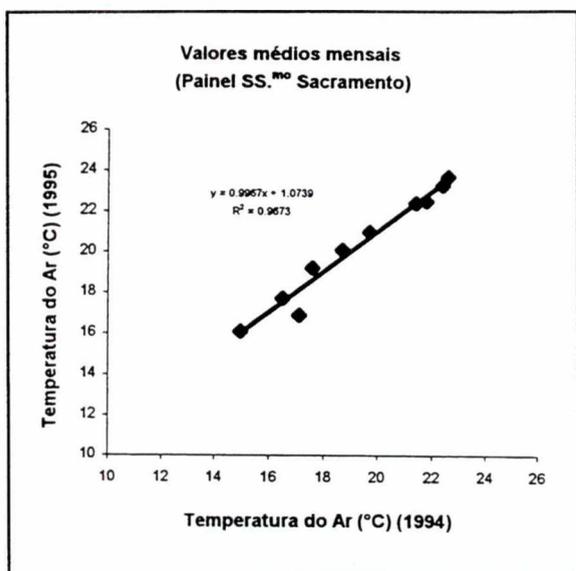


Fig.142 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1994.

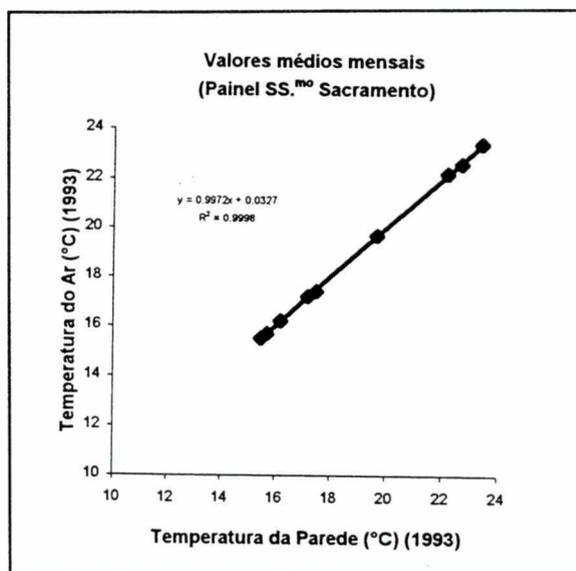


Fig.143 - Diagrama de dispersão: temperatura do ar (1993) e temperatura da parede (1993).

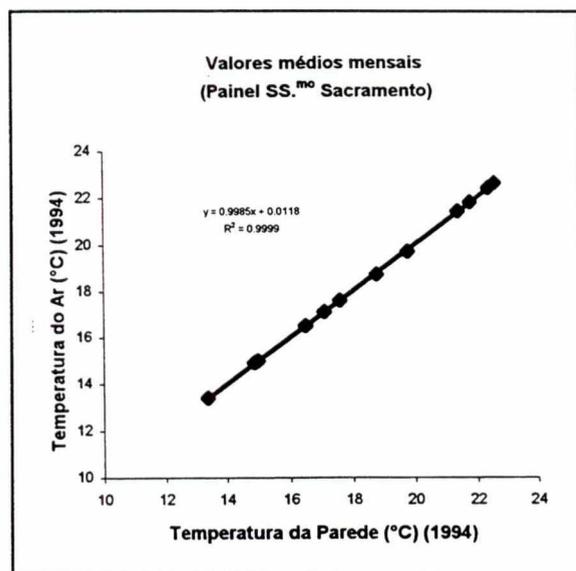


Fig.144 - Diagrama de dispersão: temperatura do ar (1994) e temperatura da parede (1994).

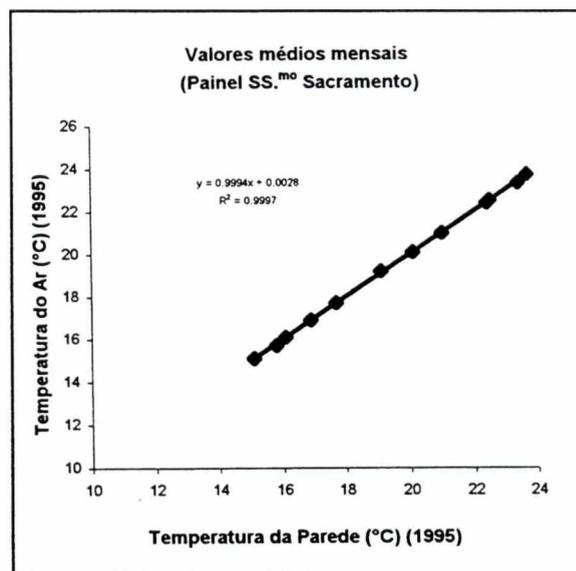


Fig.145 - Diagrama de dispersão: temperatura do ar (1995) e temperatura da parede (1995).

IX.6.1.3 - TEMPERATURA HÚMIDA (°C)

A variação sazonal deste elemento do clima ao longo do período de amostragem, não parece ser tão marcada como a dos outros dois elementos anteriores (Fig.146). Os valores mais elevados, entre 19.1°C e 19.8°C, registaram-se, no ano de 1993, nos meses de Julho, Agosto e Setembro. São também estes os meses em que as temperaturas do ar e da parede apresentam os maiores valores. O valor mais baixo nesse ano, próximo dos 9.7°C, foi registado no mês de Março.

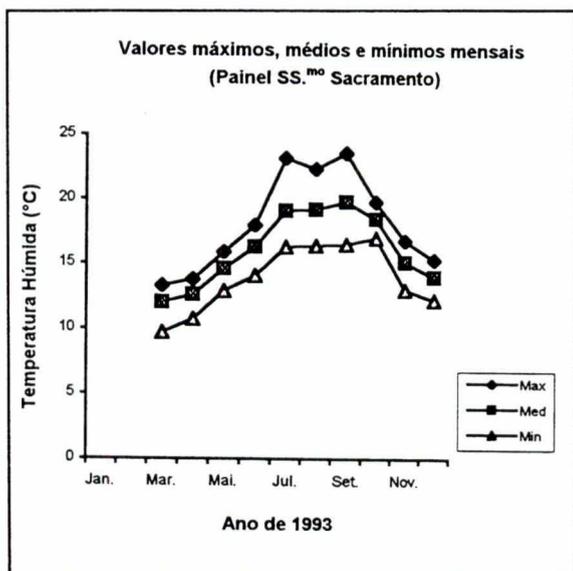


Fig.146 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

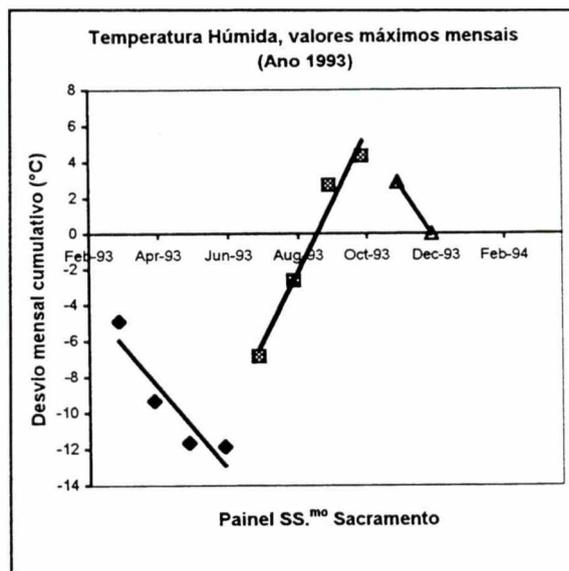


Fig.147 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

Os meses de maior instabilidade foram, em 1993, os meses de Julho e Setembro, em que se observaram os maiores afastamentos, respectivamente 6.9°C e 7.1°C, entre os valores máximos e mínimos mensais.

No caso deste elemento do clima, não se verifica a elevada correlação, entre as diferentes séries constituídas, respectivamente, pelos seus valores máximos, médios e mínimos mensais, encontrada para os elementos do clima anteriormente analisados. Neste caso, enquanto os valores máximos e médios mensais crescem apenas de Março a Setembro, i.e., durante a Primavera e o Verão, para os valores mínimos este crescimento ou tendência verifica-se até Outubro. Isto significa que a mudança de estação do Verão para o Outono começa por afectar primeiro os valores máximos mensais.

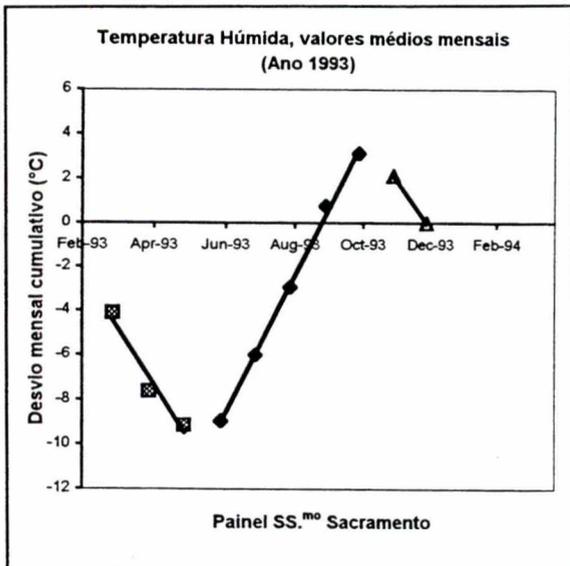


Fig.148 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

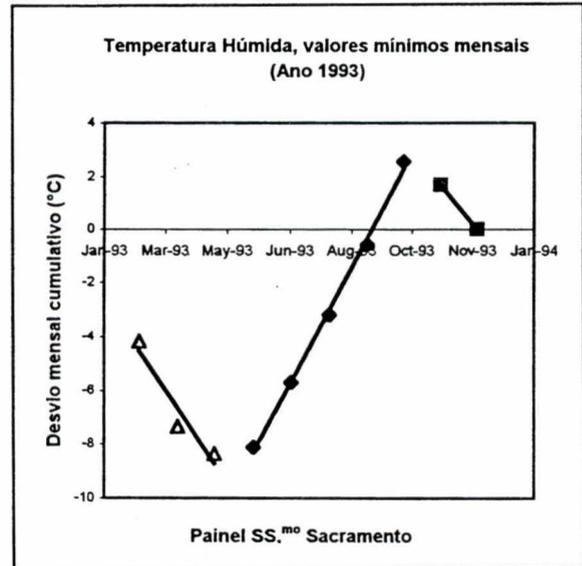


Fig.149 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

São, também, os valores máximos que apresentam uma maior dispersão à volta do seu valor médio anual.

A amplitude térmica anual, calculada como a diferença entre os valores médios mensais de Setembro (19.8°C) e Março (12.0°C), é igual a 7.8°C e difere em cerca de 6.1°C da que seria calculada pela diferença entre o máximo e o mínimo anual.

Cerca de 50% dos meses continuam a ter valores máximos, médios e mínimos, abaixo ou acima das respectivas médias anuais.

A variação sazonal é, em geral, caracterizada por um padrão semelhante em muito ao encontrado para os dois elementos do clima já analisados. O padrão subjacente é constituído por dois períodos frios com declive praticamente igual, que delimitam um período mais quente que se estende entre os meses de Junho e Outubro (Figs.147 a 149). Importa, contudo, dizer que para este elemento do clima é marcada a diferença entre o comportamento dos valores máximos mensais e o das séries dos valores médios e mínimos mensais. Para as séries dos valores máximos mensais, o período de valores mais altos que a respectiva média anual limita-se aos meses de Julho e Outubro (i.e., praticamente à estação do Verão), e nele verificam-se variações acentuadas desses valores. Relativamente às séries dos valores médios e mínimos mensais, estas variam mais lentamente ao longo de todo o ano, aproximando-se, no Outono, muito das respectivas médias anuais. Para o ano de 1994, os gráficos dos desvios

mensais cumulativos em relação à média anual, em função do tempo, deixa perceber, que para a temperatura húmida, existe um padrão em tudo idêntico ao encontrado para o ano de 1993 (Figs.150 a 153). No ano de 1995 há a sublinhar, relativamente aos anos anteriores, o comportamento muito diferenciado da série constituída pelos valores máximos mensais deste elemento do clima (Figs.154 a 158). Esta parece evidenciar menor flutuação ao longo do ano do que as séries constituídas pelos valores médios e mínimos mensais. Além disso, o primeiro período seco (período constituído pelos meses em que os valores mensais estão abaixo da média anual) é muito longo e de variação suave, estendendo-se entre os meses de Janeiro e Agosto desse ano.

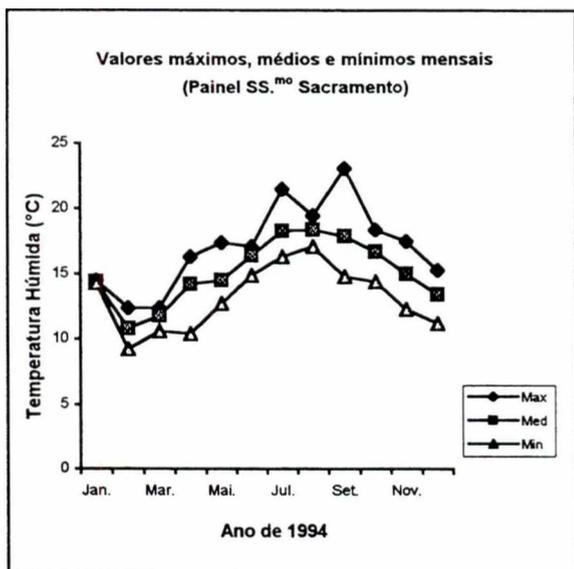


Fig.150 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

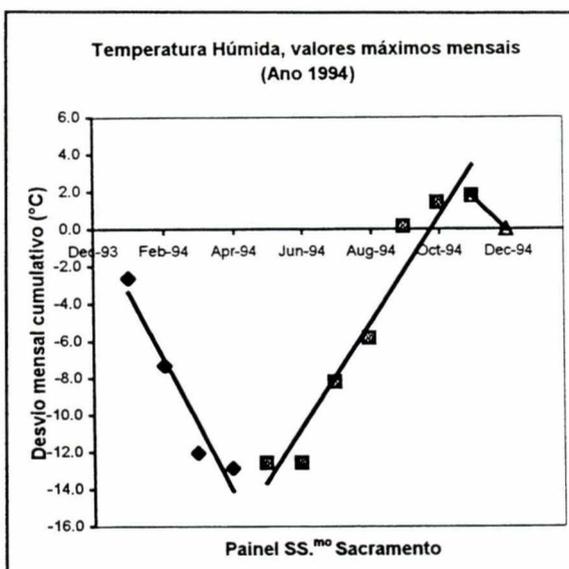


Fig.151 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

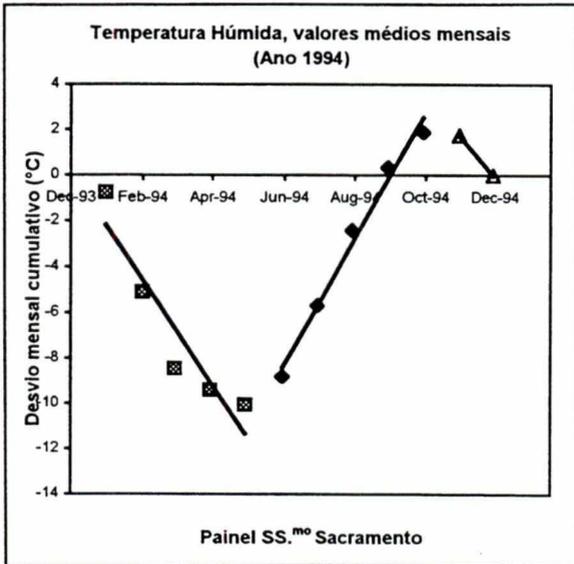


Fig.152 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

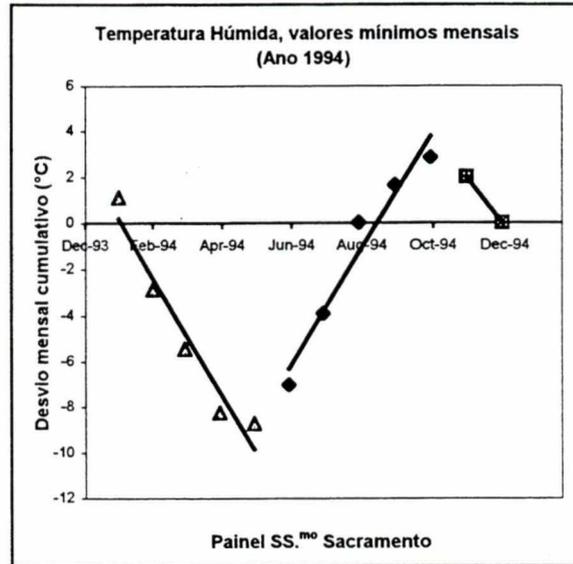


Fig.153 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

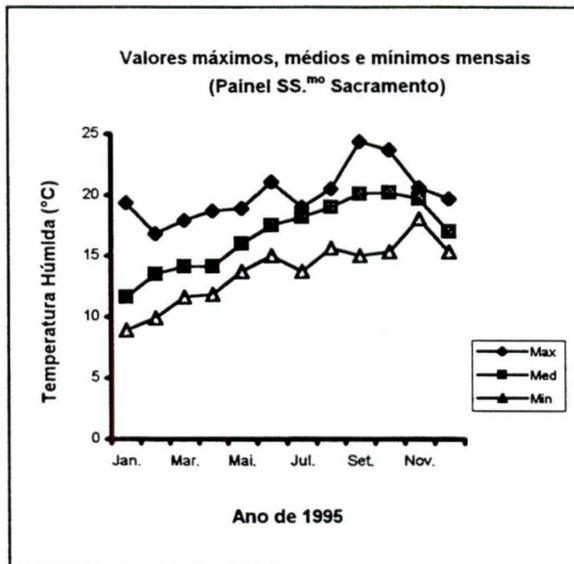


Fig.154 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

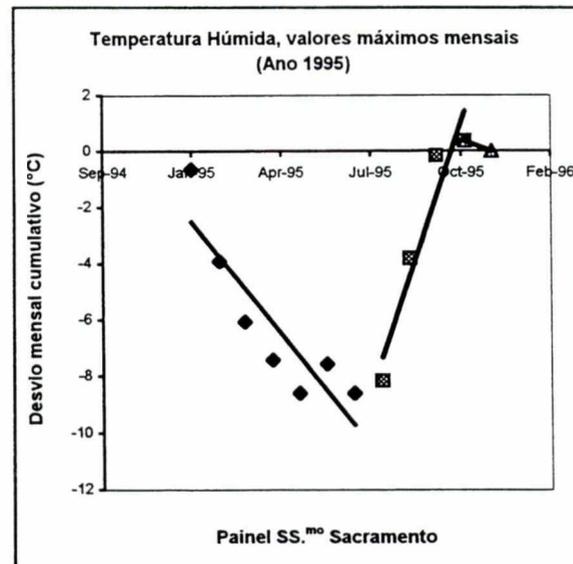


Fig.155 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

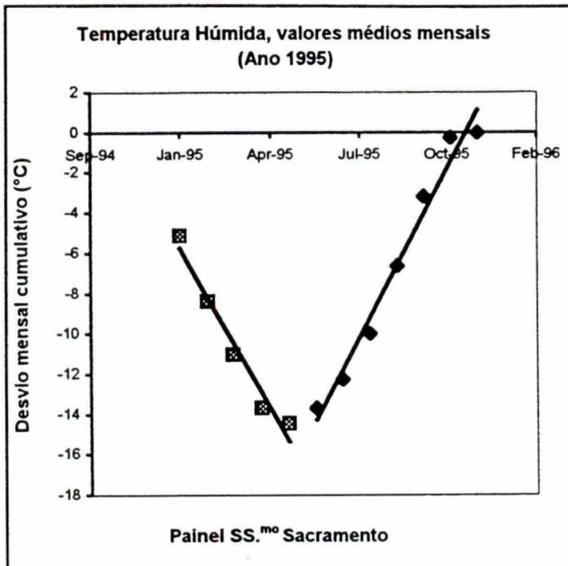


Fig.156 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

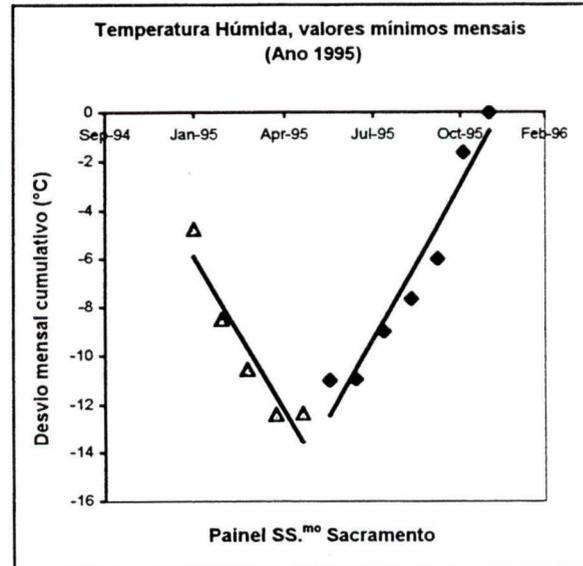


Fig.157 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

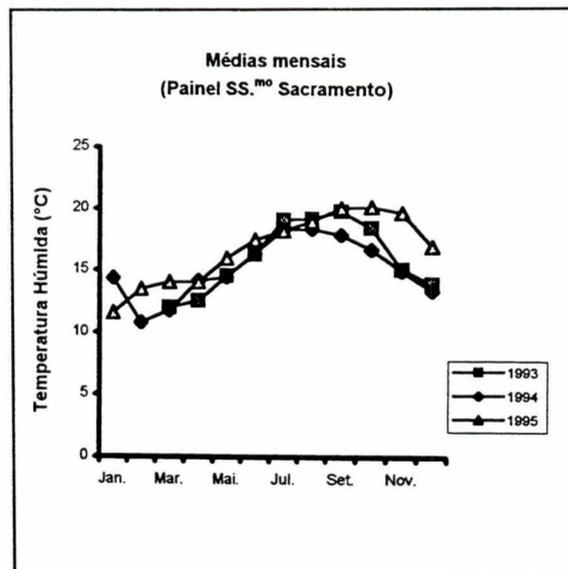


Fig.158 - Cronogramas dos valores médios mensais. Anos de 1993, 1994 e 1995.

Atendendo à Fig.159, que nos dá a variação no tempo das médias anuais deste elemento do clima, verificamos que não é visível nenhuma tendência na variação média deste elemento ao longo dos três anos de amostragem. A média anual de 1993 é a que menos difere (0.1°C) da média a longo prazo deste elemento (média no período 1993/95), enquanto que as de 1994 e 1995, situando-se abaixo e acima, diferem daquela, respectivamente, -0.8°C e 0.8°C.

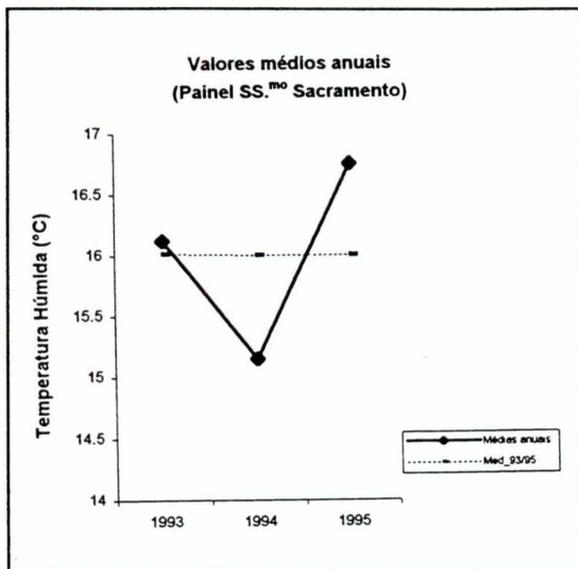


Fig.159 - Cronograma dos valores médios anuais.

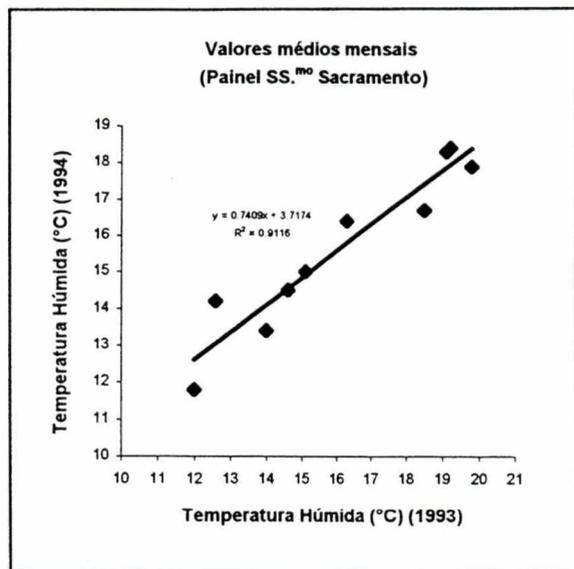


Fig.160 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1994 e de 1993.

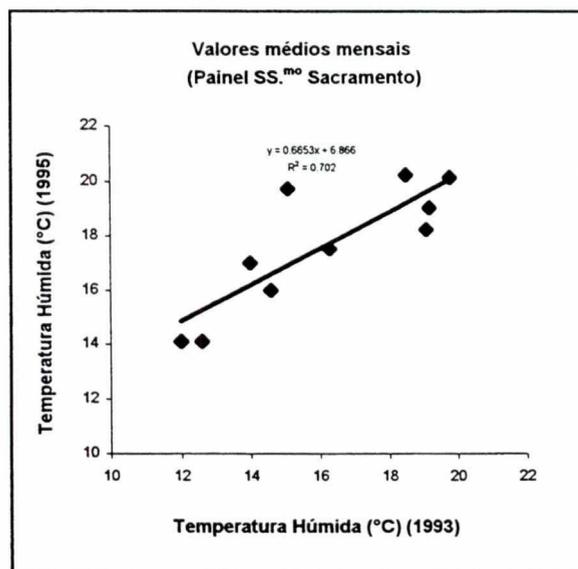


Fig.161 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1993.

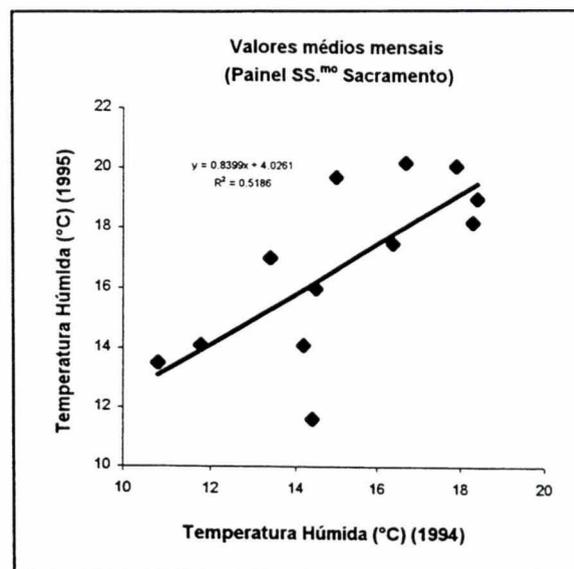


Fig.162 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1994.

A correlação entre as séries obtidas para os diferentes anos de amostragem, não é tão boa para este elemento do clima, como a verificada para os elementos anteriores, registando-se valores do coeficiente de correlação entre 0.38 e 0.96. A qualidade da correlação depende do tipo de parâmetro posto em jogo, aparecendo melhor correlacionadas as séries constituídas pelos valores médios mensais, como aliás seria de esperar, com valores entre 0.72 e 0.96.

Curioso notar que, na generalidade, as correlações entre os valores dos anos 1994 e 1995 são ainda mais baixas do que as encontradas entre os valores de 1993 e 1995, separados de dois anos. A pior correlação (0.38) registou-se para as séries dos mínimos mensais dos anos 1994 e 1995. As correlações entre as séries dos valores mínimos mensais, são efectivamente aquelas que apresentam maior dispersão dos valores dos coeficientes de correlação, i.e. valores que variam entre 0.38 e 0.90.

Relativamente aos casos anteriores, a menor correlação verificada neste caso emerge clara da análise dos diagramas de dispersão e respectivas rectas de regressão (Figs.160 a 162). Quanto maior a dispersão dos valores de um ano para o outro, menor o valor de r^2 da recta de regressão. Este valor é, pois, igual a 0.702 para a regressão de 1995 sobre 1993 e 0.5186 para a regressão de 1995 sobre 1994. Entre estes dois anos, 75% dos valores diferem entre 1.1°C e 4.7°C.

IX.6.1.4 - TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (°C)

Este elemento do clima apresenta um comportamento muito idêntico ao da temperatura húmida. Todavia, relativamente aos elementos do clima já analisados, este evidencia um maior desfazamento entre os valores máximos e mínimos mensais (Fig.163). Para o ano de 1993, os meses de Julho e Setembro, com amplitudes mensais, respectivamente iguais a 9.8°C e 10.5°C, aparecem como os meses de maior flutuação mensal, e delimitam um período de relativa estabilidade. Face à tendência observada no Verão, o valor máximo registado para o mês de Agosto (22.0°C) é mais baixo do que deveria esperar-se.

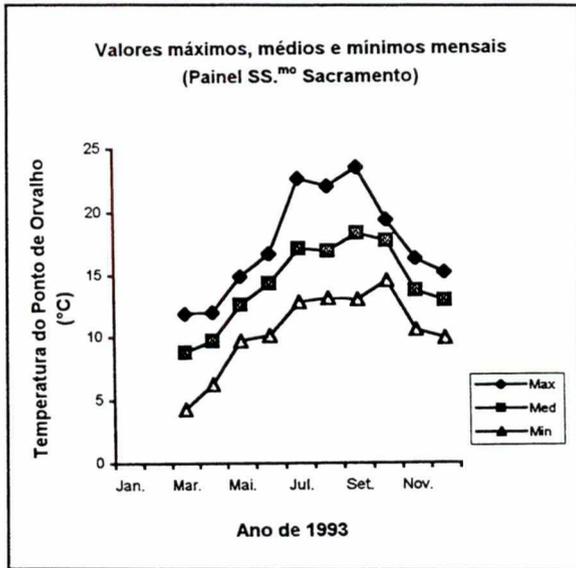


Fig.163 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

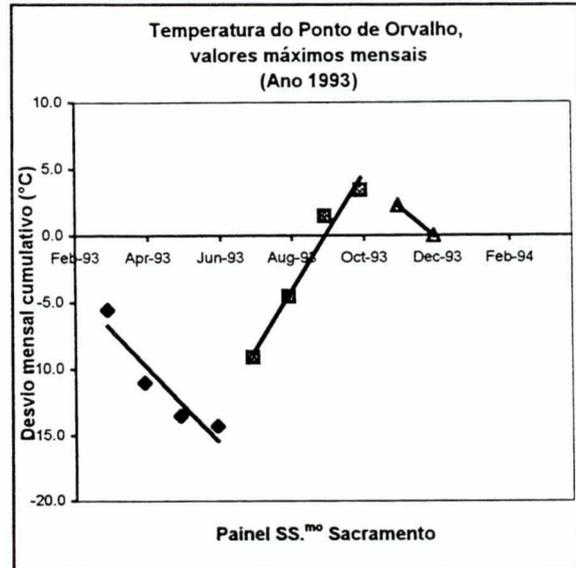


Fig.164 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

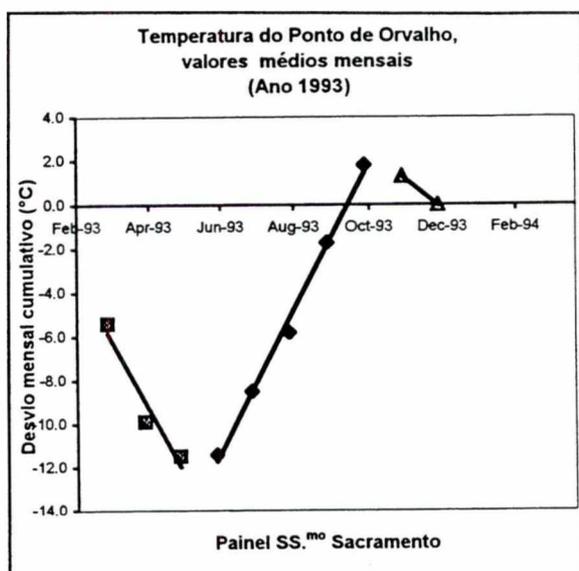


Fig.165 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

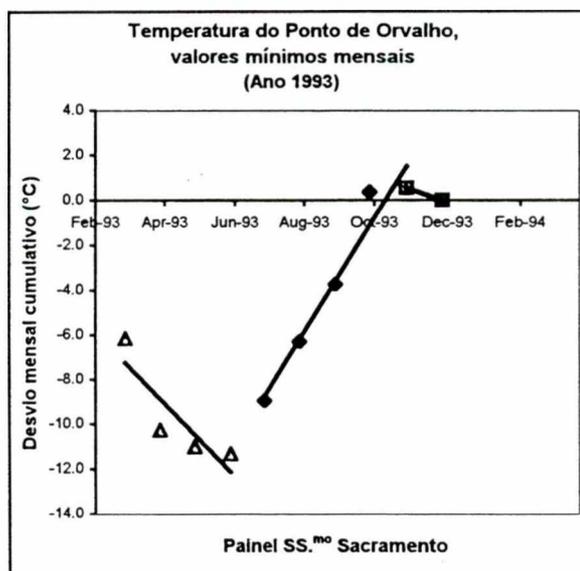


Fig.166 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

Verifica-se, ainda, que as mudanças das estações climáticas marcadas por variações, por vezes, acentuadas nos parâmetros, afectam sobretudo os valores máximos deste elemento do clima. A oscilação, ao longo do ano, deste elemento do clima é muito acentuada, com valores mais altos nos meses de Verão (entre 20.0°C e 23.5°C) e mais baixos no mês de Março (4.3°C).

A amplitude térmica anual, calculada como a diferença entre os valores médios mensais de Setembro (18.3°C) e Março (8.8°C), é igual a 9.5°C e difere em cerca de 9.7°C da que seria calculada pela diferença entre o máximo e o mínimo anual.

Cerca de 50% dos meses continuam a ter valores máximos, médios e mínimos, abaixo ou acima das respectivas médias anuais (Figs.163 a 166 e Quadros LV A LXX, Anexo III). A variabilidade sazonal é, em geral, caracterizada por um padrão em muito semelhante ao verificado para às temperaturas da parede, do ar e húmida (Figs.164 a 166). Tal como foi sublinhado para a temperatura húmida, aqui é, também, marcada a diferença entre o comportamento dos valores máximos mensais e o das séries dos valores médios e mínimos mensais. Para as séries dos valores máximos mensais, o período de valores mais altos que a respectiva média anual limita-se aos meses de Julho e Outubro (i.e., praticamente à estação do Verão), e nele verificam-se variações acentuadas desses valores. Relativamente às séries dos valores médios e mínimos mensais, estas variam mais lentamente ao longo de todo o ano,

aproximando-se muito, no Outono, das respectivas médias anuais. No ano de 1994, a diferença de comportamento entre as séries dos valores máximos e mínimos mensais é mais notória do que nos casos dos elementos anteriores. Por exemplo, enquanto o período de menor perturbação para os mínimos se verifica entre os meses de Agosto e Novembro (Fig.170), para os valores máximos este regista-se entre os meses de Março e Junho (Fig.168). No entanto, é possível a definição de um padrão geral subjacente a estas duas séries, distinto do verificado no ano de 1993, em que se pode destacar a existência de quatro períodos de mudança de tendência (Figs.167 a 170). Para a série dos valores máximos temos, por exemplo, um primeiro período, entre Janeiro e Março, seco (de declive negativo, o que implica valores inferiores à média anual), um segundo período, entre Março e Junho, de grande estabilidade (de declive nulo, em que os valores estabilizaram à volta da média anual), um terceiro período, entre Junho e Novembro, em que os valores se mantêm mais altos do que a média anual (de declive positivo), e, finalmente, um quarto período, entre Novembro e Dezembro (de declive idêntico ao primeiro). Para o ano de 1995, há a sublinhar, relativamente aos anos anteriores, o comportamento, muito diferenciado da série constituída pelos valores máximos mensais deste elemento do clima (Figs.171 a 174). Esta parece evidenciar menor flutuação ao longo do ano do que as séries constituídas pelos valores médios e mínimos mensais. Além disso, o primeiro período seco (período constituído pelos meses com valores mensais abaixo da média anual) é muito longo e de variação suave, estendendo-se entre os meses de Janeiro e Agosto desse ano. Para a temperatura do ponto de orvalho, pode mesmo falar-se na existência de apenas um período seco. Aliás, com exceção da série dos valores mínimos mensais da temperatura do ponto de orvalho, as restantes séries deixam antever a existência de apenas dois períodos: um curto período seco, entre os meses de Janeiro e Maio, e outro mais húmido, entre Junho e Dezembro. Por sua vez, o padrão subjacente às séries dos valores mínimos mensais da temperatura do ponto de orvalho, parece indicar a existência de alternância de períodos secos/períodos húmidos, em que o segundo período seco é menos longo que o primeiro e se estende apenas entre os meses de Agosto e Outubro, e, ainda, a presença de dois períodos húmidos praticamente iguais.

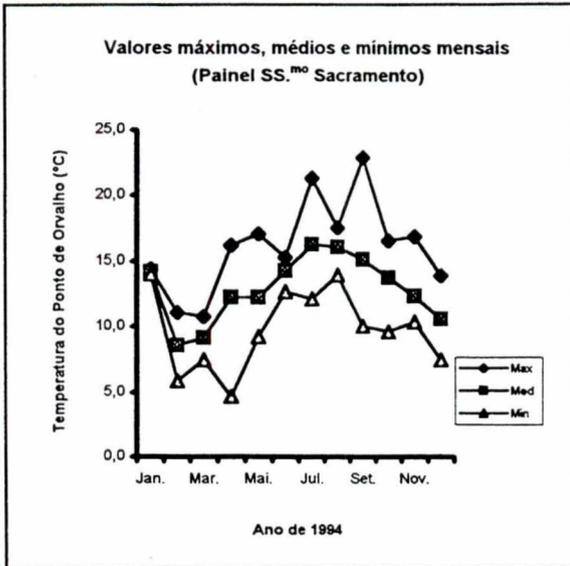


Fig.167 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

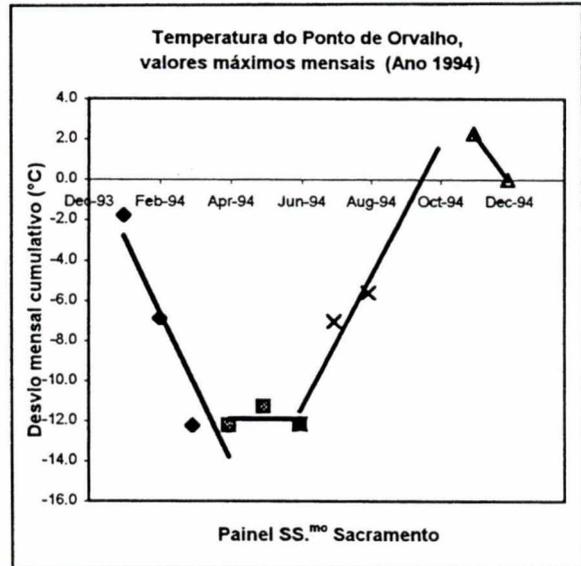


Fig.168 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

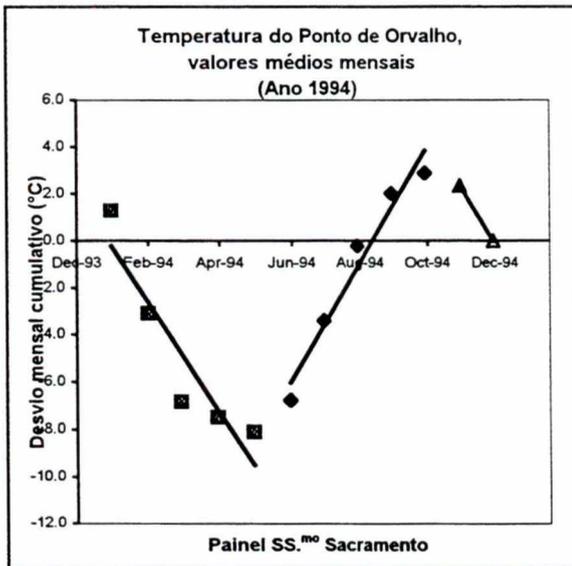


Fig.169 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

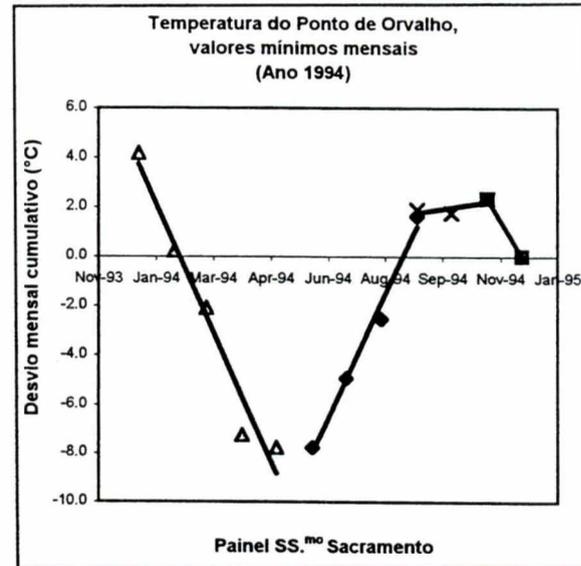


Fig.170 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

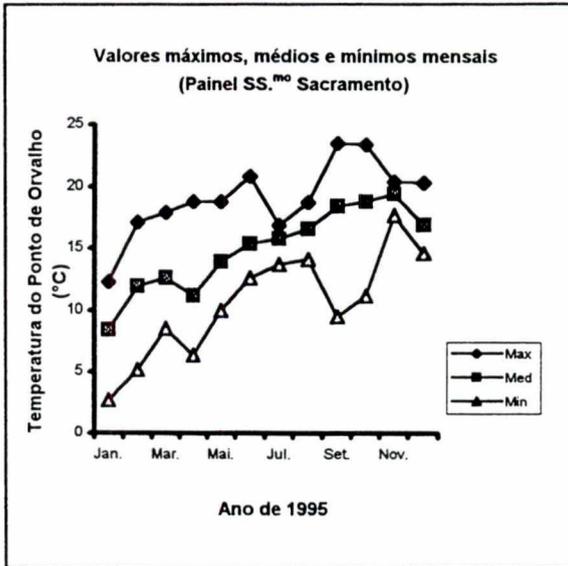


Fig.171 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

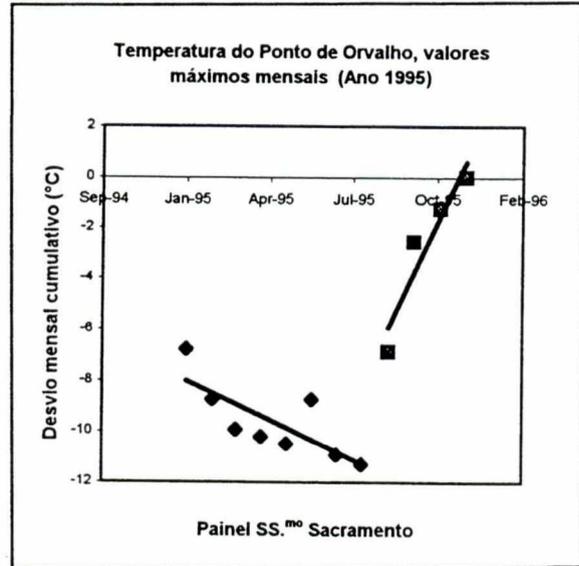


Fig.172 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

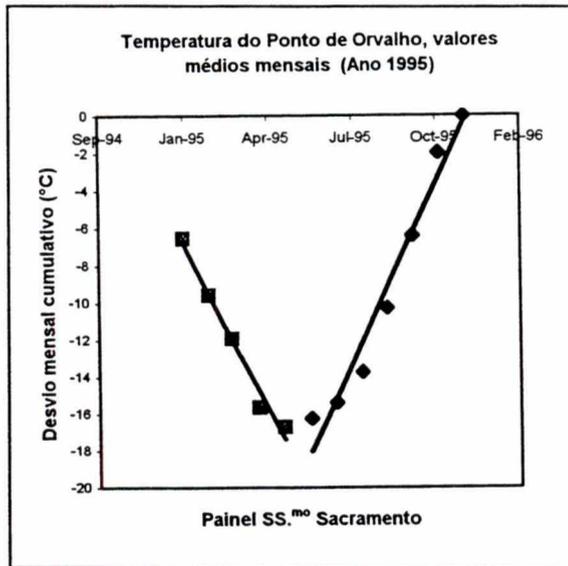


Fig.173 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

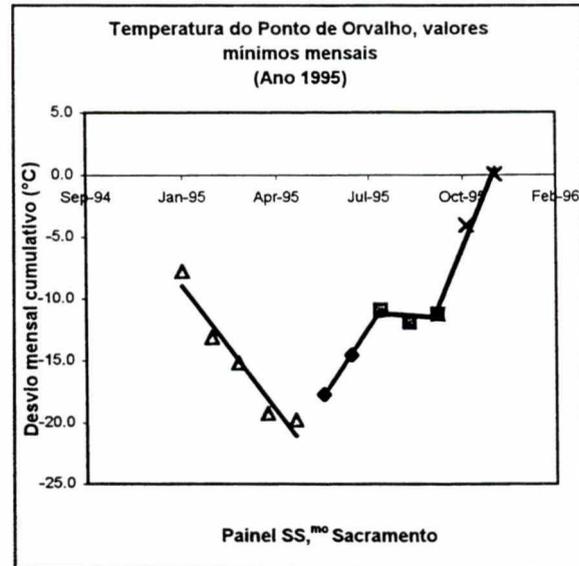


Fig.174 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

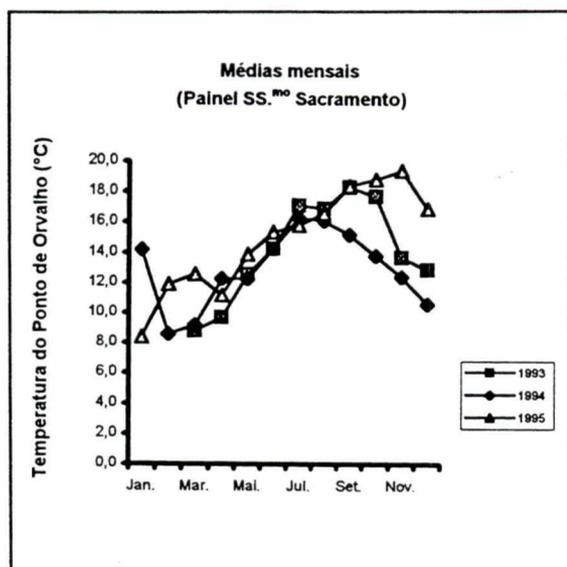


Fig.175 - Cronogramas dos valores médios mensais. Anos de 1993, 1994 e 1995.

Comparando os valores médios anuais, não se vê, para o período da campanha (três anos), nenhuma tendência na variação de um ano para o outro deste elemento do clima (Figs.175 e 176). A flutuação de ano para ano é, todavia, menor que a flutuação introduzida pelo efeito sazonal. A média anual de 1993 é a que menos difere (0.2°C) da média a longo prazo deste elemento (14.0°C) (média do período 1993/95) (Fig.176). As médias de 1994 e 1995, situando-se abaixo e acima, diferem daquela, respectivamente, -1.1°C e 0.9°C.

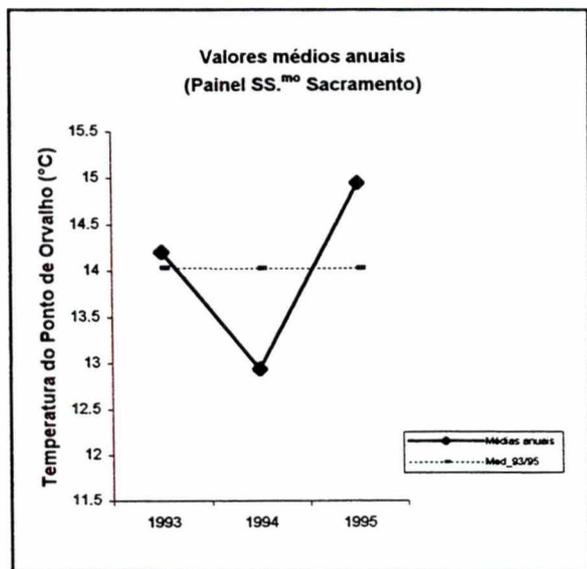


Fig.176 - Cronograma dos valores médios anuais.

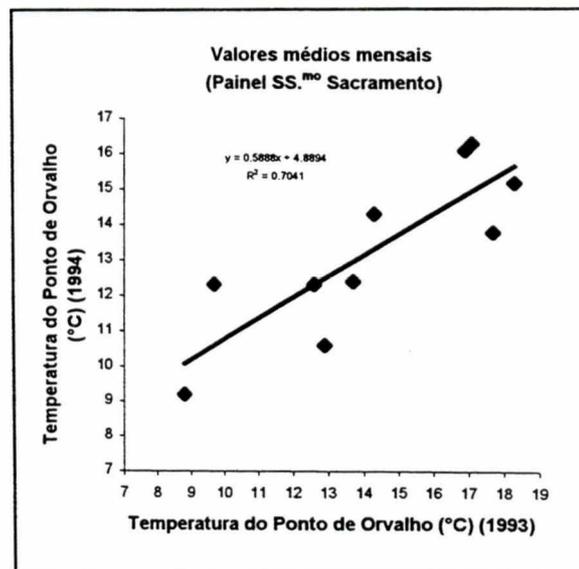


Fig.177 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1994 e de 1993.

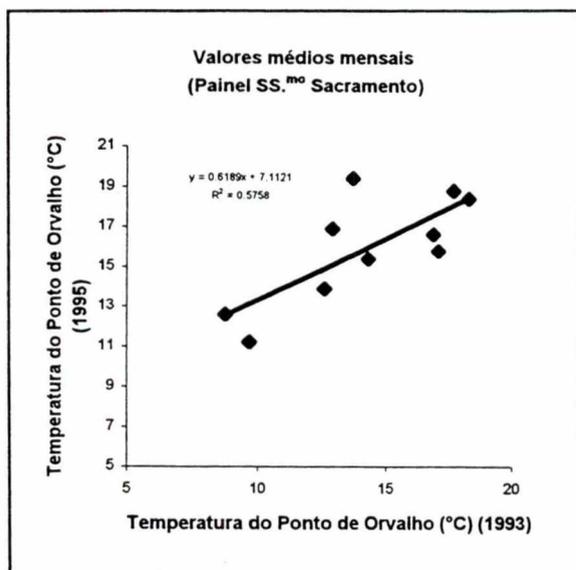


Fig.178 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1993.

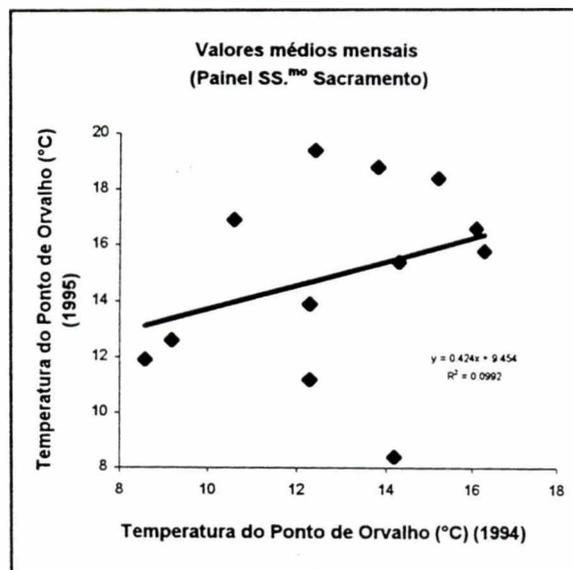


Fig.179 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1994.

Tal como verificado para o caso da temperatura húmida, aqui também a correlação entre as séries obtidas para os diferentes anos de amostragem não é tão boa, com valores do coeficiente de correlação variando entre 0.25 e 0.84. Esta grande dispersão de valores dos coeficientes de correlação poderá ter como explicação possível, as elevadas exigências operacionais do aparelho de medição. As séries melhor correlacionadas são as constituídas pelos valores médios mensais, como aliás seria de esperar, com valores entre 0.84 e 0.31. Nota-se, novamente, que a correlação mais baixa se verifica entre os valores dos anos 1994 e 1995. Estes valores são, em geral, ainda mais baixos do que os encontrados para as correlações entre os valores de 1993 e 1995, separados de dois anos. A pior correlação (0.25) foi obtida para as séries dos mínimos mensais dos anos 1994 e 1995, significando padrões microclimáticos diferentes.

A menor correlação verificada neste caso emerge claramente da análise dos diagramas de dispersão e respectivas rectas de regressão (Figs.177 a 179). Os valores de r^2 variam entre 0.7041, para a regressão de 1994 sobre 1993; 0.5758, para a regressão de 1995 sobre 1993, e 0.0992, para a regressão de 1995 sobre 1994. Tal como se pode ver no respectivo diagrama de dispersão, este último valor, muito baixo, reflete a grande dispersão de valores deste elemento do clima de um ano para o outro, com diferenças entre 0.5°C e 8.4°C para os pares de valores. Os meses de maior desvio no comportamento destas duas séries são os meses de

Outono-Inverno (respectivamente, Outubro, Novembro, Dezembro e Janeiro), com diferenças entre 5.8°C e 7.0°C para os pares de valores.

IX.6.1.5 - HUMIDADE RELATIVA (%)

Apesar do efeito sazonal, a variação da humidade relativa ao longo do ano de 1993 não é tão pronunciada, sendo o valor mais alto (99.9%) registado nos meses de Julho e Setembro e o mais baixo (46.5%) no mês de Março (Fig.180). A média anual foi de 74.7%.

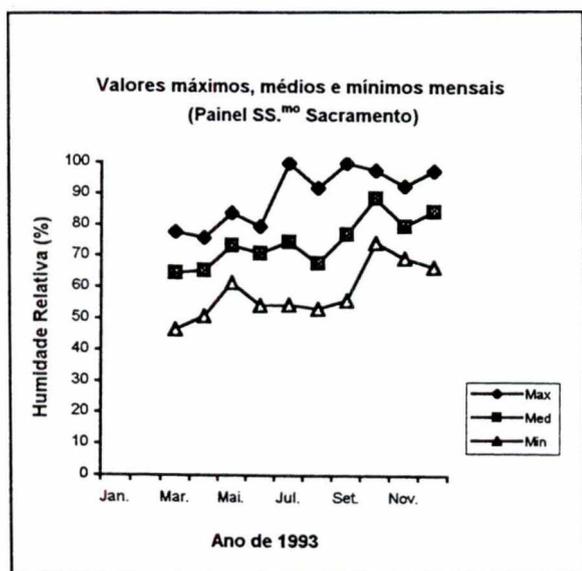


Fig.180 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

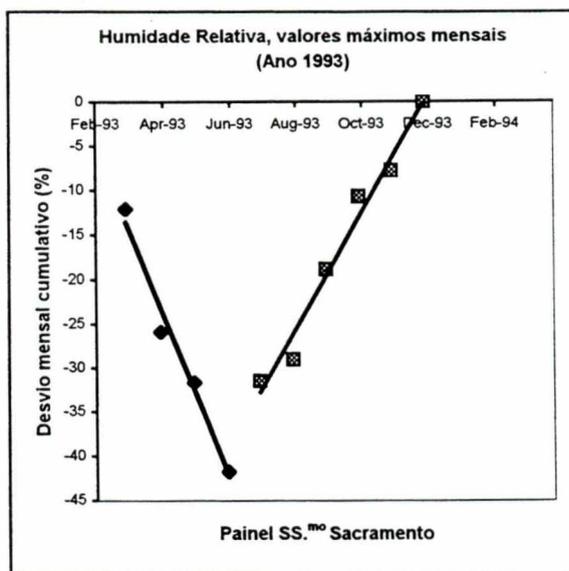


Fig.181 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

Tal como a temperatura húmida e a temperatura do ponto de orvalho, a humidade relativa evidencia um maior desfazamento entre o comportamento das séries dos valores máximos e mínimos mensais. Os meses de Julho, Agosto e Setembro, com variações mensais, respectivamente iguais a 45.3%, 38.8% e 43.9%, aparecem como os meses de maior flutuação mensal. O período do Verão, período mais seco, aparece como o de maior instabilidade para os valores máximos deste elemento do clima, já que os valores mínimos praticamente se mantêm constantes. Isto é, enquanto o início do Verão se traduz, sobretudo, numa variação brusca dos valores máximos, permanecendo estáveis os valores mínimos, o

início do Outono é essencialmente marcado por uma subida brusca dos valores mínimos e descida gradual dos valores máximos. A elevada média mensal (88.7%) do mês de Outubro deve-se, pois, sobretudo à acentuada subida dos valores mínimos.

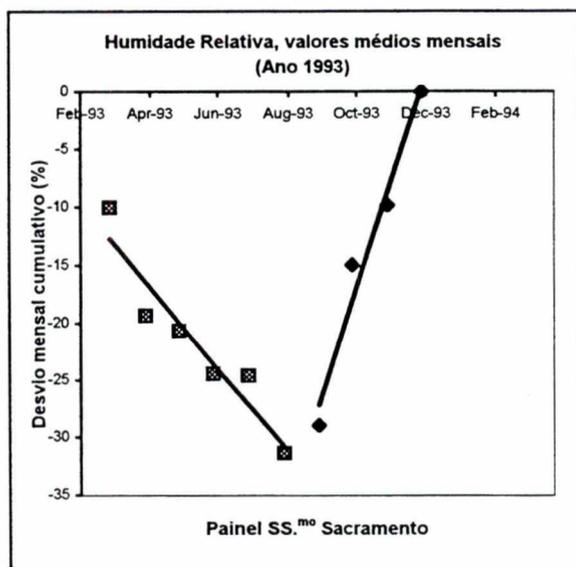


Fig.182 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

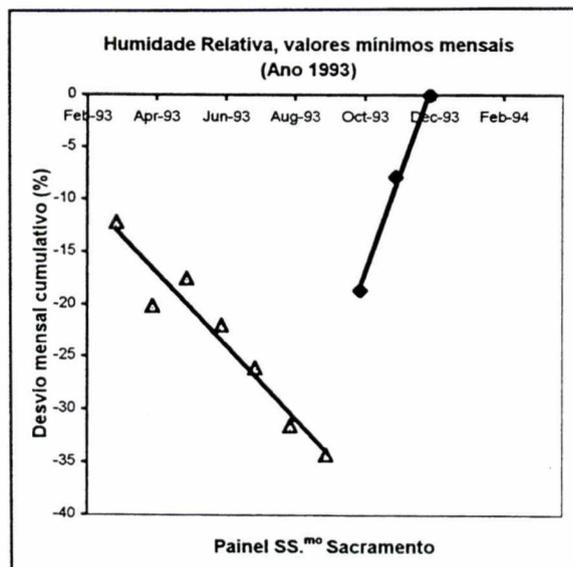


Fig.183 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

De acordo com Lencastre et al. (1984), os valores mínimos mensais registados ao longo de 1993 podem ser considerados elevados, dado que, com excepção do valor de Março igual a 46.5%, os restantes são superiores a 50%. Os valores médios mensais, com excepção dos valores dos meses de Março, Abril e Agosto, que se situam respectivamente entre 64.6% e 67.9%, são igualmente elevados dado que são superiores a 70%.

A variação anual calculada como a diferença entre os valores dos meses, em média, mais húmido e mais seco, respectivamente, Outubro (88.7%) e Março (64.6%), é igual a 24.1% e difere em cerca de 29.3% da que seria calculada pela diferença entre os valores máximo e mínimo anual. Aqui, 60% dos valores estão acima ou abaixo das respectivas médias anuais, conforme se trate da série dos valores máximos ou, então, das séries dos valores médios e mínimos mensais (vide Quadros LV a LXX).

Para a humidade relativa, os gráficos dos desvios mensais cumulativos em relação à média anual, deixam perceber um comportamento singular deste elemento do clima face aos outros elementos (Figs.181 a 183). O padrão subjacente às séries dos valores máximos e médios mensais, no ano de 1993, é fundamentalmente caracterizado por dois períodos

relativamente homogêneos (Fig.181): um mais seco, com início no mês de Março e fim no mês de Junho, em que os valores variam entre 75.9% e 83.9%, e outro, mais húmido, entre Julho e Dezembro, com valores entre 92.1% e 99.9%. Face a esta tendência iniciada em Julho, os valores máximos registados nos meses de Agosto (92.1%) e Novembro (92.6%) são mais baixos do que deveria esperar-se.

O padrão subjacente à série dos valores mínimos mensais parece ser caracterizado por dois períodos(Fig.186): um período seco e de variação progressiva entre Março e Setembro, seguido de um período húmido de variação mais acentuada, estendendo-se entre Outubro e Dezembro desse ano.

No ano de 1994, os gráficos dos desvios mensais cumulativos em relação à média anual, deixam perceber o comportamento singular deste elemento do clima face ao dos outros elementos, o que já fora notado em 1993 (Figs.184 a 187). Neste ano o padrão subjacente, em muito diferente do verificado no ano de 1993, deixa antever a existência de apenas dois períodos de mudanças de tendência para a série constituída pelos valores médios mensais, quatro períodos para a série dos valores mínimos mensais e em que se nota uma alternância entre períodos de valores muito próximos da média anual e períodos de valores mais baixos. Isto supõe a existência da alternância de dois regímenes distintos ao longo do ano (um de valores relativamente mais altos e outro de valores mais baixos), com valores mínimos mensais mais altos no Inverno e Verão.

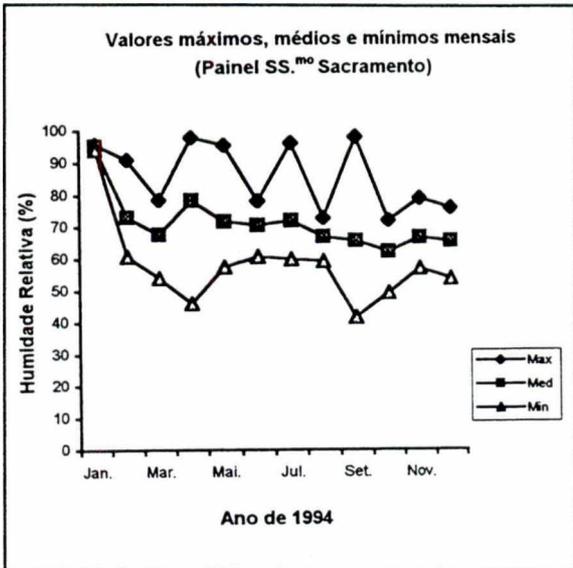


Fig.184 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

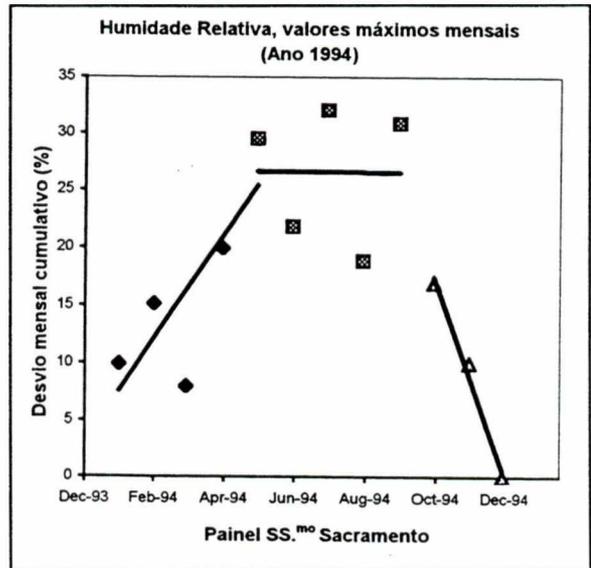


Fig.185 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

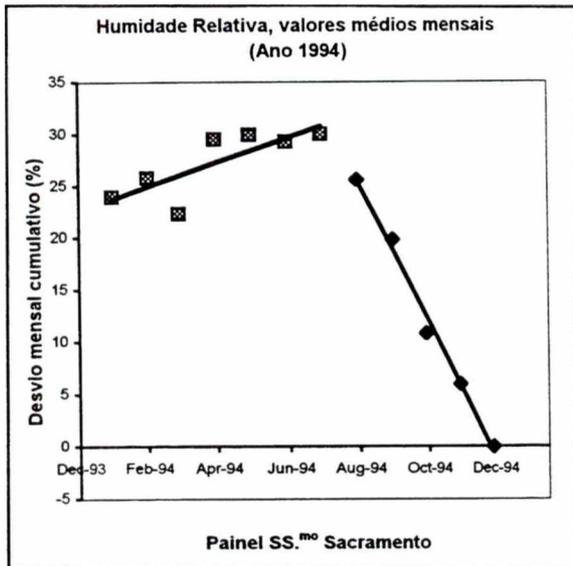


Fig.186 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

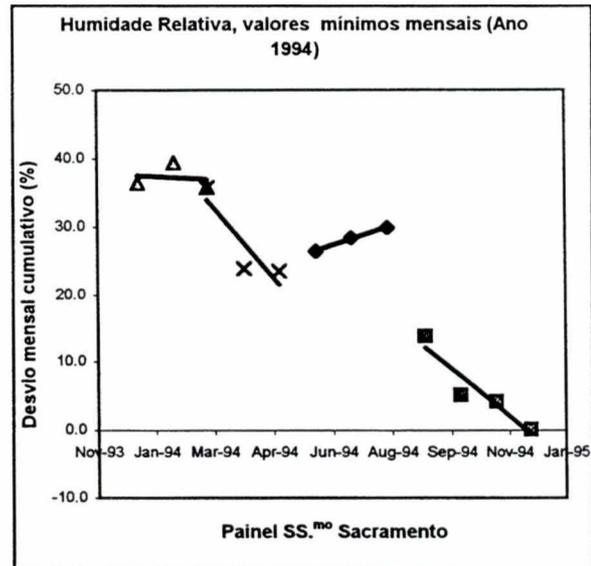


Fig.187 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

Relativamente à série constituída pelos valores máximos mensais, a Fig.188 mostra um padrão marcado por uma grande flutuação ao longo do ano, mas em que é possível destacar três períodos de mudança de tendência, com os valores mais altos de humidade relativa sendo registados, sobretudo, entre Maio e Setembro desse ano.

No ano de 1995, o padrão subjacente às séries dos valores máximos, médios e mínimos mensais, deixa antever a existência de um período seco intercalado por dois períodos mais húmidos (Figs.188 a 191). Para a série dos valores máximos mensais, o período seco estende-se entre os meses de Junho e Agosto. Este período parece ser intercalado pelo mesmo tipo de regímen húmido. Para a série dos valores médios mensais o período seco é mais longo e estende-se entre os meses de Março e Agosto. Neste caso, este período parece não ser intercalado pelo o mesmo regímen húmido, sendo antecedido por um regímen húmido de suave flutuação e seguido de um regímen de variação rápida. Para a série dos valores mínimos mensais temos dois períodos secos diferentes que se sucedem e que são superiormente limitados por um período mais húmido e de variação mais acentuada, que se estende entre os meses de Outubro e Dezembro. O primeiro período seco é o mais longo e suave e estende-se entre os meses de Janeiro e Julho. O segundo período seco é ainda mais curto, mais seco e de variação mais acentuada, estendendo-se entre Julho e Outubro desse ano.

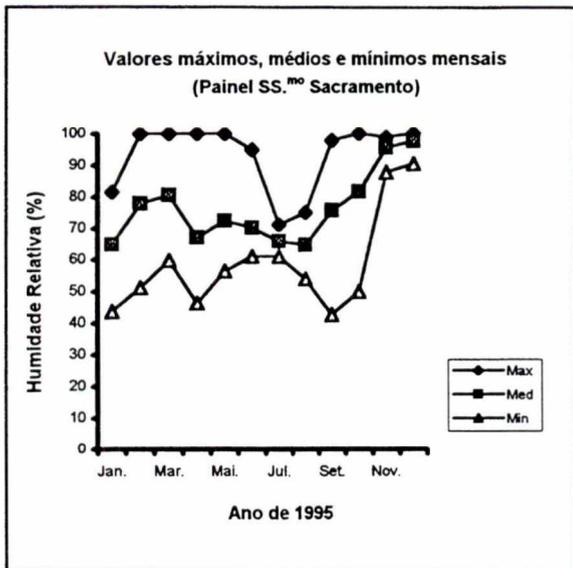


Fig.188 - Cronogramas dos valores máximos, médios e mínimos mensais.

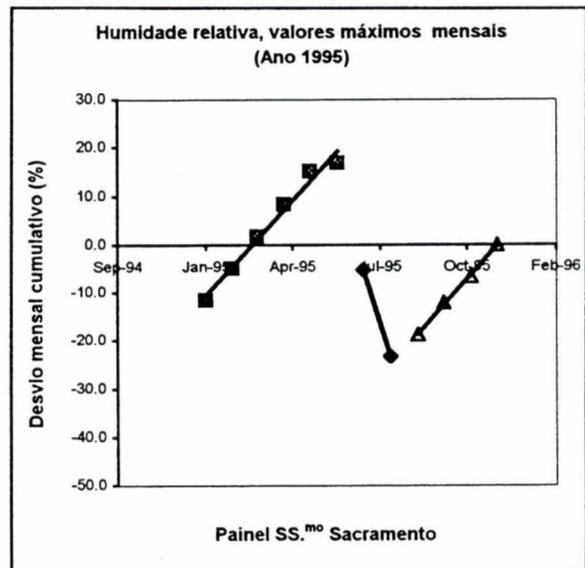


Fig.189 - Máximos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

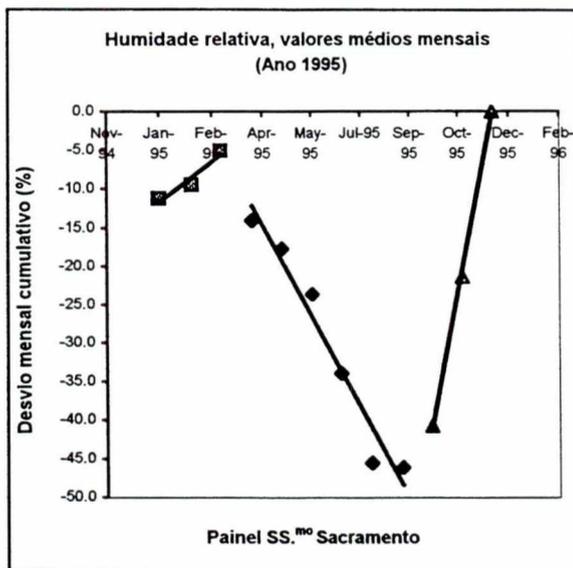


Fig.190 - Médias mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

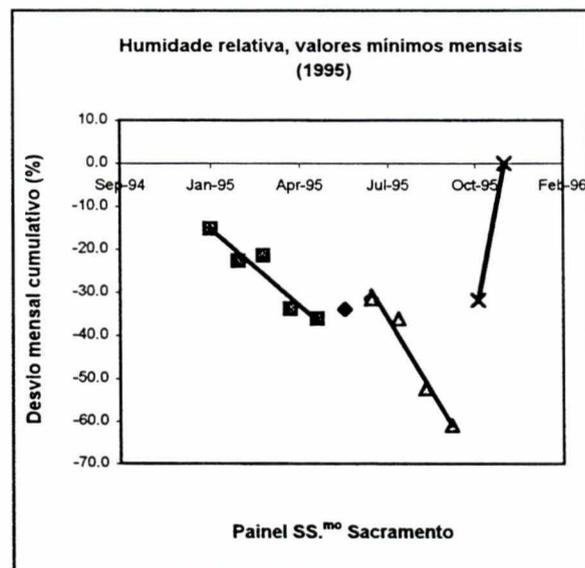


Fig.191 - Mínimos mensais. Variação do desvio cumulativo em relação à respectiva média anual.

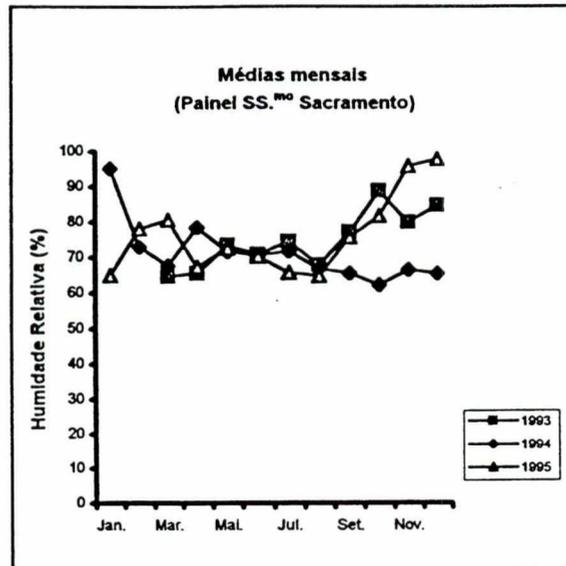


Fig.192 - Cronogramas dos valores médios mensais. Anos de 1993, 1994 e 1995.

Comparando os valores médios anuais, não se vê, para a campanha de três anos de amostragem, nenhuma tendência na variação de um ano para o outro deste elemento do clima (Figs.191 e 192). A flutuação de ano para ano é, em média, menor que a flutuação introduzida pelo efeito sazonal. A média anual de 1993 é, como já verificado para os outros elementos do clima aqui analisados, a que menos difere (0.7%) da média a longo prazo deste elemento (74.0%, média no período 1993/95), enquanto que as de 1994 e 1995, situando-se abaixo e acima daquela, diferem, respectivamente, -2.8% e 2.2%. São valores muito próximos da precisão do aparelho de medição ($\pm 2\%$). Segundo Lencastre et al. (1984), podemos dizer, todavia, que se mantém, a tendência para valores médios de humidade relativa elevados, nos três anos de amostragem.

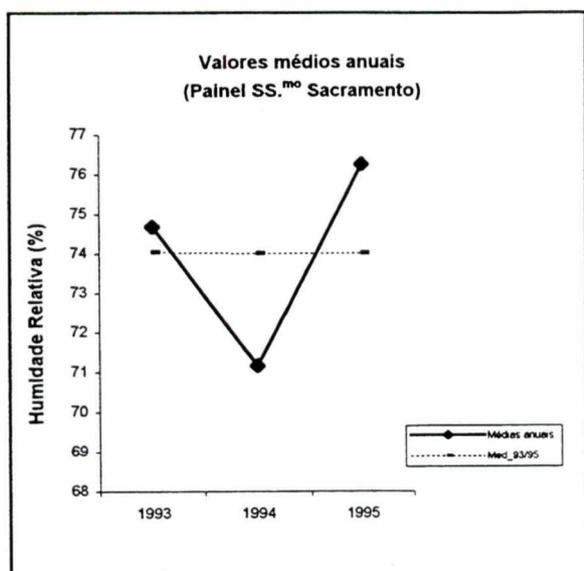


Fig.193 - Cronograma dos valores médios anuais.

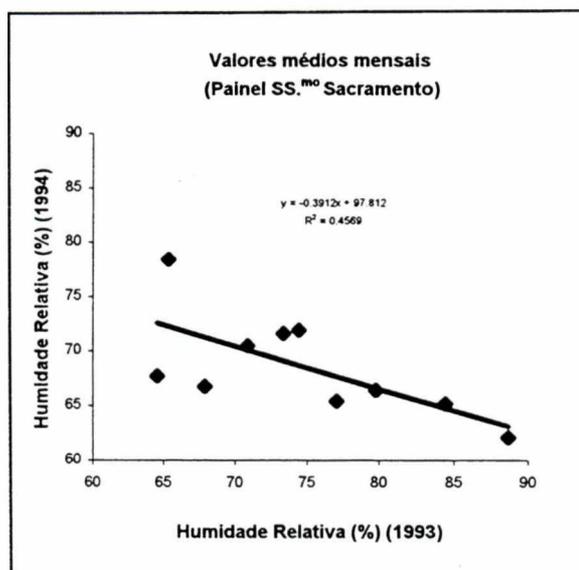


Fig.194 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1994 e de 1993.

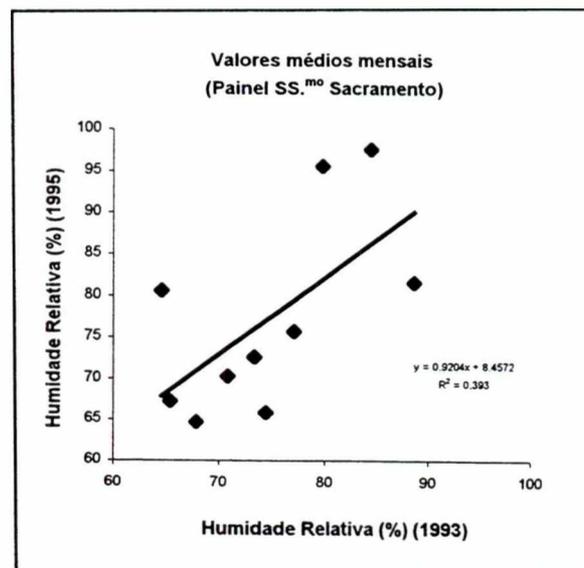


Fig.195 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1993.

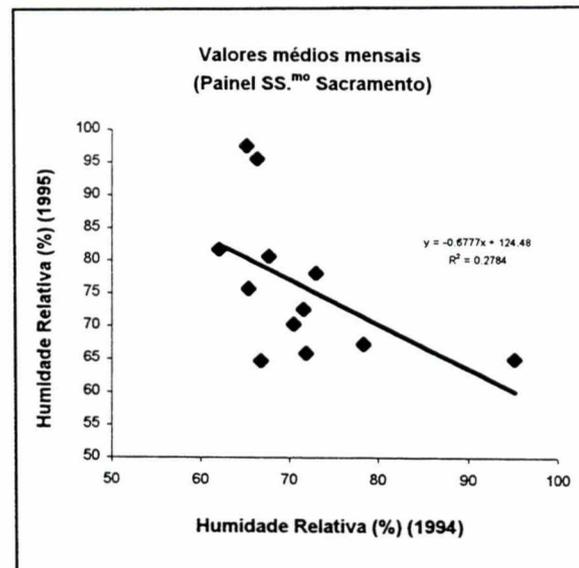


Fig.196 - Diagrama de dispersão: valores mensais de 1995 e de 1994.

Os valores dos coeficientes de correlação das séries obtidas para os diferentes períodos de amostragem variam entre -0.68 e 0.63 (Quadro LXXII, Anexo V). Esta grande dispersão de valores dos coeficientes de correlação pode ter como explicação possível a elevada exigência operacional do instrumento de medição. As séries melhor correlacionadas são as constituídas pelos valores médios mensais, com valores iguais a -0.68 (séries de 1993/94), 0.63 (séries de 1993/95) e -0.53 (séries de 1994/95). Os valores de correlação negativos e

muito baixos, em especial para as correlações das séries constituídas pelos valores extremos mensais deste elemento do clima, levam a supor que estas representam padrões diferentes de ano para ano, consubstanciando assim a existência de microclimas diferentes nesses anos. Com excepção da correlação entre as séries dos valores médios mensais dos anos de 1993 e 1995, verifica-se que, em geral, as restantes séries estão inversamente correlacionadas. Os respectivos diagramas de dispersão e rectas de regressão ilustram claramente esta situação (Figs.194 a 196). Os valores de r^2 variam entre 0.2784 e 0.4569. Estes valores extremos referem-se, respectivamente, às rectas de regressão de 1995 sobre 1994 e de 1994 sobre 1993.

As diferenças encontradas, neste caso, entre as séries anuais podem ser devidas, em parte, a padrões desiguais de dados e muito possivelmente a erros de medição.

IX.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

As razões que presidiram a realização duma campanha idêntica à levada a cabo no âmbito deste trabalho foram: 1) fornecer uma descrição do ambiente e 2) detectar mudanças climáticas e possíveis correlações com os fenómenos de alteração subjacentes.

Caracterizou-se a variabilidade espacial dos elementos do microclima à superfície de cada painel interior da Basílica, com implicações na compreensão dos fenómenos de alteração em apreciação. Fez-se, também, a análise comparativa, quer das séries climatológicas obtidas do estudo anterior para os diferentes painéis (i.e., para os painéis SS.^{mo} Sacramento, D. Maria I, S. José e S. Teresa), quer das diferentes séries climatológicas anuais obtidas para cada elemento do clima, no mesmo painel, através da realização de estudos de correlação e regressão linear e da construção de cronogramas dos valores médios mensais e médios anuais.

Os elevados valores dos coeficientes de correlação espacial e a sua pequena dispersão (cerca de 99% dos valores encontrados variam entre 0.96 e 1.00), obtidos na caracterização da variabilidade espacial dos elementos do clima à superfície de cada painel, mostram que não existem, à escala do painel, microclima diferentes.

Da análise comparativa das séries climatológicas obtidas nos diferentes painéis (i.e., nos painéis SS.^{mo} Sacramento, D. Maria I, S. José e S. Teresa), conclui-se, também, que não existem microclimas significativamente diferentes juntos a estes painéis localizados em pontos

distintos do interior da Basílica da Estrela. Segundo Linacre (1992), valores de coeficientes de correlação linear superiores a 0.75 para medições de elementos do clima efectuadas a uma dada distância, reflectem a não existência de microclimas distintos entre os pontos de amostragem.

Apesar dos elevados valores dos coeficientes de correlação encontrados, é importante sublinhar a menor continuidade espacial e temporal observada para a humidade relativa, não importa o parâmetro tido em conta, se tomarmos sobretudo como referência os comportamentos das temperaturas da parede e do ar. Como comportamentos próximos do deste elemento do clima são apenas de apontar os das séries dos máximos da temperatura húmida e dos máximos da temperatura do ponto de orvalho. De entre os elementos do clima medidos, estes talvez sejam os de maior interesse para a compreensão dos fenómenos em estudo.

Quanto à estrutura das séries temporais analisadas, parece poder dizer-se que existe, em geral, um comportamento distinto dos parâmetros (máximos, médias e mínimos) dos elementos do clima estudados. Isto é, o comportamento da média mensal aproxima-se mais do comportamento dos valores mínimos mensais, enquanto as séries formadas pelos valores máximos mensais apresentam uma maior flutuação (com relativo controlo sazonal) à volta do respectivo valor médio anual. Em geral, isto traduz-se num comportamento mais irregular, com crescimento mais acentuado nos períodos quentes do que o decréscimo nos períodos relativamente mais frios. Isto é, este parâmetro mensal oscila mais nos períodos quentes do que nos períodos frios. Parece, pois, o menos estável dos parâmetros considerados, sendo mais susceptível ao efeito sazonal em virtude de oscilar mais que os outros, quer nos períodos relativamente mais frios, quer nos períodos relativamente mais quentes.

Estudos deste tipo precisam de registos de valores diários dos elementos do clima, fiáveis e longos, obtidos com equipamento "standard". As medições são, todavia, afectadas de erro, o que condiciona a confiança a depositar nas observações efectuadas. A introdução de discontinuidades nos registos, devidas, por exemplo, a erros de manipulação dos instrumentos de medição ou a mudanças de instrumentos utilizados ou, ainda, dos procedimentos das realizações das observações, pode, por um lado, conduzir a inferências não verdadeiras de mudanças de climas e, por outro, mascarar uma variação efectiva do clima.

Com o objectivo de saber se o padrão subjacente às diferentes séries estudadas representa sobretudo o conhecido efeito sazonal dos elementos climáticos ou, então, a

influência de um outro tipo de flutuação (por exemplo, variações aleatórias), construíram-se gráficos de desvios mensais cumulativos e aplicaram-se testes de aleatoriedade de seqüências às séries globais, isto é, às séries definidas no período de análise (1993/1996) (Figs.197 a 211) e (Quadros LXXII e LXXIII, anexo VI).

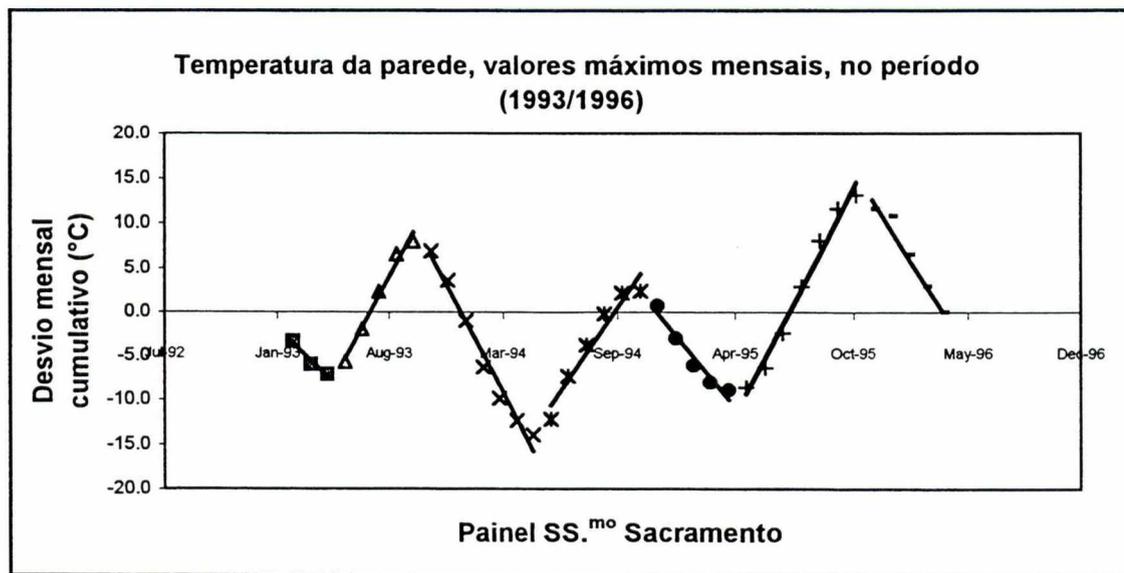


Fig.197 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

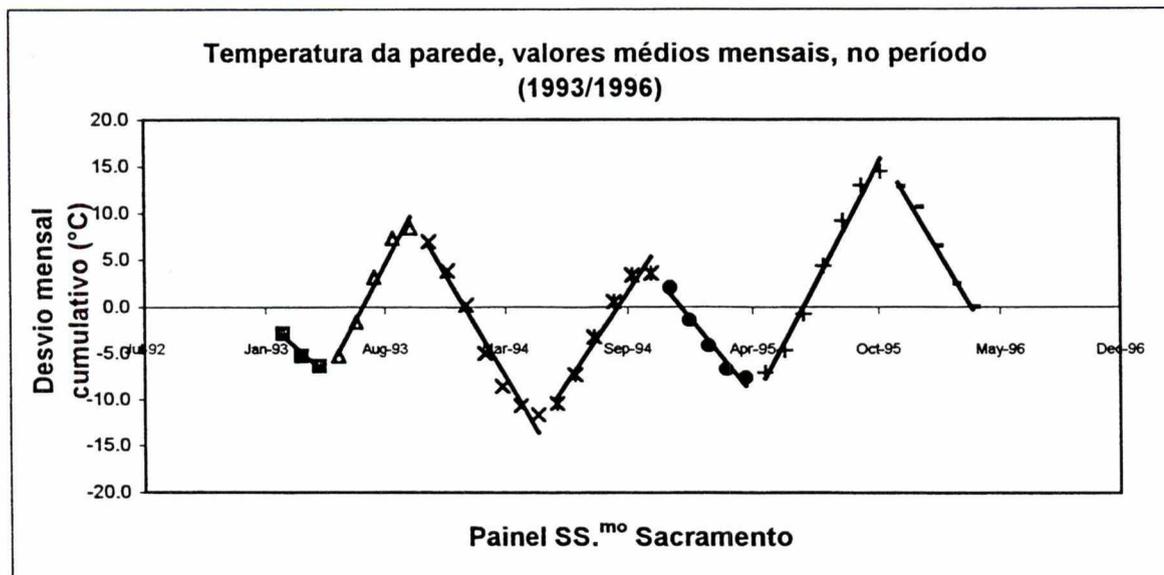


Fig.198 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

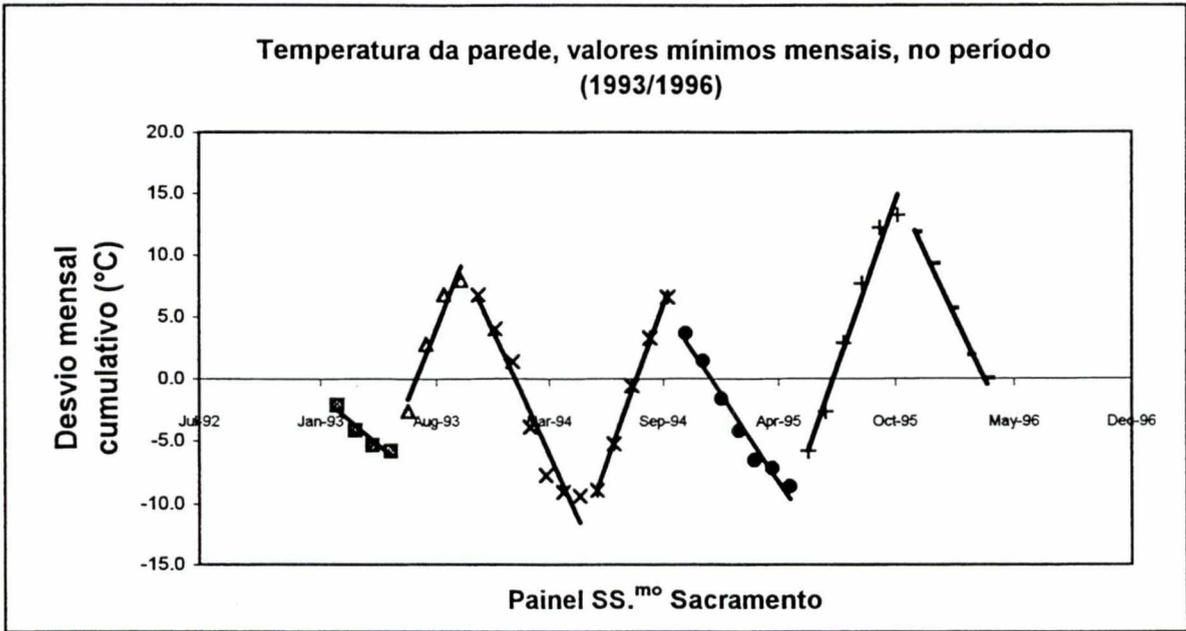


Fig.199 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

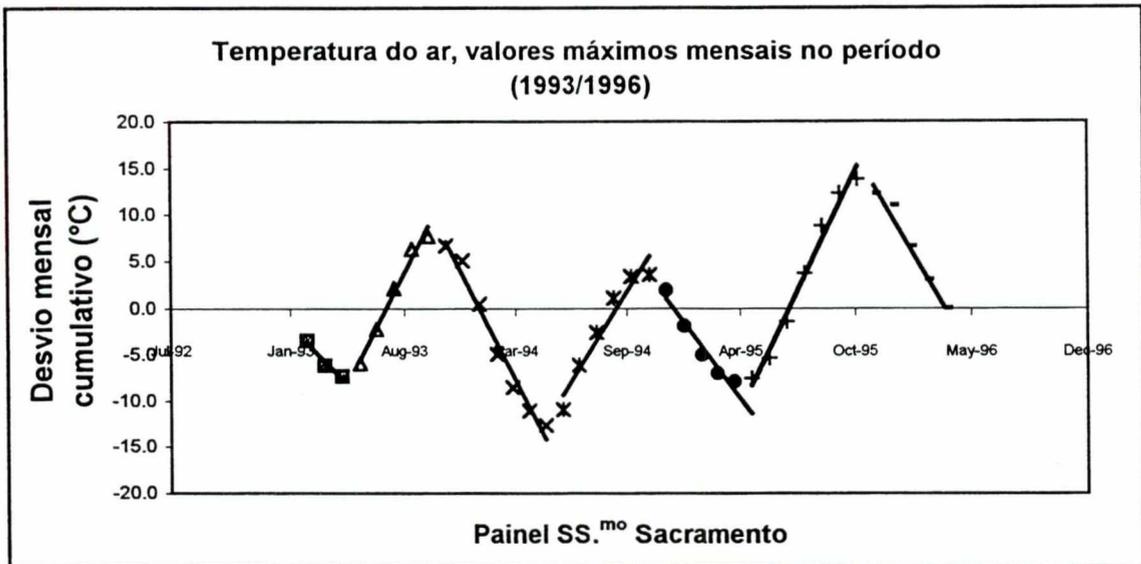


Fig.200 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

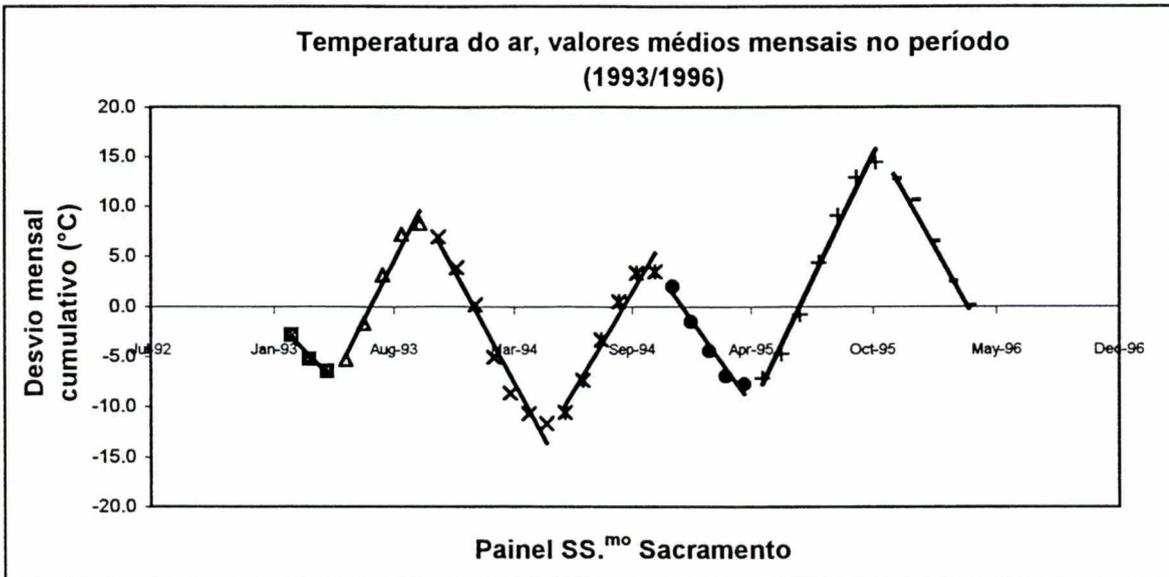


Fig.201 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

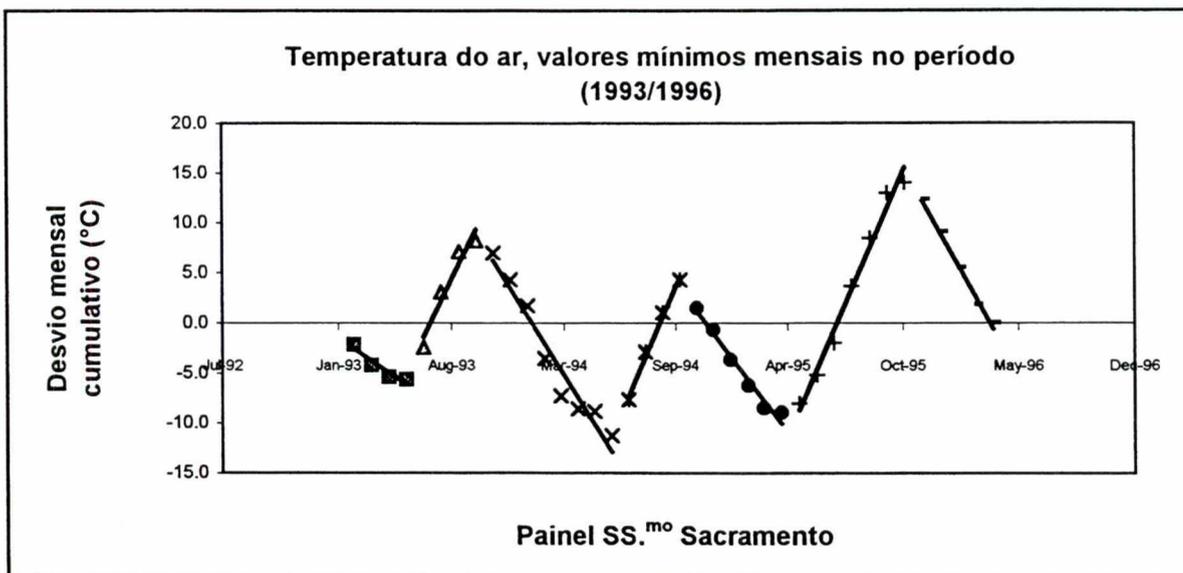


Fig.202 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

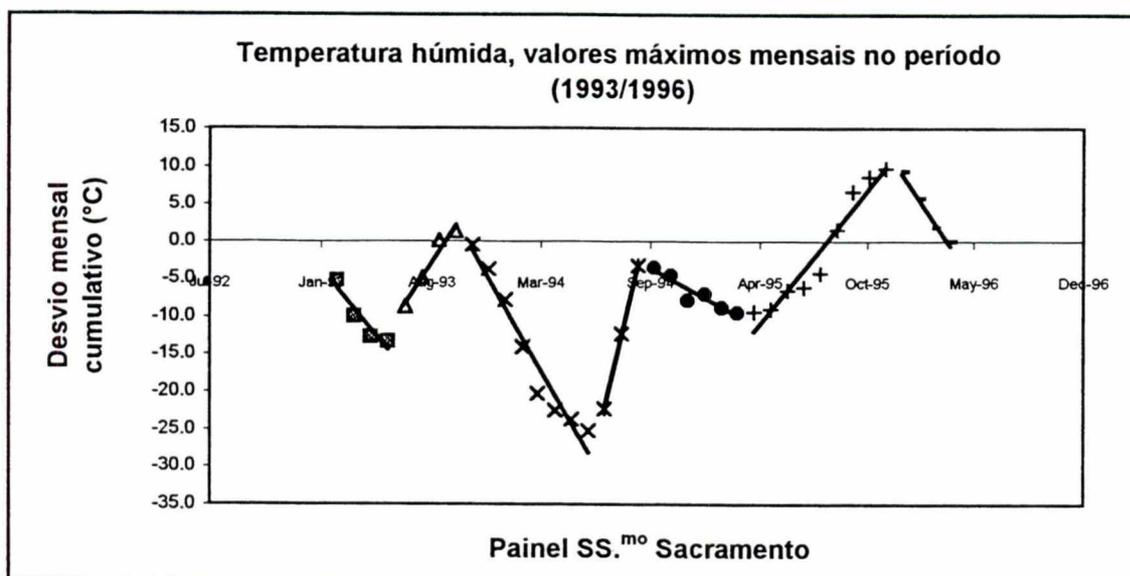


Fig.203 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

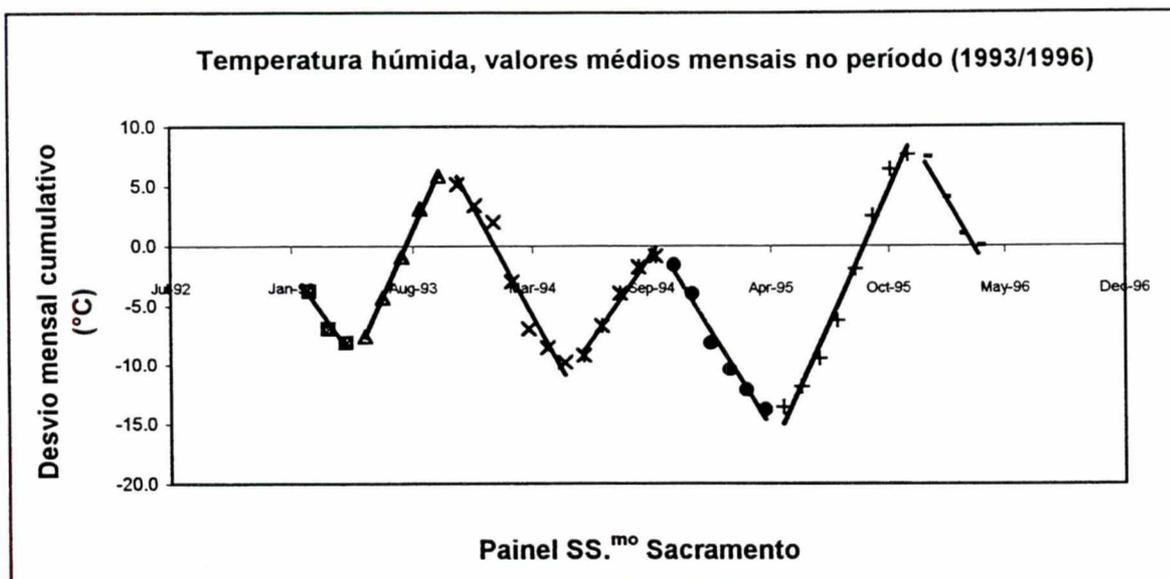


Fig.204 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

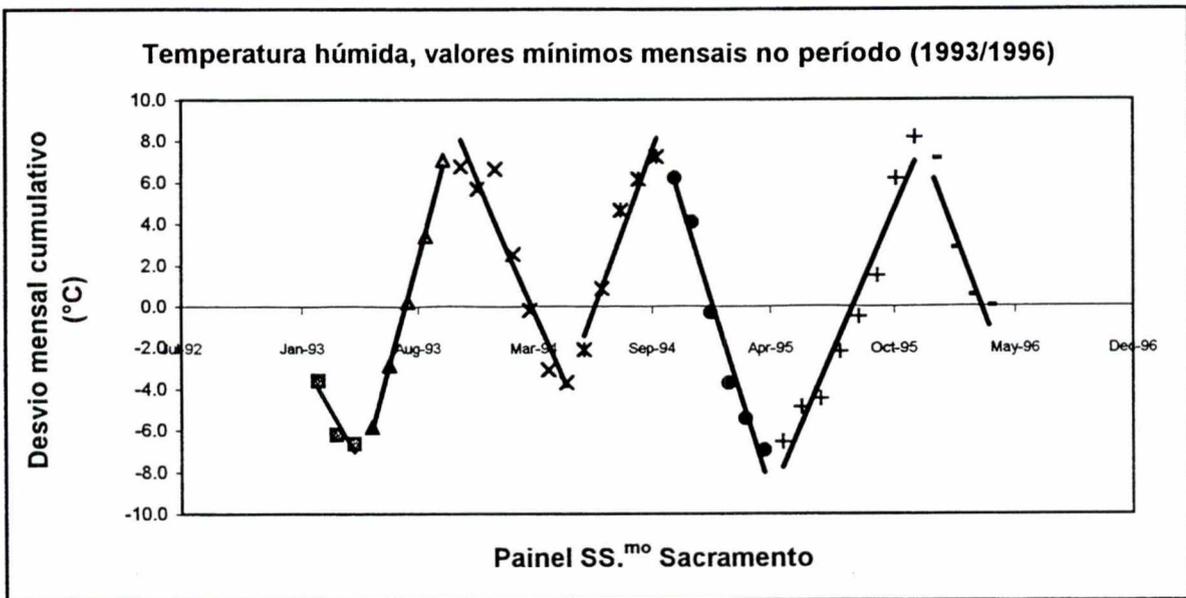


Fig.205 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

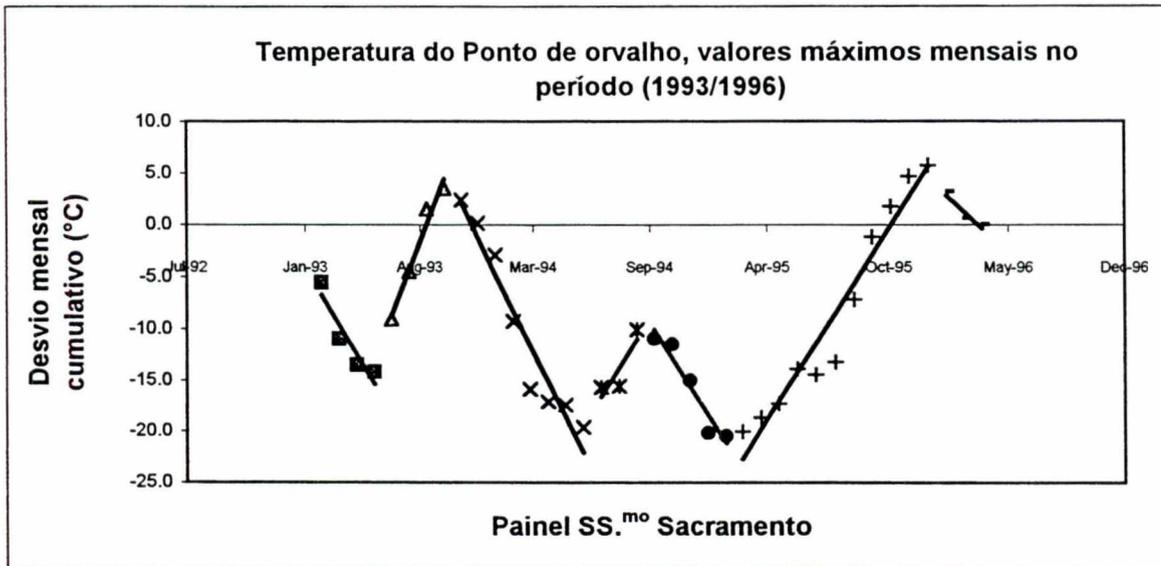


Fig.206 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

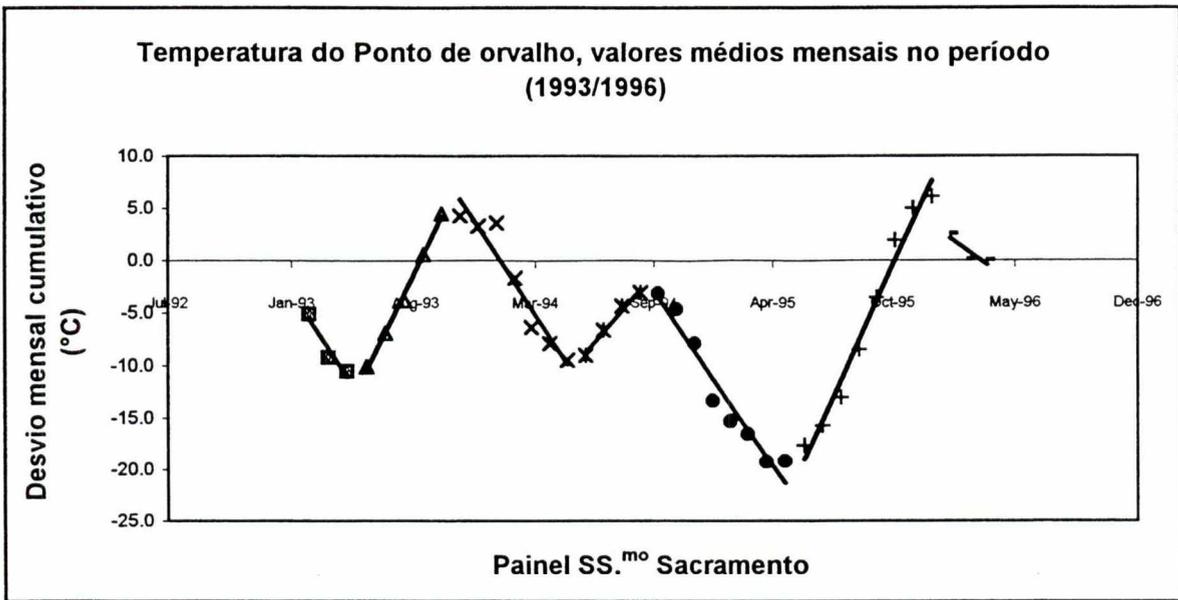


Fig.207 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

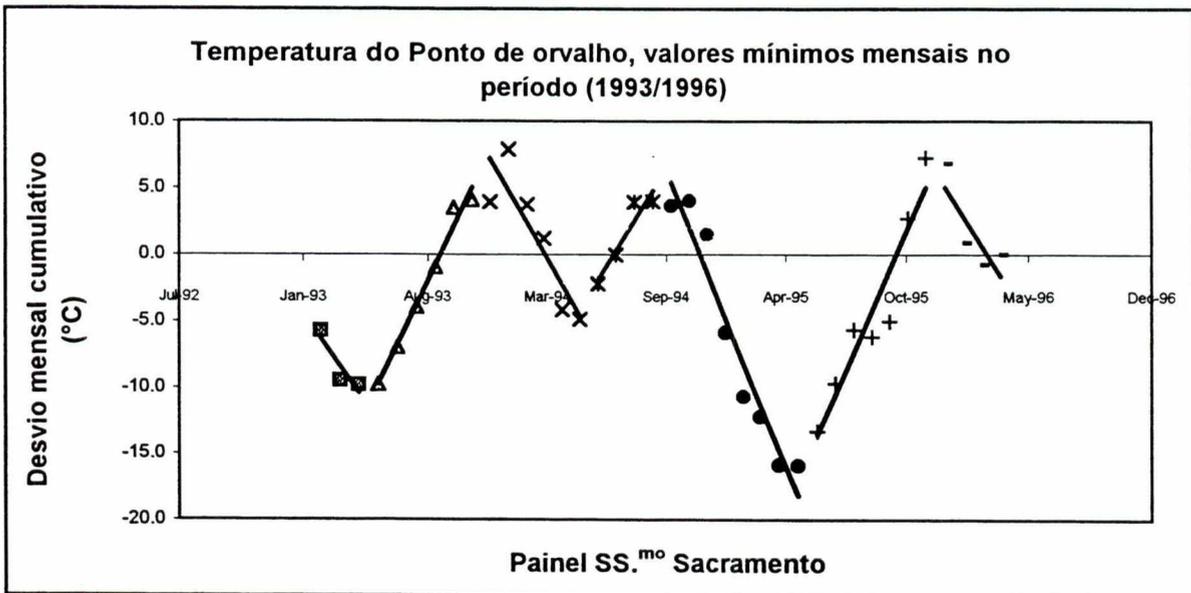


Fig.208 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

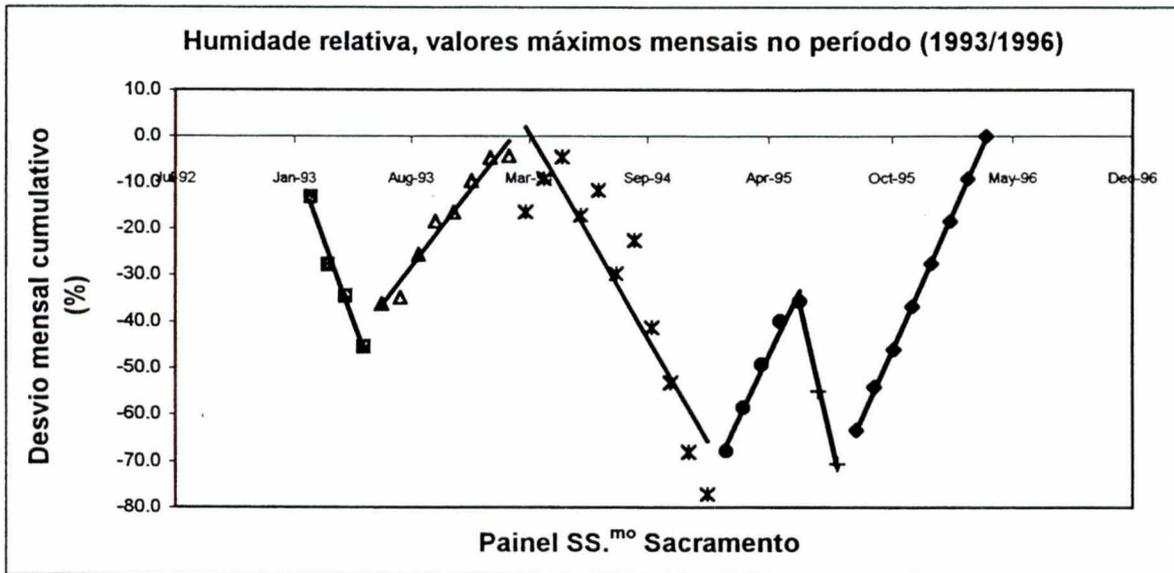


Fig.209 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

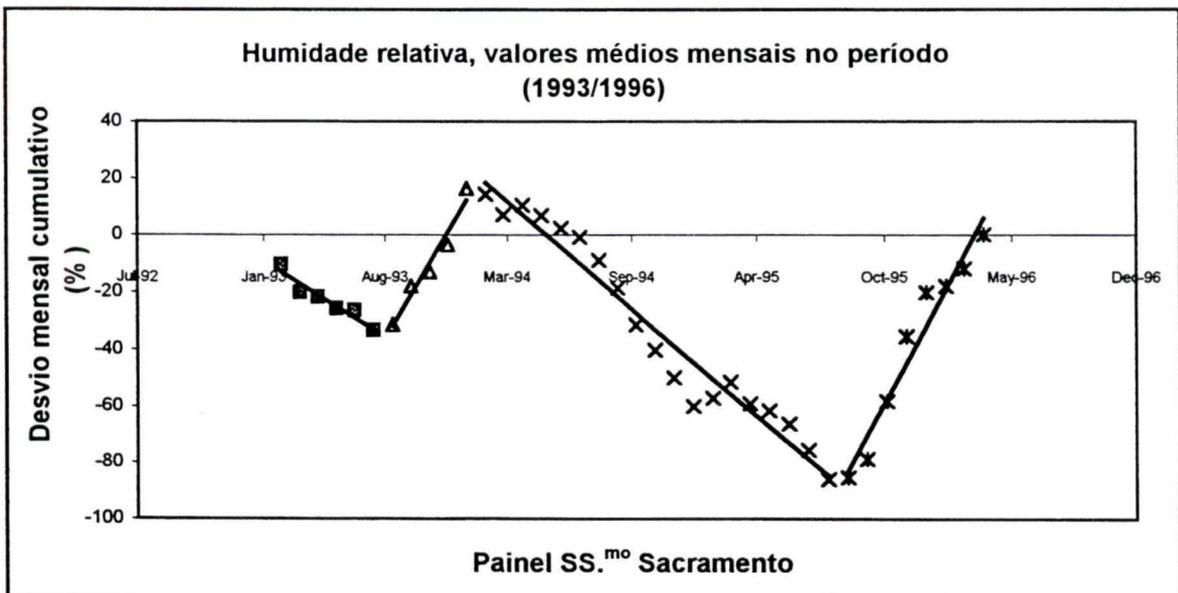


Fig.210 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

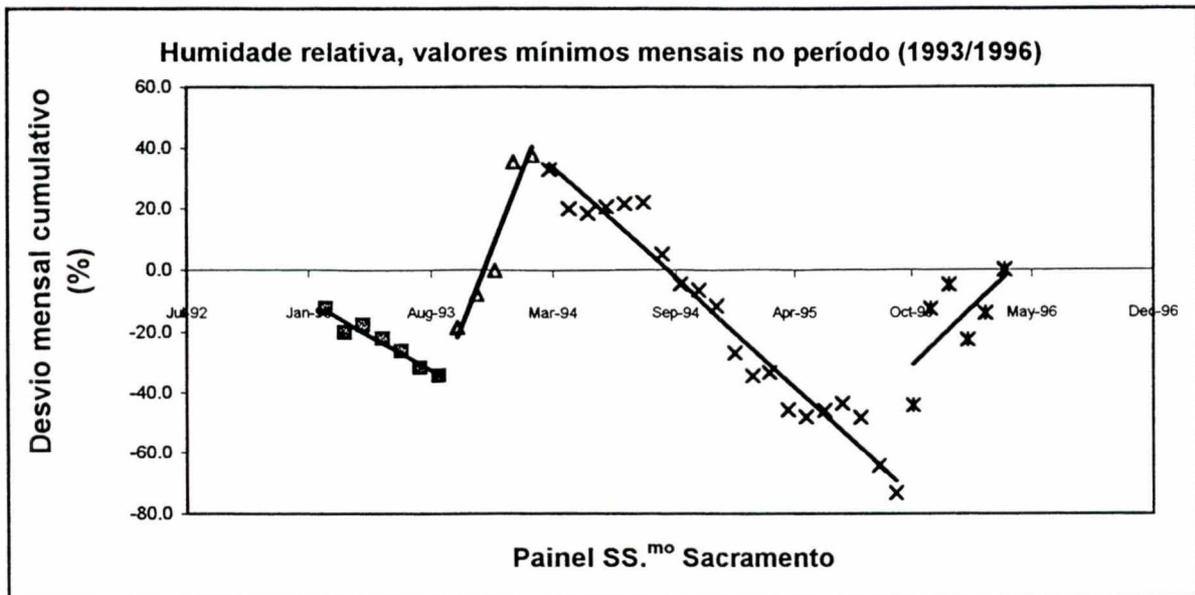


Fig.211 - Variação do desvio cumulativo em relação à média a longo prazo (1993/1996).

No que respeita aos gráficos dos desvios mensais cumulativos em relação à média a longo prazo, temos que, com excepção das séries da humidade relativa, é possível definir para as outras séries um padrão geral constituído por quatro períodos, de valores relativamente mais baixos que a média a longo prazo e de regímens ligeiramente diferentes. Estes estendem-se, em geral, entre o Outono e a Primavera e alternam com três períodos mais ou menos longos de valores mais altos, do que a média a longo prazo, e de regímen nem sempre igual e que se estendem, obviamente, entre a Primavera e o Outono (Figs.197 a 208). De entre estes, o padrão subjacente às séries da temperatura da parede e da temperatura do ar é o mais regular, exibindo apenas uma deriva do ciclo anual, no ano de 1994, com uma maior flutuação dos valores no período relativamente mais "frio" e uma menor flutuação no período relativamente mais "quente" desse ano, quando comparado ao restante período de análise (Figs.197 a 202).

A sobreposição e uniformidade de comportamento das séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos, quer da temperatura da parede, quer da temperatura do ar, permite separá-las das séries dos outros elementos do clima em que esse facto não se verifica e em que é notória uma certa disparidade no comportamentos das respectivas séries.

No que respeita à humidade relativa, os gráficos dos desvios mensais cumulativos, deixam perceber um comportamento singular deste elemento do clima face ao dos outros, em que o padrão subjacente é mais irregular, apresentando uma maior flutuação ao longo do período de análise (Figs.208 a 211). Todavia, é possível perceber, através desses gráficos, para as séries dos valores médios e mínimos mensais, quatro grandes períodos de mudanças de tendência, em que períodos de valores relativamente mais baixos que a respectiva média anual (períodos "mais secos") alternam com períodos "mais húmidos". Parece verificar-se a alternância de apenas dois regimens diferentes, um mais seco e outro mais húmido, mas com períodos de duração variável. O mesmo declive para diferentes períodos, quer "mais húmidos", quer "mais secos", faz implicitamente supor a ocorrência do mesmo regimen. Ao padrão associado à série dos valores máximos é possível ajustar seis períodos de mudança de tendência, em que o mesmo clima "mais húmido", com extensão variável entre os meses de Verão e de Inverno, ocorre por três vezes e nem sempre é seguido pelo mesmo clima "mais seco", em virtude do declive destes períodos "mais secos" não ser sempre o mesmo e a sua extensão variar entre a Primavera e o Verão. Aspecto singular é o comportamento desta série no ano de 1994, aliás como já foi devidamente sublinhado.

A aplicação dos testes de aleatoriedade de sequências às quinze séries climatológicas de 38 elementos cada uma, definidas a partir do conjunto de medições dos elementos do clima efectuadas no período entre 1993/1996, permite concluir que, para 12 delas, as flutuações não são aleatórias, mas que são provavelmente devidas ao efeito sazonal. Isto é, com excepção das séries constituídas pelos valores máximos e mínimos mensais da humidade relativa e da série constituída pelos valores mínimos mensais da temperatura do ponto de orvalho, as restantes séries revelam um número de sequências entre 7 e 12. Recorrendo à Tabela do nº de sequências para um nível de significância de 5%, verificamos que para $n_1 = n_2 = 19$ (com n_1 e n_2 representando, respectivamente, o número de valores inferiores e superiores à mediana) a probabilidade de se obter um nº de sequências entre 7 e 12, para uma série aleatória, é menor que 5%. Isto é, é menor que uma vez em vinte. É, portanto, possível dizer-se que estas séries são provavelmente não aleatórias, para um nível de significância de 5% (Langley, 1970).

Para as séries dos valores máximos e dos mínimos mensais da humidade relativa e da série constituída pelos valores mínimos mensais da temperatura do ponto de orvalho, o número de sequências, respectivamente igual a 16 e 14, cai no intervalo indicado no Quadro

LXXIV (Anexo VI), para $n_1=n_2=19$ e para um nível de significância de 5%. Isto permite concluir que para este nível de significância (5%), não ficou provada a "não aleatoriedade" destas séries (Langley, 1970).

X - ANÁLISE DE IMAGEM E A QUANTIFICAÇÃO DA ALTERABILIDADE DE ROCHAS

X.1 - INTRODUÇÃO

No estudo dos fenómenos de alteração que afectam as rochas dos monumentos, considerar apenas as características físicas do ar e as naturais diferenças existentes entre as rochas que decorrem da sua génese e características particulares da sua jazida é analisar apenas uma parte do problema. Por um lado, o enquadramento das rochas no conjunto da obra ou monumento (i.e., a sua associação a determinado tipo de estrutura arquitectural ou a sua justaposição a outros litotipos muito diferenciados) confere à rocha condições muito particulares de comportamento "in situ" distintas das verificadas nos ensaios de fadiga térmica realizados. Não basta conhecer intrinsecamente o material nem apenas o seu comportamento face a ensaios laboratoriais, por vezes, muito contingentes. Por outro lado, o papel do microclima só pode ser estabelecido se a medição dos seus elementos for acompanhada "in situ" do estudo do impacto dos processos de decaimento envolvidos. Medições sofisticadas e extremamente precisas do microclima não explicam nada se não forem relacionadas com processos reais e definitivos tendo lugar "in situ".

Acresce, ainda, que no estudo "in situ" de fenómenos de decaimento que afectam as rochas dos monumentos, surge o problema delicado de se ter de trabalhar sobre grandes superfícies que não podem ser directamente amostradas e/ou transportadas para outros lugares. Decorre daqui, cada vez mais, a procura crescente de métodos de exame e análise *in situ*, "contact-free", não-destrutivos.

A utilização dos actuais sistemas e técnicas de aquisição, processamento digital e de análise de imagem permite responder a essa imposição.

Apresenta-se neste capítulo a aplicação da perfilometria e da análise de texturas em níveis de cinzento ao estudo das amplas superfícies de alteração ($\approx 4-5 \text{ m}^2$) dos painéis em Amarelo de Negrais interiores da Basílica da Estrela (Figs.212 e 213, ilustração dos casos extremos). Estas aplicações foram realizadas recorrendo-se a dois sistemas de análise de imagem (Nachet NS 1500 e Visilog 3.6).

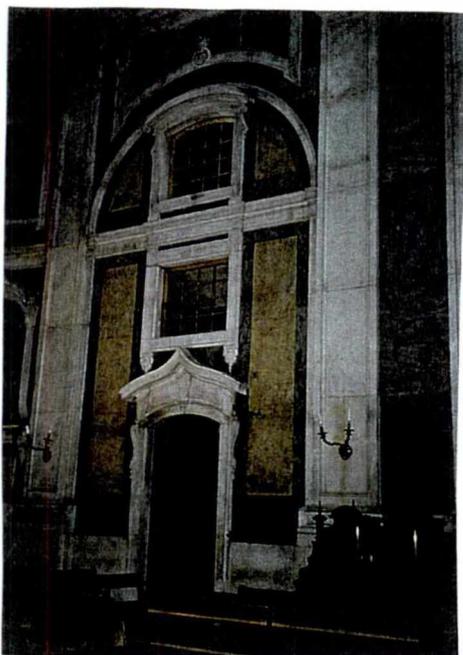


Fig.212 - Painel em Amarelo de Negrais, em frente ao túmulo de D. Maria I (DM). Exemplo de rocha sã (escala \approx 1:30).



Fig.213 - Painel em Amarelo de Negrais, lado esquerdo do altar de S. Teresa (STE). Exemplo de rocha muito alterada (1:40).

A metodologia proposta assenta na adaptação dos princípios do perfilómetro de linhas à descrição macroscópica de superfícies de alteração e, ainda, na realização de análises granulométrica e de covariância de funções de cinzento representativas dos processos e estados de alteração superficial das rochas estudadas.

X.2 - APLICAÇÃO DA PERFILOMETRIA AO ESTUDO "IN SITU" DE ALGUNS PAINÉIS DA BASÍLICA DA ESTRELA

Aires-Barros et al. (1991 e 1992) propuseram a aplicação do perfilómetro de linhas ao estudo de fenómenos superficiais de alteração de rochas carbonatadas. Com base num índice de alteração especialmente definido e aplicado ao estudo da microrrugosidade superficial, foi possível classificar as rochas quanto ao seu estado e susceptibilidade para a alteração, bem como a agressividade dos respectivos ambientes.

O perfilómetro de linhas é um dispositivo óptico, acessório dos estereo-microscópios da Zeiss, que permite projectar a 45° uma grelha de linhas paralelas sobre uma determinada superfície (Fig.214). Dado que a projecção é feita a 45° , a deformação que se obtém na projecção devida à irregularidade da superfície é igual às diferenças de altura existentes na superfície (Fig.215).

Com o perfilómetro de linhas é possível estudar as superfícies sem manipulação directa da amostra e, associado aos estereo-microscópios, pode constituir a unidade de "input" num sistema electrónico de processamento e análise de imagem, facilitando largamente o estudo das imagens obtidas.

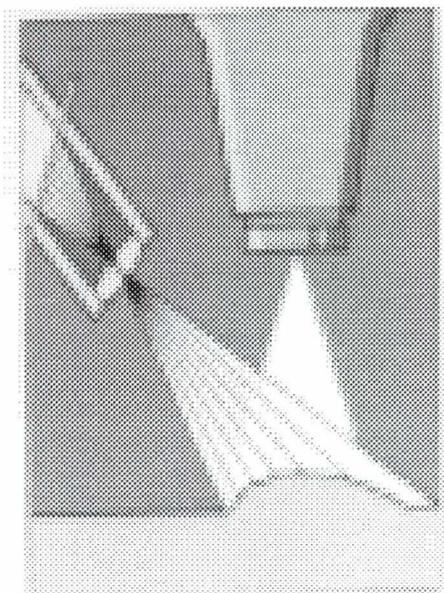


Fig.214 - Projecção da grelha de linhas sobre a superfície de uma amostra.

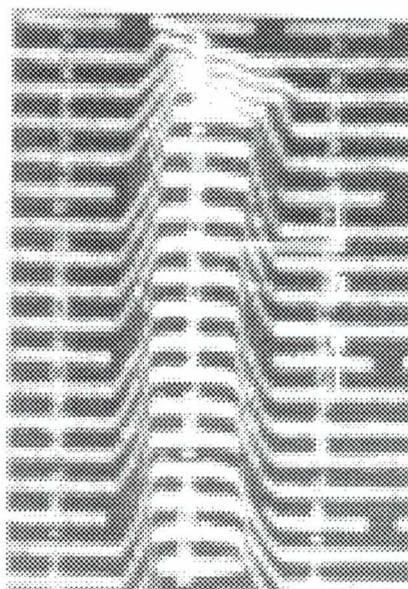


Fig.215 - Relação entre a deformação das linhas e as diferenças de altura existentes.

Para a adaptação desta metodologia ao estudo do estado de degradação de três painéis da Basílica da Estrela revestidos de Amarelo de Negrais, foi concebida uma grelha de linhas paralelas em folha de acetato, que foi projectada a $\approx 45^\circ$ sobre os painéis por um retro-projector (Figs.216 e 217).

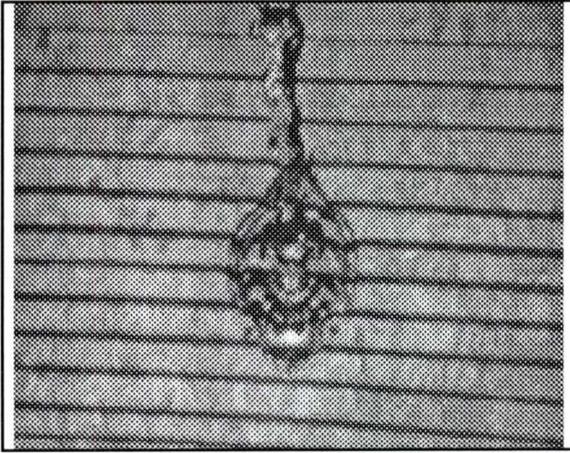


Fig. 216 - Linhas projectadas sobre uma superfície menos alterada (e.g. painel esquerdo S.José, SJE). (1/17 escala).

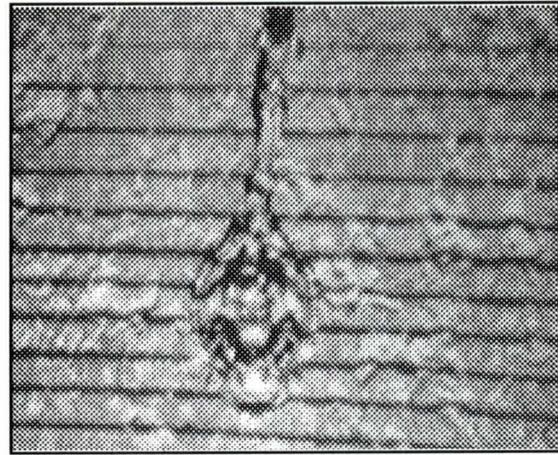


Fig. 217 - Linhas projectadas sobre a superfície mais alterada (e.g. painel esquerdo, S. Teresa, STD). (1/17 escala).

As linhas aparecem mais ou menos irregulares em função da rugosidade da superfície (Figs.218 e 219).

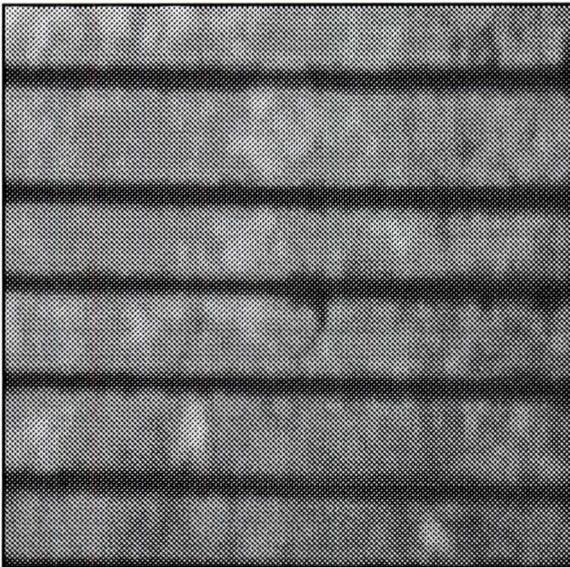


Fig. 218 - Pormenor das linhas projectadas sobre o painel esquerdo S. José (SJE) (256x256 pixels; 1/7 scale).

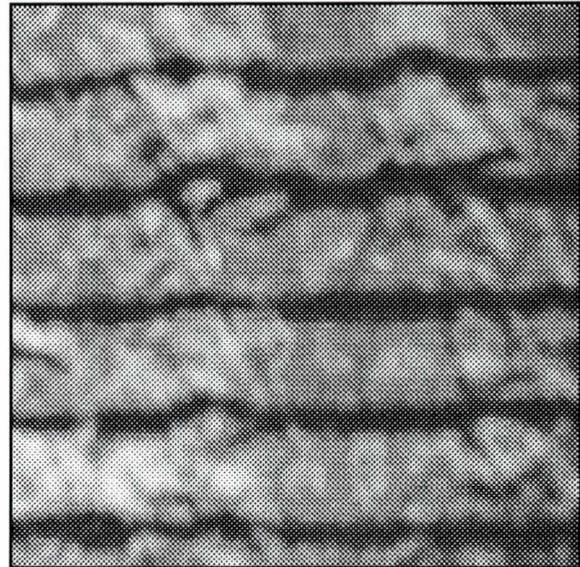


Fig. 219 - Pormenor das linhas projectadas sobre o painel esquerdo S. Teresa (STE) (256x256 pixels; 1/7 scale).

Assumindo que quanto maior for o estado de alteração, maior é a rugosidade da superfície dos painéis e a irregularidade das linhas projectadas na sua superfície, foi definido

um índice de alteração (Aires-Barros et al., 1992). Este índice de rugosidade é definido pela seguinte equação :

$$IP_{R_j} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{L_{ij}}{n_{L_i} A_{ij}}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{L_{i0}}{n_{L_i} A_{i0}}} \times 100 = \frac{\overline{L_{iA}}}{\overline{L_{0A}}} \quad (23)$$

em que:

j - estado de alteração;

i - número de medições em cada estado de alteração;

N - número total de medições por estado de alteração;

n_{L_i} - número de linhas projectadas em cada medição i;

A_{ij} - área da imagem binária das linhas projectadas na medição i e no estado de alteração j (em pixel);

L_{ij} - comprimento total do contorno das linhas projectadas na medição i e no estado de alteração j (em pixel);

IP_{R_j} - índice de alteração da rocha R no estado de alteração j (%).

Este índice indica a variação do comprimento médio das linhas por unidade de área com o estado de alteração da superfície estudada. Quanto maior for o estado de alteração maior será o comprimento médio das linhas por unidade de área.

Como as linhas projectadas não têm a espessura de um pixel, o comprimento do seu contorno (L_{ij}) foi seleccionado como o parâmetro de medida que melhor "capta" a rugosidade da superfície em função do estado de degradação da rocha.

Das imagens dos painéis estruturados pela projecção da grelha de linhas paralelas, fizeram-se diapositivos que foram posteriormente estudados em sistemas de processamento automático e análise de imagem (Visilog 3.6 e Nachet NS 1500).

X.2.1 - ANÁLISE DE IMAGEM

Como as imagens das linhas projectadas sobre as superfícies do Amarelo de Negrais apresentam um bom contraste entre as linhas (a "preto") e o fundo cinzento (Amarelo de Negrais), utilizou-se uma limiarização simples ("threshold")* na aquisição das imagens binárias representativas das linhas da grelha projectada sobre os painéis (Figs.220 e 221).

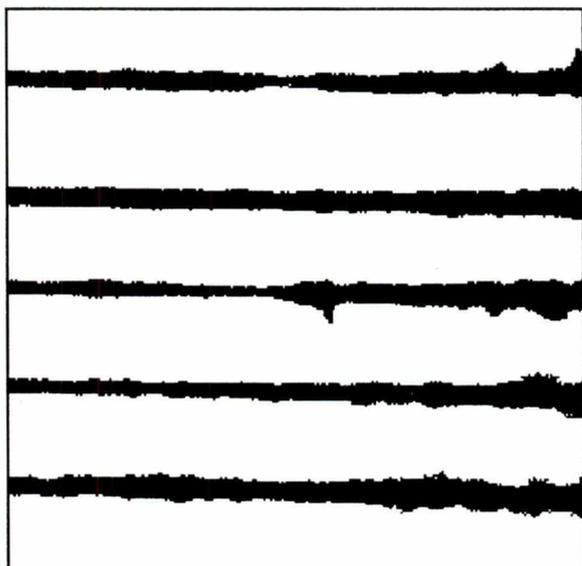


Fig. 220 - Imagem binária das linhas da Fig.218.

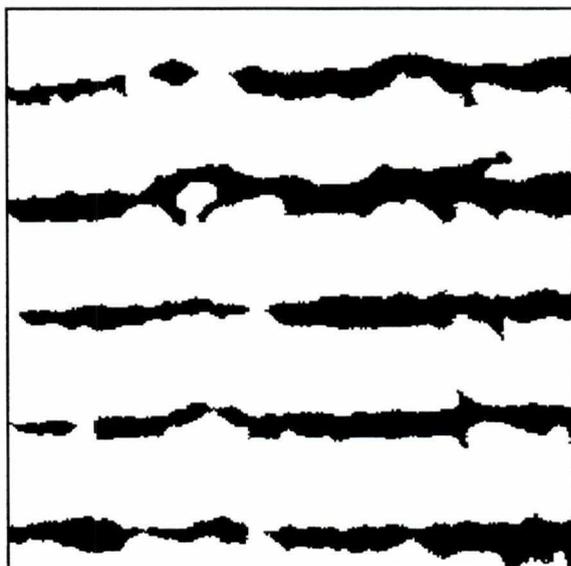


Fig. 221 - Imagem binária das linhas da Fig.219.

Todavia, a necessidade de se obter uma melhor definição das linhas impôs a aplicação de um filtro morfológico ("abertura morfológica condicional")*, para eliminação de alguns artefactos e ruídos óptico e electrónico introduzidos pelo processo de aquisição, e de uma transformada morfológica ("contorno")* para a extração do contorno das linhas (Figs.222 e 223) (Figueiredo, C. 1991).

* Para descrição deste conceitos ver, por exemplo, Figueiredo, C. (1991).

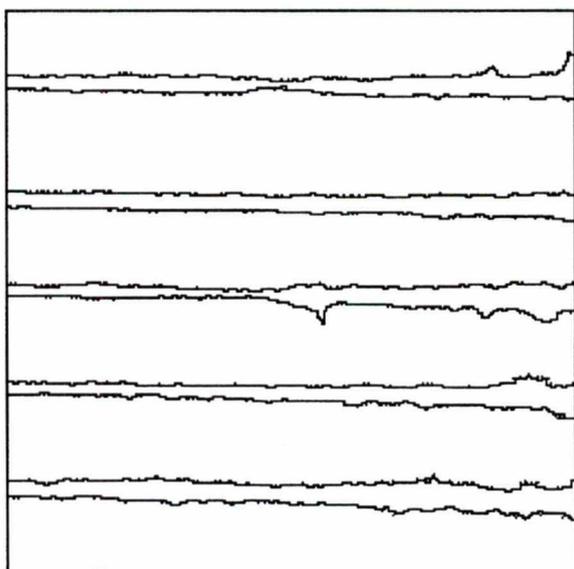


Fig. 222 - Contorno das linhas binárias da imagem da Fig.220.

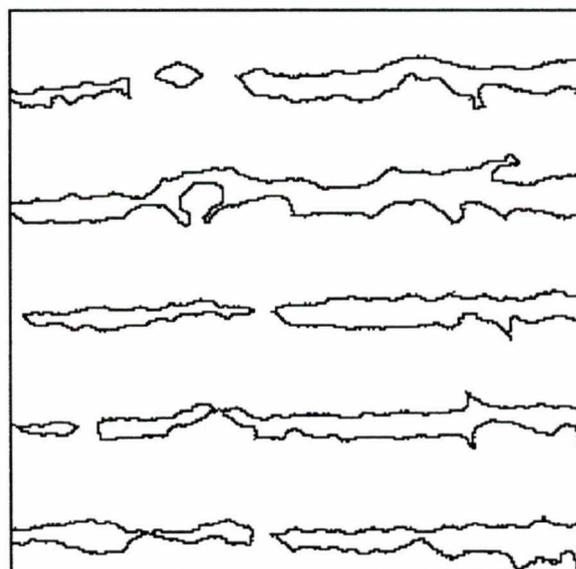


Fig. 223 - Contorno das linhas binárias da imagem da Fig.221.

Os valores do índice de alteração calculados a partir das medições efectuadas sobre cada painel estão representados no gráfico que se segue (Fig.224):

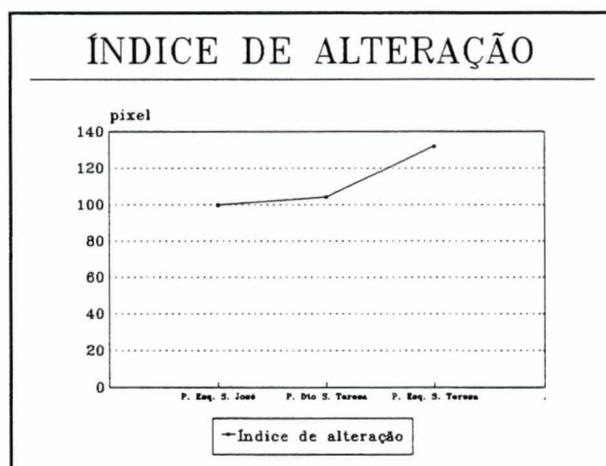


Fig. 224 - Índices de alteração calculados para os diferentes painéis.

É possível dispor, por meio do índice proposto, os painéis por ordem crescente do seu estado de degradação:

Painel esquerdo S. José < Painel direito S. Teresa < Painel esquerdo S. Teresa

em que:

< - indica menos alterado

X.3 - ESTUDO DAS TEXTURAS DAS SUPERFÍCIES DE ALTERAÇÃO DOS PAINÉIS EM AMARELO DE NEGRAIS COM BASE NAS ANÁLISES GRANULOMÉTRICA E DE COVARIÂNCIA DE FUNÇÕES DE CINZENTO

Sendo $f(x)$ a função de níveis de cinzento de uma imagem, a noção de granulometria por abertura de parâmetro $\lambda > 0$, da função $f(x)$, notada por $\psi_{\lambda B}(f(x))$, vem assim dada pela equação seguinte:

$$\psi_{\lambda B}(f(x)) = \frac{\int_Z f(x) dx - \int_Z f_{\lambda B}(x) dx}{\int_Z f(x) dx}, \quad \psi_0(f(x)) = 0 \quad (24)$$

em que:

Z - representa a máscara ou campo de medida;

$f_{\lambda B}(x)$ - é o aberto de $f(x)$ por um hexágono B de tamanho λ , tal que:

$$f_{\lambda B}(x) = \sup_{y \in B_x} (\inf_{z \in B_y} f(z)) \quad (25)$$

Assimilando a imagem em níveis de cinzento a um relevo, a sua abertura por hexágonos de tamanho crescente tem tendência a erodir os picos e a aplanar a superfície. Isto é, a abertura morfológica filtra muito bem certas características em determinados pontos da imagem de cinzento, nomeadamente os picos muito aguçados.

A função de repartição granulométrica $\psi_{\lambda B}(f(x))$ representa, pois, a fracção de volume perdida após abertura por um hexágono B de tamanho λ .

Pode calcular-se a função densidade granulométrica medindo os acréscimos da função de repartição:

$$\Delta \psi_{\lambda B}(f(x)) = \psi_{(\lambda + 1)B}(f(x)) - \psi_{\lambda B}(f(x)) \quad (26)$$

A medida granulométrica por abertura representa a contribuição, para cada tamanho de abertura, do chapéu alto de forma para a textura observada.

A função covariância $Cov(h)$ de uma função aleatória estacionária $f(x)$ é dada, segundo a teoria das probabilidades, pela definição clássica (Serra, 1982):

$$\begin{aligned} Cov(h) &= E\{[f(x) - p][f(x + h) - p]\} \\ &= E[f(x)f(x + h)] - p^2 \end{aligned} \tag{27}$$

em que:

$$p = E[f(x)]$$

Em várias aplicações, os objectos estudados podem não corresponder directamente a um conjunto particular, i.e., a uma função a preto ou branco, em virtude de intrinsecamente apresentarem toda uma gama contínua de níveis de cinzento. Em tais casos, a densidade de luz $f(x)$ pode ser dividida em classes por limiarizações em níveis sucessivos de cinzento. Isto é, a função contínua $f(x)$ pode ser, na prática, aproximada por uma soma directa de funções escada $a_i k_i(x)$, tal que:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n a_i k_i(x), \quad k_i(x) k_j(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } i \neq j \\ 1 & \text{se } i = j \end{cases} \tag{29}$$

Uma outra representação de $f(x)$, desta vez por limiarizações integrais $K_i(x)$ definidas de acordo com a equação (30), facilita uma aproximação semelhante:

$$\begin{aligned} K_i(x) &= \sum_{j=1}^i k_j(x) \quad i = 1, \dots, n - 1 \\ K_0(x) &= 0 \quad e \quad K_n(x) = 1 \end{aligned} \tag{30}$$

Tendo em conta estas últimas observações e a fórmula (28), um estimador $Cov(h)^*$ da covariância para funções de cinzento pode ser dado pela equação (31):

$$Cov(h)^* = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} (a_i - a_{i+1})(a_j - a_{j+1}) D_{ij}(h) - \left[\sum_{i=1}^{n-1} (a_i - a_{i+1}) D_{ii}(0) \right]^2 \tag{31}$$

em que:

a_i - é o nível de cinzento médio da classe de cinzentos i ; e
 $D_{ij}(h)$ - é a matriz de covariância, tal que:

$$D_{ij}(h) = \frac{\sum_{mask Z} K_i(x) K_j(x+h)}{Mes(Z \cap Z_h)} \quad (32)$$

em que:

Z - representa a máscara ou campo de medida;

Z_h - representa campo de medida transladado de h .

Para comparar funções de covariância experimentais estimadas em diferentes direcções para a mesma amostra ou para amostras diferentes, define-se correlograma $\rho(h)$ de acordo com a equação (33):

$$\rho(h) = \frac{Cov(h)}{Cov(0)} \quad (33)$$

que varia entre 1 e 0.

Se $f(x)$ é a função indicatriz de um conjunto aleatório X , então $C(h)$:

$$C(h) = \frac{Cov(h) + p^2}{p} = \frac{P\{x \in X, x+h \in X\}}{P\{x \in X\}} \quad (34)$$

O alcance (a_n) da função covariância é definido por:

$$a_n = \frac{1}{p - p^2} \int_{R^n} [C(h) - p^2] dh \quad (35)$$

X.3.1 - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Para executar o estudo morfo-estrutural da superfície dos painéis alterados, foram feitas fotografias representativas das suas características texturais (vide Figs. 1 e 2, ilustração de casos extremos). As curvas granulométricas e os correlogramas experimentais das respectivas imagens em níveis de cinzento (Figs.225 e 226) são dados nas Figs.227 a 21.

A textura de uma imagem em níveis de cinzento pode ser considerada como sendo composta por elementos de textura. São, pois, as propriedades dos elementos de textura assim como o seu arranjo e distribuição espacial que definem a textura (Tomita et al., 1990). A presença de patologias pode alterar profundamente a textura da rocha sã, modificando o arranjo (dispersão) e as propriedades (tamanho, forma, ordem, etc.) das suas unidades estruturais elementares (elementos de textura), nomeadamente através da introdução de heterogeneidades de natureza variada: lacunas (vazios, etc) e/ou coalescência de motivos estruturais ("clusters") e, ainda, alteração e sobreposição de escalas, etc. (Figueiredo et al., 1995, 1996).

A partir da análise das curvas granulométricas e de covariância experimentais de imagens em níveis de cinzento, texturalmente representativas dos estados de alteração e dos processos de decaimento em curso, algumas observações podem, numa primeira fase, ser feitas separadamente (Figs.225 a 232).

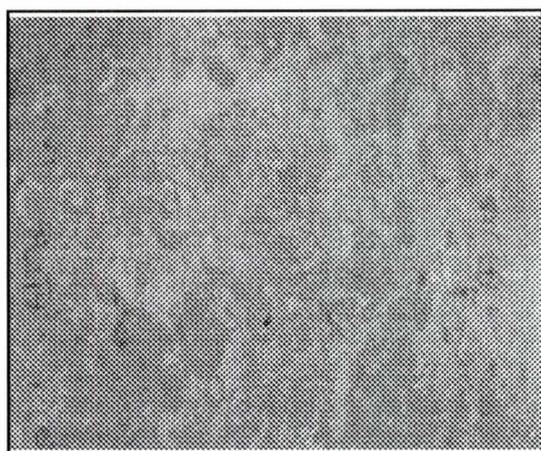


Fig. 225 - Imagem em níveis de cinzento (256x256) de uma área texturalmente representativa do painel da Fig.212 (escala 1:10).

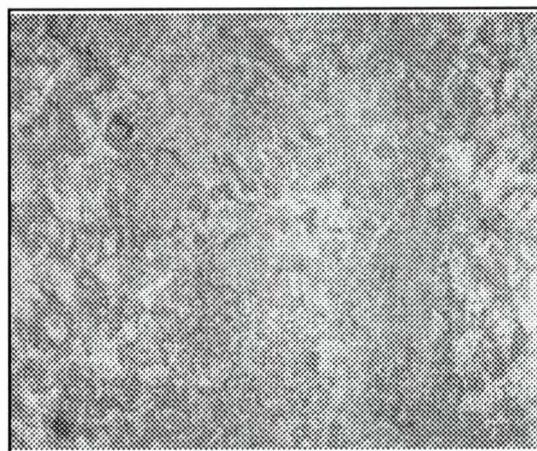


Fig. 226 - Imagem em níveis de cinzento (256x256) de uma área texturalmente representativa do painel da Fig.213 (escala 1:10).

De acordo com a análise das curvas de distribuição granulométrica dadas pelas funções de distribuição cumulativas e dos respectivos histogramas (Figs.227 e 228), podem ser feitas as seguintes observações:

* as diferenças nos histogramas e funções de distribuição cumulativas permitem caracterizar o grau de severidade da degradação dos painéis em elevado, médio e baixo:

$$SS \approx DM < SJE \approx SJD < STD \approx STE$$

em que:

< - indica menos alterado que, etc.;

SS - painel junto ao SS.^{mo}. Sacramento;

DM - painel em frente ao túmulo de D. Maria I;

SJE e SJD - respectivamente painel à esquerda e à direita do altar de S. José;

STE e STD - respectivamente painel à esquerda e à direita do altar de S. Teresa.

* as variações texturais devidas aos processos de alteração modificam os histogramas das rochas sãs do seguinte modo: aparecimento de novos elementos de textura, com aumento da frequência dos elementos de textura de grandes e pequenas escalas;

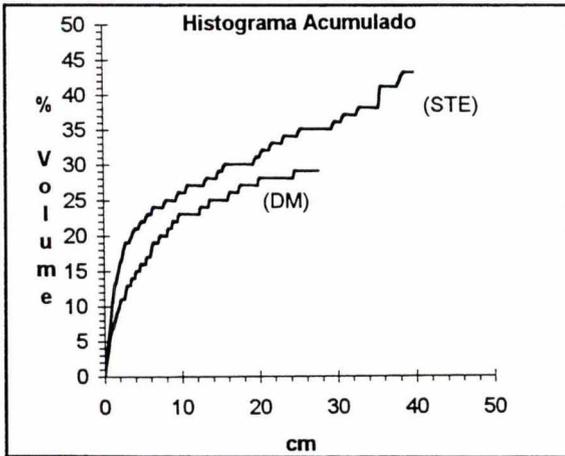


Fig. 227 - Curvas experimentais das funções de distribuição por aberturas de tamanho crescente das imagens em níveis de cinzento.

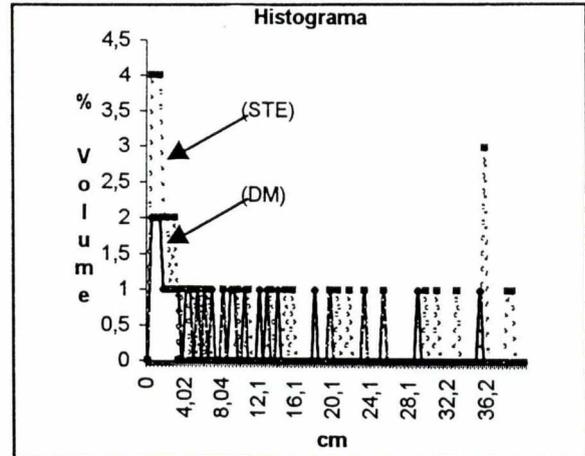


Fig. 228 - Curvas de densidade granulométrica experimental por aberturas de tamanho crescente das imagens em níveis de cinzento.

No que concerne à análise de covariância, obtiveram-se alguns resultados quantitativos. Comparando os correlogramas experimentais obtidos para duas direcções ortogonais para cada painel (e.g. menor e maior dimensão dos painéis, respectivamente direcção horizontal e vertical), podem ser feitas as seguintes observações (Figs.229 e 232):

* a anisotropia textural, inicialmente vista nos painéis são no que respeita a elementos de textura a pequenas escalas (i.e. de tamanho médio inferior a 2-6 cm) (e.g. Fig.229), torna-se cada vez menos visível com a progressão dos fenómenos de alteração (e.g. Fig.230).

* para os painéis mais deteriorados, é claramente visível o desenvolvimento de uma anisotropia zonal para os elementos de textura de maior dimensão (e.g. Fig.230). Isto significa que para estruturas de tamanho médio maior que 6 cm o desenvolvimento dos fenómenos de alteração se faz segundo direcções preferenciais.

* quanto mais alterados os painéis maior a descontinuidade média textural (dispersão) na direcção horizontal (menor dimensão dos painéis). Este facto, principalmente associado a fenómenos de desintegração, está presumivelmente subordinado ao desenvolvimento preferencial segundo a direcção vertical da deterioração promovida pela água da chuva que penetrando através do terraço percola por detrás dos painéis (e.g. Fig.230).

* para cada painel podem, em geral, ser delimitadas macrotexturas em ambas as direcções. Estas, estando estritamente associadas a zonas de reprecipitação de calcite, mostram em geral maior continuidade segundo a direcção vertical, direcção preferencial do seu desenvolvimento (e.g. Fig.230).

Considerando cada direcção e comparando as texturas em níveis de cinzento para todos os painéis, em função da descontinuidade textural média, do tamanho médio dos elementos de textura e da presença de macrotexturas, pode ser observado que (Figs.231 e 232):

* segundo a direcção horizontal (a menor dimensão dos painéis) os painéis podem ser classificados de acordo com a seguinte ordem:

$$SS < DM << SJD < SJE << STD \leq STE$$

em que <, indica menos alterado que, etc.

* segundo a direcção vertical e com base no mesmo tipo de análise a ordem dos painéis é a seguinte:

$$DM << SS \leq SJE <<< SJ < STD < STE$$

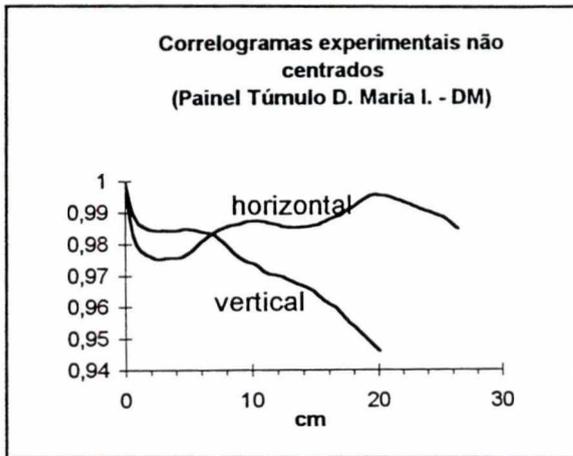


Fig. 229 - Correlogramas experimentais horizontal e vertical da imagem da Fig.14.

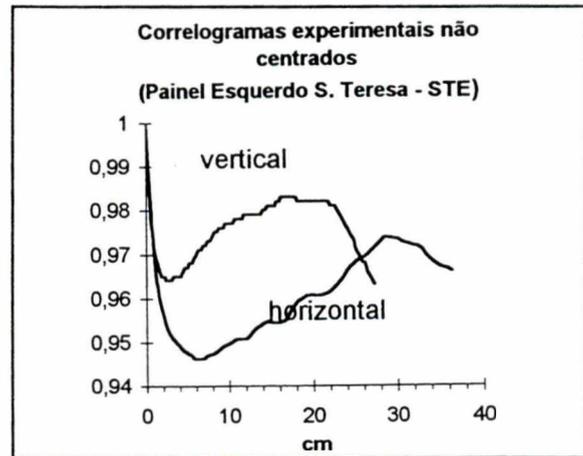


Fig. 230 - Correlogramas experimentais horizontal e vertical da imagem da Fig.15.

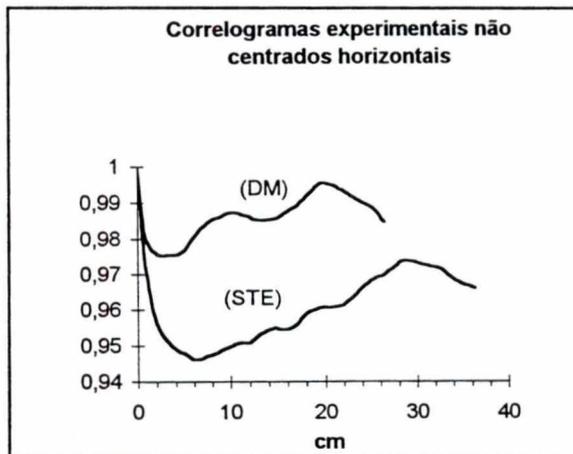


Fig. 231 - Correlogramas horizontais das imagens em níveis de cinzento.

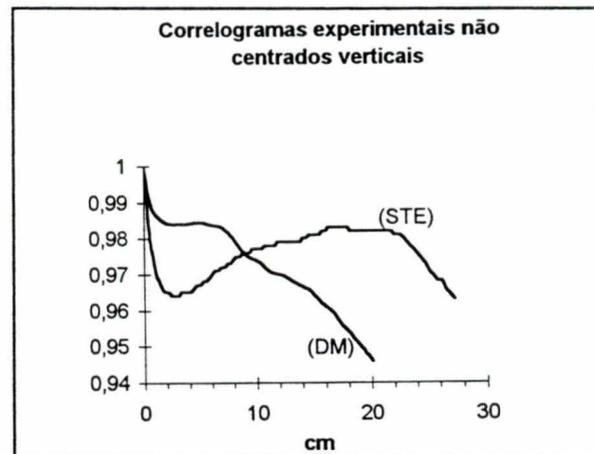


Fig. 232 - Correlogramas verticais das imagens em níveis de cinzento.

Esta abordagem metodológica quando aplicada a fotografias representativas do estado de alteração das superfícies das rochas, mostra que se pode efectuar o estudo morfo-estrutural *in situ* do estado de alteração de superfícies amplas e que não podem ser facilmente manipuladas.

Com base nas análises granulométrica e de covariância efectuadas, os painéis podem ser globalmente ordenados de acordo com o seu estado de alteração mais acentuado, nomeadamente:

$$SS \leq DM \ll SJE < SJD \ll STD < STE$$

Pode, assim, concluir-se que são os painéis da nave virados a NW (STD < STE) que se encontram mais severamente alterados, logo seguidos dos outros painéis da nave virados a SE (SJE < SJD) e, por fim, dos painéis localizados no transepto virados a SW (SS ≤ DM).

O processo de alteração estudado deve ser, todavia, considerado a diferentes escalas. O comportamento da função de correlação experimental a pequena escala reflecte o desenvolvimento de fenómenos de alteração mecânica (fracturação e desagregação ao longo dos fósseis, estilólitos, etc.). Alteração química reflecte-se sobre estruturas a escalas macroscópica e megascópica.

As principais conclusões derivadas a partir da análise das curvas experimentais de granulometria e de covariância para as funções em níveis de cinzento de superfícies de amostras representativas dos painéis são corroboradas pela inspecção visual cuidada.

A interpretação global da informação derivada da análise granulométrica e de covariância de imagens em níveis de cinzento de áreas texturalmente representativas do estado de degradação dos painéis interiores da Basílica da Estrela, permite conhecer o comportamento global da textura assim como detectar e caracterizar estruturas a pequenas escalas, em cada fase de desenvolvimento do processo de alteração.

A granulometria, ao fornecer a distribuição dos tamanhos dos motivos de base constituintes da textura, dá informações sobre a escala da estrutura mais dominante na textura e está perfeitamente apta a discriminar, sobretudo, as texturas extremas. Observa-se assim que os painéis mais alterados mostram alteração de escalas com o processo de alteração que se repercutem sobretudo nos dois extremos da sua curva de distribuição: pequenas e grandes escalas. Para a escala intermédia verifica-se, em geral, uma maior dispersão de classes.

A análise de covariância, ao permitir obter o tamanho médio dos motivos elementares da textura em níveis de cinzento e o seu modo de dispersão no campo de análise (repartição espacial), segundo uma dada direcção, comporta mais informação pertinente e constitui uma ferramenta mais fina que poderá permitir resolver a ambiguidade nos casos difíceis de classificar quanto a severidade da envolvente ambiental. Verifica-se assim a existência de anisotropia textural que condiciona largamente a resposta da rocha às variáveis exógenas, ressaltando a direcção vertical como a direcção preferencial para o desenvolvimento dos diversos fenómenos de alteração mencionados. Observa-se, ainda, que qualquer que seja a direcção considerada, as alterações texturais são mais pronunciadas para os painéis localizados na nave (SJE < SJD < < STD < STE).

Estabeleceram-se, também, critérios quantitativos para discriminar e descrever diferentes estados de alteração que são: o declive da tangente na origem da função de correlação espacial experimental, como uma medida da destruição progressiva da superfície com o desenvolvimento do processo de alteração e a variação do tamanho das "unidades estruturais elementares", como uma medida quantitativa da alterabilidade da rocha.

XI - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Basílica da Estrela é o monumento mais notável do século XVIII da cidade de Lisboa. De estilo que se pode designar neo-clássico, não obstante alguns elementos barrocos, foi mandada construir pela rainha D. Maria I. A sua construção durou onze anos, tendo decorrido entre 1779 e 1790. Com poucas excepções, os materiais usados na sua edificação foram nacionais, tendo sido utilizada " (...) *toda a pedraria competente; isto é a pedra branca chamada liós, do Lugar de Pero Pinheiro, a azul de Cintra, a vermelha dos Negrais, a amarella chamada Sallemá de Loisa, e a preta que se acha nas moldaduras dos Retabulos da Bazílica, de Cascaes...*" (Ayres de Carvalho, 1979; Vasconcelos, 1989).

Foi classificada como monumento nacional, por Decreto de lei de 16-6-1910, e mantém, desde a sua inauguração em 24 de Outubro de 1789, inalterável o seu traçado inicial. Nela tem funcionando, desde 1886, a sede paroquial da Lapa.

Com o objectivo de caracterizar os principais tipos litológicos utilizados na edificação da Basílica da Estrela, estudaram-se alguns calcários cretácicos e jurássicos de pedreiras da região de Lisboa (envolvendo obviamente os concelhos de Lisboa, Cascais, Sintra e Loures), de onde se pensa que poderão ter sido extraídas as rochas do monumento. Entre estes citam-se as variedades: Lioz do Murganhal (**LM**), da Colhoa (**LC**) e de Fervença (**LF**), o Azul de Sintra (**AZ**), o Negro de Mem Martins (**NMM**), o Encarnadão tipo Vidraço (**ETV**)(Campo Raso - Campo de Lapiás), o Encarnadão de Negrais (**EN**), o Amarelo de Negrais (**AN**) e o Encarnadão Vidraço (**EV**) (Pedra Furada).

Foram caracterizadas petrograficamente e a sua classificação, segundo Folk, são as seguintes: esparito (**AZ**), biomicrosparruditos (**LC**, **LF**), biomicrorrudito (**AN**), biointramicrosparito (**ETV**), intrabiomicrosparito (**EF**), biopelmicrosparito (**EN**, **EV**), biomicrosparito (**LM**) e pelmicrito fossilífero (**NMM**). No quadro dos calcários ornamentais portugueses estamos, com excepção do Azul de Sintra, face a calcários ornamentais sedimentares e microcristalinos.

Quanto à composição mineralógica, estas rochas são, globalmente, muito semelhantes entre si, mesmo tendo em conta os elementos não carbonatados presentes (Quadro III, capítulo V).

Relativamente à cor, as amostras (**LM**, **LC** e **LF**), que representam no seu conjunto a variedade designada como Lioz, apresentam coloração bege com tons levemente rosados.

O tom rosado poderá ser justificado pela presença vestigial de ferro e manganês. A cor negra do calcário Negro de Mem Martins (referência **NMM**), poderá estar associada à abundância de ferro, assim como à presença conjunta deste e dos outros elementos de transição detectados, designadamente do titânio e manganês. Aqui importa sublinhar também a presença de enxofre (Quadro V, capítulo V). A cor cinzenta clara a levemente azulada do Azul de Sintra (referência **AZ**), poderá ser atribuída à presença de matéria orgânica em quantidades vestigiais e/ou à presença conjunta dos elementos cromóforos detectados (ferro, titânio e crômio) (Quadro VI, capítulo V). Os tons avermelhados e rosados das amostras **ETV**, **EF** e **EV** poderão estar associados à presença de ferro e manganês, embora este último em quantidades traço. A cor amarela da amostra **AN** (Amarelo de Negrais) poderá estar sobretudo associada à significativa presença de ferro, pelo menos nas amostras estudadas.

Do ponto de vista mineralógico estamos na presença de calcários essencialmente calcíticos, puros, em geral, com teores de carbonato de cálcio (CaCO_3) $\geq 95\%$, e de sílica (SiO_2) inferiores a 3%. As únicas excepções a este quadro geral são o Negro de Mem Martins (**NMM**) e o Amarelo de Negrais (**AN**) (Quadro IV). Do ponto de vista químico, as amostras estudadas mostram grande uniformidade em termos da sua composição química, consubstanciada nos resultados analíticos obtidos. Os dados químicos reflectem o simples facto de os calcários estudados serem predominantemente calcíticos. Porque estes calcários são principalmente calcíticos, os teores de CaO e CO_2 são extremamente elevados, formando mais de 95% do total, em 80% das amostras estudadas. Estas revelam-se, também, relativamente pobres em elementos não carbonatados, em especial em minerais argilosos, apresentando apenas valores vestigiais para o resíduo seco (valores $< 0.1\%$, para a maioria das rochas). Realça-se, no entanto, que a totalidade dos litotipos estudados apresenta valores para os teores do SiO_2 , R_2O_3 e MgO superiores a 1%.

Do ponto de vista petrofísico são, em geral, rochas muito resistentes, com valores de resistência à compressão uniaxial entre os 120 MPa (Encarnadão de Negrais) e 157 MPa (Negro de Mem Martins); pouco porosas, com valores de porosidade ao ar (n_{ar} , %) inferiores a 1.2%; pouco permeáveis, com valores de permeabilidade ao ar (k_{ar} , mD) entre 0.134 (mD) (Encarnadão de Negrais) e 0.496 (mD) (Amarelo de Negrais) (Quadro IX, capítulo V). Relativamente à tensão de ruptura σ_c (MPa), o Azul de Sintra constitui um caso particular, sendo classificado como uma rocha de resistência média ($\sigma_c = 45$ MPa).

Como principais fenómenos de decaimento na Basílica da Estrela, foram identificados:

1) No **exterior**: **infestação biológica** (sobretudo algas nas colunas e paredes da fachada principal, algas e arbustos nas paredes exteriores laterais viradas à norte, junto as escadas que dão acesso ao terraço, e que estão viradas para o pátio interior, líquenes no terraço e pombos pontualmente observados no interior da igreja, mas que ocupam fundamentalmente as torres sineiras); **fissuras, fracturas e lascas** (notadas sobretudo pela abertura dos estilolitos das colunas em Lioz da fachada principal); **sujidades** de cor negra acastanhada (sobretudo em zonas da fachada principal e da cúpula do zimbório).

2) No **interior**: fenómenos de **desintegração granular** (fragmentação, pulverização e lascagem) (sobretudo nos painéis em Amarelo de Negrais que se distribuem no interior da Basílica e com maior intensidade naqueles que se localizam na nave); **escamação** (nas paredes nas paredes da sala de monitorização dos poluentes atmosféricos contígua ao piano, no coro alto); **incrustações** (concreções, muito comuns no chão da igreja, quer no transepto, quer na nave, e, ainda, no coro alto, junto à estação de monitorização dos poluentes atmosféricos e pátina um pouco por todo lado); **crystalização de sais** (eflorescências quase exclusivamente calcíticas, sendo notáveis as estalactites nas abóbadas do transepto norte e do coro junto à estação de monitorização e, ainda, as manchas brancas de calcite reprecipitada no centro dos painéis e um pouco por toda a igreja); **sujidades** acinzentadas ou ligeiramente acastanhadas (nalgumas zonas da igreja); **manchas** (de cor negra acastanhada, nas paredes e na abóbada do zimbório, devidas à escorrência de um material de natureza betuminosa, a partir das juntas das unidades estruturais interiores da Basílica da Estrela; manchas associadas a diferentes teores de humidade das paredes, nomeadamente na galilé).

Relativamente aos fenómenos de decaimento observados no interior da igreja importa frisar que os de maior intensidade (desintegração granular: fragmentação, pulverização e lascagem) estão exclusivamente associados ao Amarelo de Negrais, principalmente quando utilizado em determinado tipo de estrutura arquitectural (painéis). Todavia, de entre estes, somente alguns painéis (os da nave, sobretudo) é que se encontram deteriorados. Isto significa que na abordagem deste problema da Basílica há que considerar sobretudo o Amarelo de Negrais quando associado a determinado tipo de estrutura em pontos geográficos específicos do interior da igreja. É, portanto, primeiro um problema estrutural e só depois "litológico". Efectivamente nas zonas de maiores problemas estruturais é o Amarelo de

Negrais que se encontra mais degradado. A maior deterioração deste litotipo, relativamente ao Lioz, ao Encarnadão e ao Azul de Sintra, frequentemente próximos, pode ser suportada, por exemplo, pelos resultados obtidos nos ensaios de envelhecimento acelerado realizados em laboratório.

A seriação destes litotipos face à sua susceptibilidade à alteração, de acordo com os valores do índice de alterabilidade K , calculado a partir dos dados fornecidos pelos ensaios de envelhecimento realizados em laboratório, é a seguinte:

$$AN > AZ > EN > LF > ETV > NMM > LM > EV > LC$$

Isto permite afirmar que o Amarelo de Negrais AN é a rocha mais alterável de todas as ensaiadas, apresentando, por exemplo, uma alterabilidade no mínimo cerca de duas vezes superior à alterabilidade das outras amostras.

Ao longo do ensaio de envelhecimento o Amarelo de Negrais (AN) é a variedade que apresenta a maior perda de peso (ΔP) ($=0.24\%$ do seu peso inicial, que é cerca de 2.4 vezes superior a do Lioz, 2.2 vezes a do Encarnadão e 1.8 vezes a do Azul de Sintra); um dos mais elevados valores de mobilidade química acumulada (0.094% , do teor inicial); a maior solubilidade dos álcalis sódio e potássio que excede em cerca de 810 vezes a solubilidade registada para o cálcio. É, também, a única variedade que apresenta mobilidade extensa do ião magnésio, ao longo do ensaio, que chega a ser cerca de 15 vezes superior à registada para o cálcio.

A análise mineralógica por DRX e IV dos produtos de alteração amostrados nos painéis construídos em Amarelo de Negrais, mostra que estes são, na sua maioria, constituídos pelos mesmos minerais que encontramos na rocha sã amostrada em pedreiras (*vide* Quadros III e XVIII). Salientam-se, todavia, algumas ocorrências singulares:

1) A presença de pequenas escamas brancas de brilho gorduroso, por vezes totalmente solidárias à rocha e que contaminam praticamente todo o material amostrado sobre esses painéis. Estas escamas foram identificadas como sendo cera. Esta distribui-se de maneira distinta nos diferentes painéis. De todos os painéis estudados, o painel junto ao altar do SS.^{mo} Sacramento, é o que apresenta a menor quantidade deste composto. No outro extremo, temos os painéis direito e esquerdo localizados junto ao altar de S. Teresa. A origem da cera poderá estar associada a campanhas de limpeza e/ou protecção, realizadas no interior da igreja. Atendendo à forma heterogénea como a cera se encontra distribuída e ao mau estado de conservação dos painéis, pode concluir-se que a sua aplicação não terá sido realizada do

modo mais correcto e que os objectivos que presidiram à sua utilização não foram plenamente conseguidos.

2) A ocorrência localizada de trona ($\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e thenardite (Na_2SO_4) na base do painel esquerdo situado junto ao altar de S. Teresa. A presença destes sais é acompanhada de um enriquecimento em sódio igual a cerca de 4 vezes o teor do painel situado do lado direito do mesmo altar (vide Quadro XIX). A origem tão localizada destes sais poderá dever-se, sobretudo, à intensa lixiviação das argamassas usadas na fixação do painel e que é promovida pela escorrência de águas pluviais que se infiltram devido a acentuados problemas estruturais do edifício. Contudo, não são de excluir as campanhas de limpeza e/ou protecção, realizadas no interior da igreja entre 1986 e 1987 (vide capítulo VIII), como responsáveis pela introdução de sódio através dos produtos usados.

No entanto, a análise dos parâmetros termohigrométricos (temperatura, humidade relativa, e outros) leva-nos a admitir condições termohigrométricas idênticas em toda a igreja e como tal, possibilitando a ocorrência destes sais em toda a igreja. Não estão, pois, encontradas justificações termohigrométricas para a ocorrência localizada destes sais, pelo que sai reforçada a tese de fornecimento local da solução salina. Se bem que a atmosfera poluída seja uma fonte importante de iões salinos, não deve ser necessariamente considerada como a principal fonte no interior dos monumentos. Os sais podem ter sido introduzidos por trabalhos de restauro. Contudo, a área afectada por estes sais é muito pequena face à dimensão da igreja, pelo que o decaimento produzido por eles é insignificante.

Numa perspectiva global, podemos dizer que as análises químicas e mineralógicas realizadas reforçam a ideia de predomínio claro dos processos de decaimento de natureza física (fragmentação, pulverização e lascagem) e de quase ausência de fenómenos de alteração química, aqui materializada apenas pela ocorrência muito localizada dos sais antes referidos.

A maioria das eflorescências encontradas corresponde quase exclusivamente à calcite reprecipitada. Pode então afirmar-se que do ponto de vista da tipologia das patologias não há significativa diferença entre os painéis estudados.

Os problemas estruturais do monumento são apontados como responsáveis pelas infiltrações e estas como sendo principal factor diferenciador do comportamento dos diversos painéis de Amarelo de Negrais localizados em pontos distintos da Basílica.

Associada à infiltração de águas pluviais, que dura há mais de vinte anos, a caracterização do microclima interior da Basílica, em termos da frequência de fenômenos de condensação, saturação e evaporação, indica um claro predomínio dos fenômenos de evaporação (vide Figs.233 a 243).

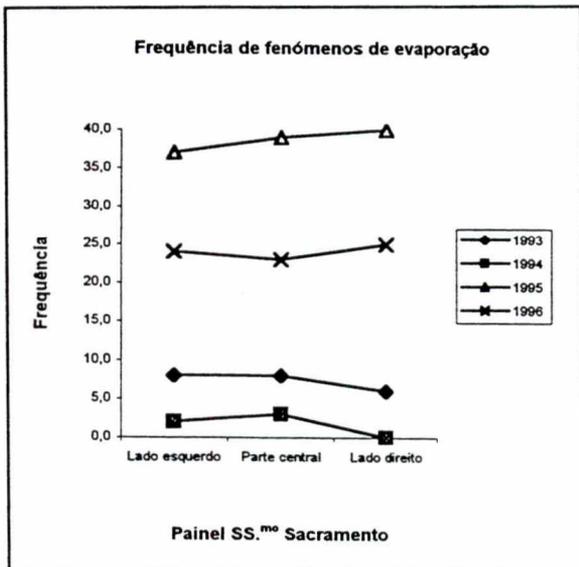


Fig.233 - Frequência anual de fenômenos de evaporação.

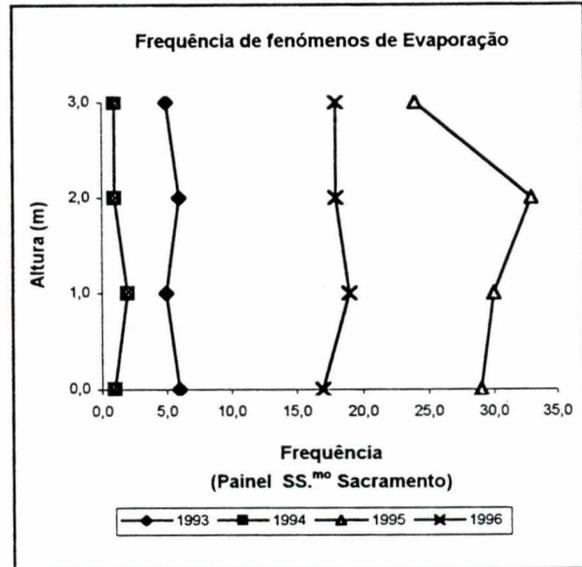


Fig.234 - Variação anual do perfil de frequência de fenômenos de evaporação.

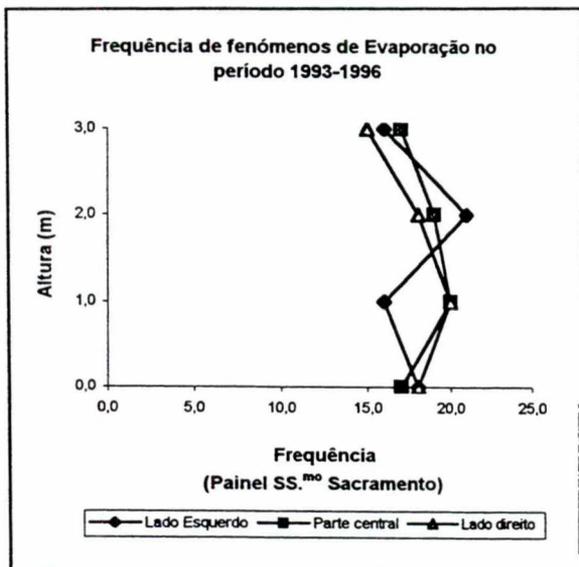


Fig.235 - Perfis das frequências globais de fenômenos de evaporação.

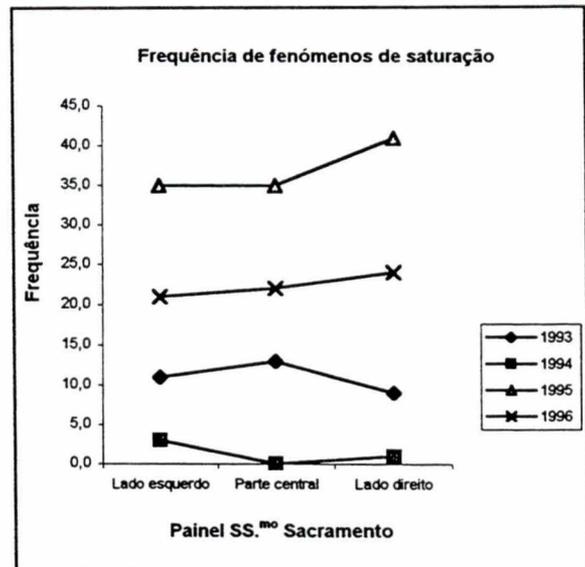


Fig.236 - Frequência anual de fenômenos de saturação.

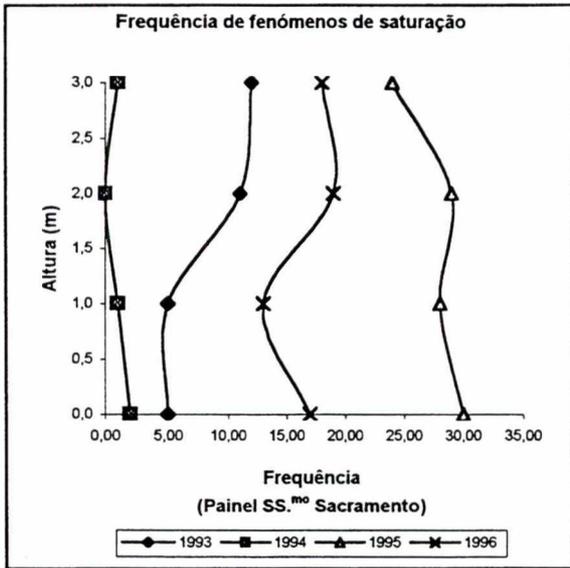


Fig.237 - Variação anual do perfil de frequência de fenômenos de saturação.

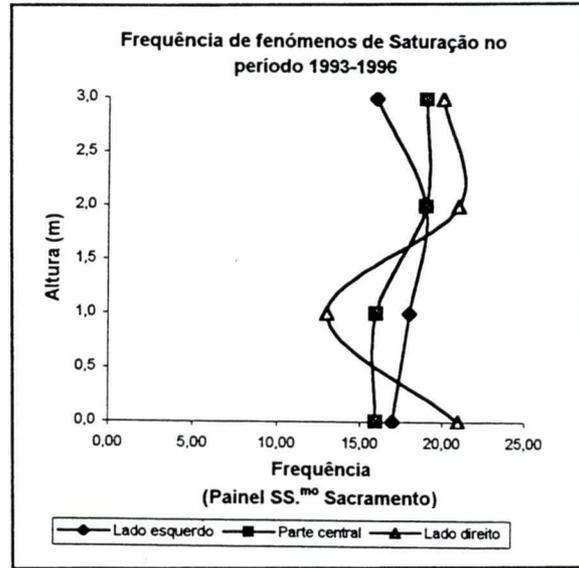


Fig.238 - Perfis das frequências globais de fenômenos de saturação.

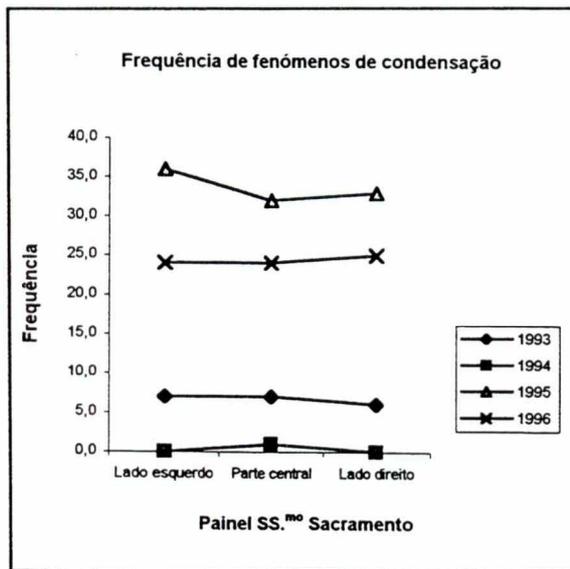


Fig.239 - Frequência anual de fenômenos de condensação.

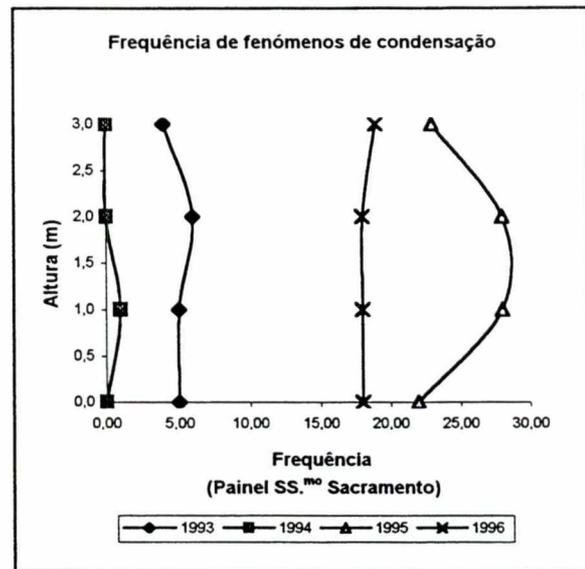


Fig.240 - Variação anual do perfil de frequência de fenômenos de condensação.

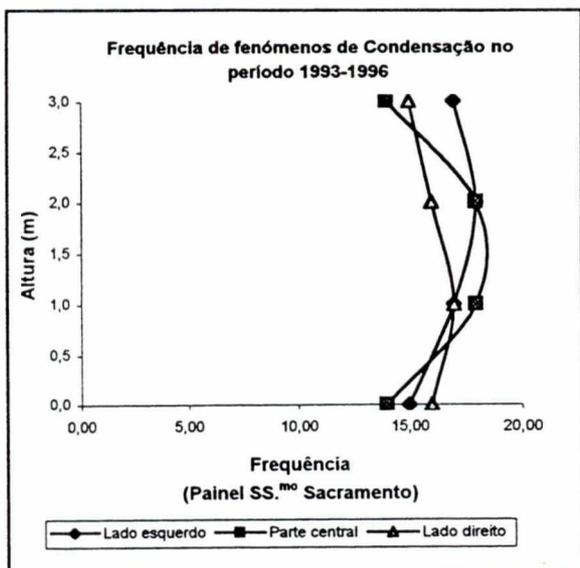


Fig.241 - Perfis das frequências globais de fenômenos de condensação.

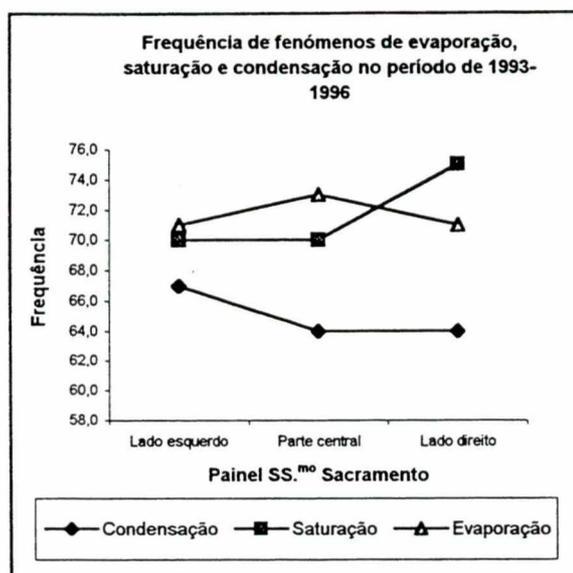


Fig.242 - Variação horizontal da frequência de fenômenos de evaporação, saturação e condensação, no período 1993-1996.

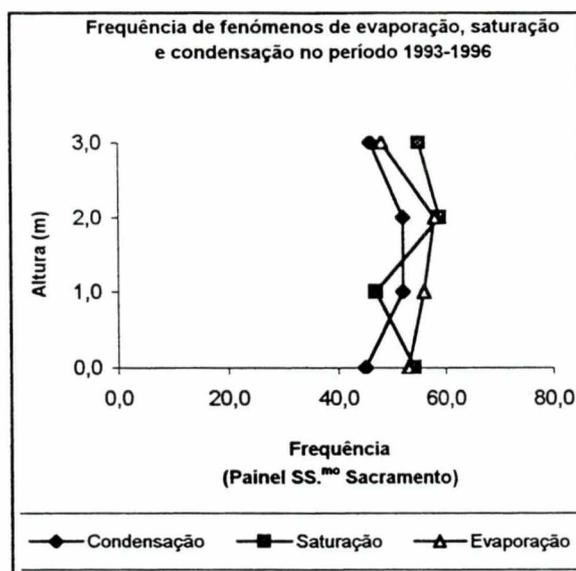


Fig.243 - Perfis das frequências de fenômenos de evaporação, saturação e condensação, no período 1993-1996.

A temperatura e a humidade são, pois, dois factores muito importantes a ter em conta no estudo dos fenómenos de decaimento das pedras da Basílica da Estrela. Importa, por conseguinte, analisar os mecanismos de alteração associados a estes dois factores.

As variações de temperatura induzem expansões diferenciais nos materiais e tensões entre a superfície e a subsuperfície da estrutura, que são, em geral, nefastas. Os ciclos de temperatura induzem inúmeros mecanismos de alteração mecânica e aceleram a rotura por fadiga térmica em materiais susceptíveis; quanto mais rápido for o ciclo, maior o gradiente de temperatura no interior do material, mais abrupta é a frente da onda térmica que se propaga no interior do material, maior a tensão, mais rápido o envelhecimento e o decaimento na camada superficial. De facto o material actua como um filtro "low pass" que atenua a penetração de variações de temperatura rápidas verificadas à superfície. Quanto menor for a duração da flutuação, menos espessa a camada afectada por ela. Deste modo, a análise dos ciclos de temperatura diários ou mais curtos são muito mais importantes do que os sazonais, quando se trata de estudar o comportamento de estruturas cujo valor artístico reside essencialmente na sua superfície lavrada.

Os ciclos térmicos podem causar a desagregação mecânica das partes mais exteriores das pedras, começando nas discontinuidades interiores das rochas e nas interfaces entre os minerais diferentes que constituem a rocha. Um efeito típico é a desagregação granular. A desagregação granular é frequentemente observada em rochas com textura granular ou cristalina (e.g. granitos e mármore), onde as tensões geradas entre os grãos ou grandes cristais com eixos cristalográficos orientados diferentemente, ou tendo diferentes coeficientes de expansão, produzem rotura por fadiga nas interfaces dos cristais e dos grãos. A anisotropia térmica da rede cristalina, o tamanho dos grãos e a sua associação espacial determinam um sistema de tensões internas que resultam na desagregação da superfície em grânulos. Quanto maior forem os grânulos, maiores serão as tensões e mais rápida é a taxa de deterioração. A longo prazo, ciclos de arrefecimento-aquecimento deslocarão ligeiramente os cristais das suas posições originais formando uma estrutura menos regular e mais fraca, o que conduz a desagregação e a perda de grânulos. O dano é irreversível e não pode ser restaurado. Nas rochas sedimentares a natureza do cimento de ligação entre os grânulos constituirá o principal factor de discontinuidade.

Embora continue a persistir desacordo quanto a eficácia da alteração por insolação como causa directa da desintegração das rochas, a opinião é que a maioria da desagregação granular ocorre como resultado de um enfraquecimento prévio da rocha, normalmente devido a mecanismos de alteração físico-químicos actuando em combinação ou em sequência e envolvendo, quer as propriedades intrínsecas da rocha (e.g., albedo, condutividade térmica

e capacidade calorífica, resistência mecânica, porosidade e superfície específica), quer as variações térmicas, a tensão a que o material é sucessivamente sujeito e o papel da humidade e dos sais dissolvidos.

Por outro lado, deve notar-se que o efeito térmico puro é uma abstracção académica, dado que, no campo, a actividade da água sobrepõe-se sempre a esta variável com efeitos sinérgicos.

Uma outra consequência das variações de temperatura são as variações no grau de saturação do vapor de água, e na quantidade de água absorvida pelos corpos. Por exemplo, variações na temperatura em rochas porosas produzem variações na humidade relativa que, estando associadas à evaporação da água nos poros, aumentam a concentração dos sais dissolvidos e conduzem à sua precipitação quando a solução se torna sobressaturada.

Segundo Aires-Barros (1991), convirá ter presente que os ciclos térmicos diurnos do monumento, associados à variação da humidade específica do ambiente, provocam fenómenos de condensação/evaporação sobre a superfície da pedra que são função da sua temperatura, da presença e tipo de sais solúveis e do ponto de orvalho do ambiente.

O perigo de condensação é maior para o fim da noite e no princípio da manhã, quando a humidade específica da atmosfera sobe e a temperatura de algumas partes do monumento, que estão à sombra, não sobe acima do ponto de orvalho dos microporos e da superfície, devido à inércia térmica do monumento.

O fenómeno de condensação/evaporação ocorre não só à superfície das pedras do monumento mas também nos poros e fissuras da massa rochosa, sendo crucial para o comportamento dessas rochas face à intempérie.

O preenchimento dos poros das rochas por água, far-se-á, no caso da Basílica da Estrela, simultaneamente de forma directa e indirecta (infiltrações) pelas águas pluviais e, ainda, através de fenómenos de condensação.

Os ciclos de secagem-molhagem, mesmo na ausência de poluição, podem induzir alterações severas pelo que a água das chuvas e/ou de condensação e a radiação solar, poderão, só por si, justificar o comportamento das pedras do monumento.

As moléculas de água absorvidas pelo material pode determinar tensões internas e alguma deformação da estrutura; a quantidade de água absorvida (e por conseguinte, a tensão

e deformação internas) está em equilíbrio com a RH e também, em menor extensão, com a T. Estas deformações tendem a ser irreversíveis e extremamente perigosas em materiais envelhecidos (Camuffo, 1998).

De entre os vários efeitos perniciosos, de que a água contida nos microporos pode ser responsável, destacam-se (Aires-Barros, 1991):

- 1 - Dissolução de algumas ligações cristalinas, com enfraquecimento da resistência mecânica do mineral;
- 2 - Recristalização de soluções por evaporação, que provoca variação da capacidade de transpiração da rocha, conduzindo a microfracturas, lascagem e desintegração e enfarinhamento da rocha;
- 3 - Transporte de sais através da rocha, principalmente pelas águas da chuva que, infiltrando-se a partir do terraço, atravessam a cúpula e percolam pelas rochas das paredes interiores da igreja, promovendo, por evaporação, a obstrução dos capilares e a formação de eflorescência;
- 4 - Sobrepressão no interior da franja capilar quando se dá a evaporação da água e a obstrução dos capilares, o que pode conduzir à escamação das superfícies alteradas;
- 5 - Ciclos de secagem-molhagem. A molhagem é promovida directamente pela chuva, e indirectamente pelas águas de infiltração e condensação; a secagem pela evaporação. Esta alternância promove dissolução, migração e recristalização de sais solúveis, com os efeitos mecânicos mencionados;
- 6 - Actividade biológica epi ou endolítica.

A temperatura do ar é, ainda, um factor importante na determinação do habitat para a vida biológica e no controlo do metabolismo. A temperaturas abaixo dos 20°C os processos metabólicos são reduzidos e a biodegradação devida a bactérias pode ser muitas vezes prevenida com adequada escolha dessa e de outras variáveis ambientais (e.g. humidade, luz ventilação) (Camuffo, 1998).

Elevados níveis de humidade, especialmente quando associados com $T > 20^{\circ}\text{C}$, favorece a decomposição biológica. Para além da RH e T, a intensidade do ataque microbiano é basicamente controlado pela estrutura e química do respectivo substrato (e.g. porosidade, superfície interna, biosusceptibilidade do material, e em segundo lugar é

determinada pelos níveis de poluição do ar (e.g. sais e materiais orgânicos) como também de outras condições ambientais (e.g. ventilação, luz, pH, potencial redox)(Camuffo, 1998).

No estudo "in situ" de fenómenos de decaimento das pedras dos monumentos, considerar apenas as características físicas do ar é analisar apenas uma parte do problema. O papel do microclima só pode ser estabelecido se os processos envolvidos forem acompanhados "in situ" da medição simultaneamente do microclima com adequada precisão. Medições sofisticadas e extremamente precisas do microclima não explicam nada se não forem relacionadas com processos reais e definitivos tendo lugar "in situ". As medições devem ser coordenadas com as observações. É, importante acompanhar "in situ" como a flutuação dos parâmetros considerados funciona contra a durabilidade do objecto. Todas as variações bruscas são perigosas, assim como os ciclos diários desses parâmetros do clima. Os ciclos diários são repetitivos e o efeito do "stress" é de natureza cumulativa, acabando por conduzir à rotura por fadiga (Camuffo, 1998).

As variações sazonais, embora tenham uma larga amplitude, são menos perigosas, dado que este ocorrem mais lentamente, num tempo mais longo do que o tempo de relaxação do objecto e com uma taxa mais lenta do que a penetração do calor e da humidade no material, de modo que não há "stress" significativo entre a camada externa e a interior. Contudo, estas variações também podem ser perigosas no caso de materiais química e texturalmente não homogéneos, em que os grãos têm comportamento diferenciado.

Menos e melhores pontos de amostragem conduzem a menor sobrecarga, menos erros, melhores medições e, por conseguinte, melhor informação.

XII - PERSPECTIVAS FUTURAS

Espera-se poder ajustar ao conjunto de dados obtidos ao longo dos ensaios de envelhecimento acelerado, modelos estatísticos que permitam obter curvas de alterabilidade geoquímica, para as rochas, e de mobilização química, para os elementos. Isto permitirá prever, de forma quantitativa, a evolução do comportamento das rochas ensaiadas face a ambientes comparáveis.

Relativamente ao estudo dos fenómenos de alteração da Basílica da Estrela, será importante aceder à terceira dimensão dos painéis, o que nos daria, "in situ", informação sobre o interior da rocha e sobre a estrutura do monumento, a meu ver imprescindíveis à compreensão dos fenómenos em curso. Aqui poderá ter interesse explorar a informação coligida com os ultrassons; dar continuidade ao estudo das águas pluviais e de percolação que depois de atravessarem a estrutura e lixiviam as rochas e as argamassas das juntas dão origem as incrustações e eflorescências descritas.

Continuar os estudos sobre a caracterização dos poluentes atmosféricos, não obstante a atmosfera poluída não ter sido considerada a principal fonte de iões salinos, na abordagem dos fenómenos de alteração estudados.

Dar continuidade e, sobretudo, incrementar a contribuição das técnicas de análise de imagem na quantificação da alteração e alterabilidade das rochas, reforçando a sua componente "não-destrutiva" e "contact-free". Com o aparecimento, no mercado, dos sistemas digitais no início dos anos 80, os sistemas de análise de imagem passaram a constituir poderosas técnicas não destrutivas de análise, emprestando novas possibilidades aos já clássicos estudos de alteração e alterabilidade de rochas, quer em laboratório, quer em estudos "in situ" (i.e., em monumentos e pedreiras).

Os actuais métodos e técnicas de processamento digital e de análise de imagem permitem, face aos métodos clássicos de descrição petrográfica ou de microscopia quantitativa, um salto qualitativo e quantitativo na caracterização das estruturas e texturas dos materiais, possibilitando a integração de melhores dados e, por conseguinte, uma concepção mais realista dos modelos dos mecanismos de decaimento envolvidos nos processos em estudo. Veja-se, por exemplo, o potenciar de unidades de "input" como os microscópios óptico e electrónico, através da realização de granulometrias de meios contínuos, como são os vazios (poros e fissuras) e a componente sólida (os minerais) das rochas, etc..

Neste domínio, procurando contribuir para uma melhor caracterização dos calcários aqui estudados, iremos dar continuidade:

- 1- Aos estudos da evolução macrottextural de superfícies rochosas submetidas a ensaios laboratoriais de fadiga térmica, implicados sobretudo na incessante procura e definição de melhores índices de alteração/alterabilidade que sejam expeditos e discriminantes, isto é, de elevada resolução, susceptíveis de diferenciar estádios intermédios de alteração/alterabilidade e de agressividade da envolvente ambiental.
- 2 - À caracterização micropetrográfica dos vazios (poros e fissuras) e da componente sólida (minerais) destes calcários, designadamente através da aplicação, a inúmeras fotografias obtidas por microscopia electrónica, de técnicas de análise: volumétrica; paramétrica simples e harmónica (análise espectral morfológica, por exemplo); granulométrica; de dispersão (covariâncias morfológicas, por exemplo); de anisotropia (rosa de direcções, covariância morfológica, etc); e de fractografia. Com grande interesse do ponto de vista petrofísico, far-se-ão, ainda, simulações morfológicas das direcções preferenciais de propagação de fracturas a partir de uma dada estrutura porosa e estudos de "multi-imagens" para o estabelecimento de relações estruturais e espacial entre os diversos componentes petrográficos.
- 3 - Aos estudos realizados "in situ" nos monumentos, designadamente através:
 - 3.1 - do melhoramento das técnicas não-destrutivas e "contact-free" (perfilometria, análise granulométrica e de covariância de funções de cinzento, etc.) utilizadas na quantificação do estado de alteração superficial de grandes estruturas;
 - 3.2 - do desenvolvimento e/ou utilização de "software" para a realização de mapeamento das patologias e dos diversos litotipos utilizados na edificação de monumentos históricos;
 - 3.3 - da realização de estudos dos padrões de distribuição das diferentes patologias e suas possíveis correlações (por exemplo, patologia α / patologia β ; patologia/litotipo; patologia/litotipo/estrutura).
 - 3.4 - do estabelecimento de critérios objectivos para a caracterização e quantificação das diversas patologias.

3.5 - Ao desenvolvimento de um "package", assente na concepção de algoritmos automáticos ou semi-automáticos (interactivos) de processamento digital e análise de imagem, que no seu conjunto constituirão a ferramenta de base em futuros trabalhos neste domínio. Isto far-se-à através da programação dos inúmeros operadores distribuídos pela imensa bibliografia temática existente e do desenvolvimento de outros adaptados à resolução de problemas pontuais ou específicos.

Dos trabalhos a realizar neste domínio, espera-se:

* em primeiro lugar, contribuir para o preenchimento de uma importante lacuna que se reporta ao desenvolvimento de métodos e à definição de índices expeditos para a quantificação e caracterização dos fenómenos superficiais de alteração de megaestruturas rochosas "in situ";

* em segundo lugar, obter informação, quer de índole específica (através da aplicação de técnicas de análise de "multi-imagens", por exemplo), quer de índole complementar, isto é, informação só possível recorrendo a sistemas desse tipo, como sejam por exemplo: análises granulométricas de meios contínuos e a simulação morfológica de redes de fracturas e das suas direcções preferenciais de propagação tendo em conta uma dada estrutura porosa, etc..

Há, no entanto, a realçar que não raras vezes a resolução de inúmeros problemas pontuais ou específicos impõe a concepção de novos algoritmos ou a adaptação dos já fornecidos pelos inúmeros "software" de aquisição e processamento e análise de imagem correntemente comercializados. Convém ter presente que não abundam, podendo mesmo afirmar-se que são raros ou muito poucos os trabalhos, tanto a nível nacional como internacional, neste domínio, aplicados aos estudos da alteração e alterabilidade de rochas (em particular carbonatadas), quer em laboratórios, quer "in situ" (monumentos e pedreiras).

É inegável a relevância que o tipo de informação aqui coligida poderá ter sobre os trabalhos de conservação e preservação, nomeadamente na eleição, quer do(s) tipo(s) de intervenção a efectuar, quer dos agentes de protecção. Uma intervenção inadequada poderá danificar mais o monumento.

XIII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES-BARROS, L. & GRAÇA, R. C. (1971) - A percolação forçada de água através das rochas e a previsão da alterabilidade. Técnica, nº412, pp. 59-72.
- AIRES-BARROS, L., GRAÇA, R.C & VELEZ, A. (1975) - Dry and wet laboratory tests and thermal fatigue of rocks. Eng. Geol., vol. 9, pp. 249-265. Amsterdam.
- AIRES-BARROS, L. (1977) - Experiments on thermal fatigue of non-igneous rocks. Eng. Geol., vol. 11, pp. 227-238. Amsterdam.
- AIRES-BARROS et al. (1977) - Nota preliminar sobre a geoquímica do calcário dolomítico empregue na Sé-Velha de Coimbra. Com. Serv. Geol. Portugal, t. LXII, pp. 135-160. Lisboa.
- AIRES-BARROS, L. (1980, 1981) - Relatórios internos da actividade do LAMPIST durante o período de 1980-1981 referentes a estudos sobre amostras do Mosteiro da Batalha e Mosteiro de Celas de Coimbra e, ainda, das pedreiras do Reguengo do Fetal e do Lagedo.
- AIRES-BARROS et al. (1983) - Estudos da alteração de calcários empregues em monumentos de Coimbra. Relatório interno.
- AIRES-BARROS et al. (1984, 1985 e 1986) - Relatórios internos dos estudos efectuados sobre os fenómenos de alteração ocorrentes, respectivamente, no Portal Axial ou de S. Vicente, no Claustro e no Portal Sul (lateral) do Mosteiro dos Jerónimos, Lisboa.
- AIRES-BARROS, L. & MIRANDA, A. M. (1987/88) - Geotechnical applications of dry and wet tests on thermal fatigue of rocks. IIIth Int. Cong. of Applied Mineralogy. Orléans.

- AIRES-BARROS, L., & ALVES, L. M. (1988) - Geoquímica e Génese das "Crostras Negras" dos Calcários dos Portais do Mosteiro dos Jerónimos. *Geociências*, nº408, pp. 417-422.
- AIRES-BARROS & MIRANDA, A. M. (1989) - Weathering and weatherability of rocks and its significance in geotechnics. *Theophrastus publications*, S.A. Athens, Greece. pp. 605-645.
- AIRES-BARROS, L., BASTO, J., GRAÇA, R. C., ALVES, L. M., ESTEVES, L., CARMO, A. & RIBEIRO, I. (1989) - The decay of limestones caused by saxicolous lichens: the case of Jerónimos Monastery (Lisboa - Portugal). *Proceed. 1st Int. Symp. The conservation of Monuments*. Bari. pp. 225-229.
- AIRES-BARROS, L., GRAÇA, R. C., ALVES, L. M., CARMO, A. M. M. & RIBEIRO, M. I. M. (1989) - Stone Decay: Effects of Weathering and Air Pollution. The Case of Jerónimos Monastery (Lisbon - Portugal). *Proceed. Symp. Science, The Technology and European Cultural Heritage*, Bologna, Italy. pp. 876-800.
- AIRES-BARROS, L. (1990) - Weathering and air pollution on limestones of Jerónimos Monastery, Lisbon, Portugal. *Men. Not.*, nº109, pp. 117-130.
- AIRES-BARROS, L. (1990) - O decaimento da pedra dos monumentos. Causas, avaliação e controlo. *Ingenium*. nº 36. *Rev. Ordem Eng.* pp. 4-13.
- AIRES-BARROS, L. (1991) - Alteração e Alterabilidade de Rochas. INIC. 384 pp.
- AIRES-BARROS, L. (1991) - Os Monumentos e a Doença da Pedra. *Colóquio Ciências, Revista de Cultura Científica*. Ano 3, nº 9. Fundação Calouste Gulbenkian. Dezembro 1991. pp. 59-74.

- AIRES-BARROS, L., MAURÍCIO, A., FIGUEIREDO, C (1991) - Experimental Correlation between alterability indexes obtained by laboratorial ageing tests and by image analysis. *Proceed. Colloque Int. La détérioration des Matériaux de Construction*, La Rochelle, France. pp. 199-208.
- AIRES-BARROS, L., MAURÍCIO, A., FIGUEIREDO, C. (1991) - Aplicação do Perfilómetro de Linhas à Caracterização da Alteração e Alterabilidade de Rochas Ornamentais Carbonatas. *Memórias e Notícias*, Coimbra, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Univ. Coimbra, nº 112. pp. 67-80.
- AIRES-BARROS, L., MAURÍCIO, A., FIGUEIREDO, C. (1992) - Line profilometer and surface weathering characterization of carbonate ornamental rocks. *RecPad92*, pp 373-384.
- AIRES-BARROS, L., MAURÍCIO, A., FIGUEIREDO, C. (1994) - Profilometer and Image analysis applications to "in-situ" study of stone decay phenomena. *Proceed. 3rd Int. Symp. The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Venice. pp. 19-24.
- AIRES-BARROS, L., BASTO, M. J. & PEREIRA, A. (1995) - Os minerais das patologias do Portal da Igreja de Santa Cruz em Coimbra. *IV Congresso Nacional de Geologia. Museu e Laboratório Mineralógico e geológico. Univ. Porto. Memória nº 4*, pp. 151-154.
- AIRES-BARROS, L., MAURÍCIO, A., FIGUEIREDO, C. (1995) - Morphological analysis and quantification of rock weathered surfaces: preliminary study. *Memória nº4, Porto*. pp. 183-188.
- AIRES-BARROS, L. & BASTO, M. J. (1997) - A mineralogia na conservação e restauro de monumentos: o caso do Portal da Igreja de Santa Cruz em Coimbra. *Proceed. 8th National Meeting of the Portuguese Materials Society. Vol. 2*. pp. 307-314.

- ARNOLD & ZEHNDER (1989) - Salt weathering on monuments. Proceed. VIth Int. Cong. on Deterioration and Conservation of stone. Torun. pp. 138-148.
- CAMUFFO, D. (1998) - Microclimate for cultural heritage. Developments in Atmospheric Science, 23. Elsevier. 415 pp.
- CARROL, D (1970) - Rock weathering. Plenum Press. N.Y. 203 pp.
- CAROZZI, A. V. (1975) - Sedimentary rocks: Concepts and History. Halsted Press. Pennsylvania. 468 pp.
- CARVALHO, AYRES DE. (1979) - A Basílica da Estrela no Segundo Centenário da sua Fundação. Publ. da Biblioteca Nacional de Lisboa (Secretaria de Estado da Cultura - Direcção Geral do Património Cultural). Lisboa. 36 pp.
- CARVALHO, A. M. G. (1979) - Geologia. Vol. II, Ciências Naturais. pp. 87-298.
- CASQUILHO, M. R. (1971) - Materiais de Construção. Vol. 1. Liv. Bertrand. 297 pp.
- CHILINGAR, G. V., BISSEL, H. J. & FAIRBRIDGE, R. W. (1967) - Carbonate rocks. Developments in Sedimentology 9A. Elsevier Publishing Company. N.Y. 471 pp.
- CHILINGAR, G. V., BISSEL, H. J. & FAIRBRIDGE, R. W. (1967) - Carbonate rocks. Developments in Sedimentology 9B. Elsevier Publishing Company. N.Y. 413 pp.
- CHOFFAT, P. (1885) - Recueil de monographies stratigraphiques sur le système crétacique du Portugal. Première étude. Contrées de Cintra, Bellas et de Lisbonne. Mem. Sec. Trab. Geol. Portugal. Lisboa. 68 pp.
- CHOFFAT, P. (1900) - Recueil de monographies stratigraphiques sur le système crétacique du Portugal. Deuxième étude. Le Crétacique superieur au Nord du Tage. Mem. Serv. Geol. Portugal. Lisboa. 287 pp.

- DIONÍSIO, M. A. A. R. (1997) - A pedra de Ançã: características mineroquímicas e petrofísicas. Tese de Mestrado, IST. Lisboa. 121 pp.
- FICHTER, L. S. & POCHÉ, D. J. (1993) - Ancient environments and the interpretation of geologic history. Second edition. Macmillan publishing company. N.Y. 236 pp.
- FIGUEIREDO, C. (1991) - Relatório de actividades científicas. INIC. Provas de acesso à categoria de Assistente de Investigação. Lisboa.
- FIGUEIREDO C., MAURÍCIO A., AIRES-BARROS L. (1995) Morphological analysis and quantification of rock weathered surfaces: preliminary study. Memória nº4, Porto. pp. 183-188.
- FIGUEIREDO, C., MAURÍCIO, A. & L. AIRES-BARROS (1996) - Grey Tone Function Covariance applied to the analysis and quantification of rock decayed surfaces: a preliminary study. 8th Portuguese Conference on Pattern Recognition, Recpad'96. Guimarães. Portugal. pp. 237-241.
- FIGUEIREDO, P.R. (1997) - Estudo tecnológico de rochas calcárias da região de Lisboa (Jurássico e Cretácico). Tese de Doutoramento. IST. Lisboa. 179 pp.
- FIGUEIREDO, P. & AIRES-BARROS, L. (1998) - The Lioz: The natural stone of Lisbon. II Congreso Int. de la Piedra. Madrid. 9 pp.
- FITZNER, B. (1990) - Mapping of natural stone monuments - Documentation of lithotypes and weathering forms. In «Analytical Methodologies for the Investigation of Damaged Stones». Advanced Workshop. Pavia (Italy). 24 pp.
- GOMES, C. S. F. (1982) - Argilas. O que são. Para que servem. O que temos. Geonovas, Vol. 1, Nº4, pp. 61-80.

- HENRIQUES, F. M. A. (1991) - A conservação do Património Histórico Edificado. *Ingenium. Rev. Ordem Eng.* Fevereiro. pp. 39-54.
- HUANG, W. T. (1962) - *Petrology*. McGRAW-HILL, Book Company, Inc. N.Y. 480 pp.
- JUNG, J. (1969) - *Précis de pétrographie. Roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives*. Masson et C^{ie}, éditeurs. 327 pp.
- KLEIN, C. & HURLBUT, C. S. (1993) - *Manual of mineralogy (after James D. Dana)*. John Wiley & Sons, Inc. N.Y. 681 pp.
- LANGLEY, R. (1970) - *Practical statistics simply explained*. Dover Publications, Inc. N.Y. 399 pp.
- LENCASTRE, A & FRANCO, F. M. (1984) - *Lições de hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa. FCT. 451 pp.
- LINACRE, E. (1992) - *Climate data and resources. A reference and guide*. Routledge. N.Y. 366 pp.
- MARTINS, O. R. (1984) - A indústria extractiva das rochas ornamentais calcárias portuguesas. *Exportações. Geonovas*, vol. 1, nº 7. pp 57-72.
- MARTINS, O. R. (1991) - *Estudo dos calcários ornamentais da região de Pêro Pinheiro*. Estudos Notas e Trabalhos. D.G.G.M. t.33, pp. 105-163.
- MASON, B. & MOORE, C. B. (1982) - *Principles of geochemistry*. Fourth edition. John Wiley & Sons. N.Y. 344 pp.
- MAURÍCIO, A. M. A. S. (1994) - *Descrição, Análise e Modelagem de Alguns Factores de Alteração e Alterabilidade de Rochas Carbonatadas (O Caso do Mosteiro dos Jerónimos)*. Tese de Doutoramento. IST. 359 pp.

- MEURIG, P. J. (1987) - Applied mineralogy. A quantitative approach. Graham & Trotman. USA. 259 pp.
- MIRANDA, A. M. (1986) - Contribuição para o conhecimento da evolução mineralógica e geoquímica da meteorização no maciço eruptivo de Sintra. Estudos, Notas e Trabalhos, D.G.G.M., t. 28, pp. 3-86.
- MIRANDA, A. M. (1986) - Alteração experimental de rochas. A contribuição do Instituto Superior Técnico. Geotecnia, nº 48, pp. 3-47.
- MIRANDA, A. M., SILVA, C. G. & FIGUEIREDO, P. R. (1991) - Calcários ornamentais da área de Lisboa. Rochas & Equipamentos, nº 24, pp. 26-38.
- MOITA, I. (1988) - Basílica da Estrela, in Monumentos e Edifícios Notáveis do Distrito de Lisboa, pp. 57-61.
- MOORE, C. H. (1989) - Carbonate diagenesis and porosity. Developments in Sedimentology 46. Elsevier. N.Y. 338 pp.
- NORBERTO de ARAÚJO (1993) - Peregrinações em Lisboa. Vol. XI, 102 pp. Vega. Editores.
- PEREIRA DE SOUSA, F. (1897/8) - Subsídios para o estudo dos calcareos do distrito de Lisboa. Rev. Eng. Militar, n.º 1, 3, 5 e 6.
- PEREIRA, J. F. (1992) - Arquitectura barroca em Portugal. Biblioteca Breve. Vol. 103. Instituto de Cultura e Língua Portuguesa. 195 pp.
- PEREIRA, S.S. M. (1993) - Estudo do Decaimento das Rochas do Interior da Basílica da Estrela. Seminário Geol. Aplicada. IST. 124 pp.

- PETTIJOHN, F. J. (1957) - Sedimentary rocks. Second edition. Harper & Row, Publishers. N.Y. 718 pp.
- PETTIJOHN, F. J. (1975) - Sedimentary rocks. Third edition. Harper & Row, Publishers. N.Y. 628 pp.
- PROENÇA CUNHA, P. M. R. R. (1985) - Estudo petrofísico de rochas calcárias da Beira Litoral. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Univ. Coimbra, N° 99, pp. 187-212.
- RAMALHO, M. M., REY, J., ZBYSZEWSKI, G., ALVES, C. A. M., MOITINHO DE ALMEIDA, F., COSTA, C. & KULLBERG, M.C. (1981) - Carta geológica de Portugal na escala 1/50 000. Notícia explicativa da folha 34-C (Cascais). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- RAMALHO, M. M., PAIS, J., REY, J., BERTHOU, P.Y., ALVES, C. A. M., PALÁCIOS, T., LEAL, N. & KULLBERG, M.C. (1993) - Carta geológica de Portugal na escala 1/50 000. Notícia explicativa da folha 34-A (Sintra). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- REY, J. (1972) - Recherches géologiques sur le Crétacé inférieur de l'Estremadura (Portugal). Mem. ser. Geol. Portugal, N.S., n° 21, 477 pp.
- RIBEIRO, A., ANTUNES, M. T., PEREIRA, M. P., ROCHA, R. B., SOARES, A. F., ZBYSZEWSKI, G., MOITINHO DE ALMEIDA, F., CARVALHO, D. & MONTEIRO, J. H. (1979) - Introduction à la géologie générale du Portugal. 114 pp. Lisboa. Serviços Geológicos de Portugal.
- RODRIGUES, J.D. (1978) - Sobre a determinação quantitativa da alterabilidade. Um caso de aplicação. Geotecnia, n° 24, pp. 29-42.

- RODRIGUES, J.D. (1981) - Estudos de alteração e de conservação de pedras utilizadas em monumentos. Geonovas. Vol. 1, nº 2, pp. 98-102.
- ROMARIZ, C. (1960) - Estudo geológico e petrográfico da área tifónica de Soure. Com. Serv. Geol. Portugal, t. XLIV. 219 pp.
- SALCEDO, D. A. (1990) - Aspectos relacionados con la caracterization geingenieril de rocas metamórficas. Congreso Suramericano de Mecanica de Rocas. Venezuela. pp 19-62.
- SERRA, J. (1982) - Image analysis and mathematical morphology. Academic Press, London. 610 pp.
- SERRA, E. & AZEVEDO, A. A. (1990) - Ensaio de alterabilidade natural em basalto compacto na usina hidrelétrica Taquarucu. Congreso Suramericano de Mecanica de Rocas. Venezuela. pp. 185-194.
- SILVA, C. G. (1989) - Mármoreos da Região de Estremoz - Borba - Vila Viçosa. Caracterização Minero-Petrográfica, Geoquímica e Geomecânica. Contribuição para o conhecimento da sua alterabilidade, fracturação e blocometria. Tese de Doutoramento. IST. Lisboa. Portugal. 136 pp.
- SOARES, A. F. (1966) - Estudo das formações pós-jurássicas da região de entre Sargento-Mor e Montemor -o- Velho (margem direita do rio Mondego). Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra, nº62. 343 pp.
- TEIXEIRA, C. & GONÇALVES, F. (1980) - Introdução à geologia de Portugal. Lisboa. INIC. 475 pp.
- TOMITA F., TSUJI S. (1990) - Computer analysis of visual textures. Kluwer Acad. Publ., London, 173 pp.

- VASCONCELOS, L. A. W. (1989) - Quanto custou a Basílica da Estrela. Edição C.M.L. 111 pp.
- WINKLER, E. (1973) - Stone: Properties, Durability in Man's Environment. Applied Mineralogy 4. N.Y. 230 pp.
- WAHLSTROM, E. E. (1979) - Optical crystallography. Fifth edition. John Wiley & Sons. N.Y. 488 pp.
- WASHINGTON, H. S. (1930) - The chemical analysis of rocks. Fourth edition. John Wiley & Sons, Inc. N.Y. 296 pp.
- ZBYSZEWSKI (1955) - Carta geológica dos arredores de Lisboa na escala 1/50 000. Notícia explicativa da folha 3 (Cascais). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- ZBYSZEWSKI, G. & ALMEIDA, F. M. de (1961) - Carta geológica dos arredores de Lisboa na escala 1/50 000. Notícia explicativa da folha 1 (Sintra). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- ZBYSZEWSKI, G. (1963) - Carta geológica dos arredores de Lisboa na escala 1/50 000. Notícia explicativa da folha 4 (Lisboa). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- ZBYSZEWSKI, G. (1964) - Carta geológica dos arredores de Lisboa na escala 1/50 000. Notícia explicativa da folha 2 (Loures). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

ANEXO I

		TEMPERATURA DA PAREDE (°C)																													
		Lado Esquerdo										Parte Central										Lado Direito									
Ano	1993	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	15.7	16.4	18.1	20.6	22.9	23.5	23.4	20.8	18.0	16.0	15.7	16.4	18.0	20.6	23.0	23.5	23.4	20.7	18.0	16.1	15.8	16.4	18.0	20.6	23.0	23.5	23.4	20.6	17.9	16.1
	Média	15.6	16.1	17.3	19.5	22.1	23.2	22.6	19.6	17.2	15.4	15.6	16.1	17.3	19.6	22.1	23.2	22.5	19.6	17.2	15.4	15.6	16.1	17.3	19.5	22.0	23.2	22.5	19.6	17.1	15.3
	Mínimo	15.4	15.6	16.2	17.9	20.8	23.0	21.5	18.6	16.3	14.9	15.4	15.5	16.3	17.9	20.8	22.9	21.5	18.6	16.4	14.8	15.3	15.4	16.2	17.9	20.8	22.9	21.4	18.6	16.4	14.7
1 metro	Máximo	15.8	16.4	18.0	20.7	22.9	23.7	23.4	20.9	18.0	16.1	15.9	16.8	18.0	20.7	23.0	23.8	23.5	20.8	18.0	16.1	15.8	16.4	18.1	20.7	23.0	23.8	23.6	20.8	18.0	16.2
	Média	15.6	16.1	17.3	19.7	22.1	23.3	22.6	19.7	17.1	15.4	15.6	16.2	17.4	19.7	22.2	23.4	22.6	19.7	17.1	15.4	15.6	16.2	17.4	19.7	22.2	23.4	22.6	19.7	17.1	15.5
	Mínimo	15.3	15.4	16.3	18.0	20.9	22.9	21.4	18.6	16.3	14.9	15.3	15.4	16.3	18.0	21.0	23.0	21.4	18.6	16.3	14.9	15.3	15.4	16.3	18.0	21.1	23.0	21.4	18.6	16.3	14.9
2 metros	Máximo	16.0	16.9	18.3	20.9	23.1	23.7	23.6	20.9	18.1	16.1	16.2	16.9	18.2	20.9	23.2	23.8	23.7	20.9	18.1	16.2	15.9	16.5	18.1	20.9	23.2	23.8	23.8	20.8	18.5	16.2
	Média	15.7	16.3	17.5	19.8	22.2	23.4	22.7	19.7	17.2	15.5	15.7	16.3	17.5	19.8	22.3	23.4	22.7	19.7	17.2	15.5	15.6	16.2	17.4	19.6	22.4	23.4	22.8	19.7	17.4	15.5
	Mínimo	15.4	15.6	16.6	18.0	21.0	23.0	21.5	18.6	16.4	15.1	15.4	15.5	16.3	18.0	21.1	23.1	21.6	18.7	16.4	15.0	15.4	15.5	16.4	17.0	21.1	23.1	21.5	18.7	16.4	14.9
3 metros	Máximo	16.1	16.6	18.1	21.0	23.3	23.9	23.7	21.0	18.1	16.2	15.9	16.7	18.3	20.8	23.2	23.7	23.6	20.9	18.1	16.2	15.8	16.5	18.4	20.7	23.0	23.6	23.5	20.8	18.1	16.0
	Média	15.7	16.3	17.6	19.8	22.3	23.5	22.8	19.8	17.3	15.6	15.7	16.4	17.6	19.8	22.3	23.4	22.8	19.7	17.2	15.6	15.6	16.2	17.5	19.7	22.2	23.3	22.7	19.7	17.2	15.5
	Mínimo	15.4	15.5	16.6	18.1	21.0	23.1	21.5	18.7	16.3	15.1	15.5	15.5	16.4	18.1	21.0	23.0	21.4	18.7	16.2	15.0	15.4	15.5	16.4	18.3	20.6	22.9	21.4	18.6	16.3	15.0

Quadro XX - Temperatura da Parede, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1993.

		TEMPERATURA DA PAREDE (°C)																																			
		Lado Esquerdo										Parte Central										Lado Direito															
Ano	1994	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	14.9	13.8	15.8	16.8	17.6	21.0	22.1	22.8	23.0	21.7	19.5	17.7	14.8	13.7	15.8	16.8	17.5	20.9	24.4	22.8	22.9	21.6	19.7	17.7	14.8	13.6	15.8	16.7	17.5	20.9	22.1	22.8	23.0	21.6	19.6	17.7
	Média	14.9	13.3	14.9	16.4	17.4	19.7	21.7	22.5	22.3	21.4	18.6	16.9	14.8	13.2	14.9	16.3	17.4	19.7	22.1	22.5	22.2	21.3	18.6	16.9	14.8	13.2	14.8	16.3	17.3	19.6	21.7	22.5	22.2	21.3	18.5	16.9
	Mínimo	14.9	12.9	13.7	16.2	17.2	17.9	21.1	22.2	21.4	20.7	17.4	15.3	14.8	12.8	13.6	16.1	17.2	18.0	21.1	22.1	21.4	20.8	17.4	15.2	14.8	12.7	13.6	16.1	17.1	18.0	21.1	22.1	21.3	20.8	17.3	15.2
1 metro	Máximo	14.8	13.8	15.8	16.8	17.7	21.1	22.2	22.9	23.0	21.7	19.5	17.7	14.9	13.8	15.9	16.8	17.7	21.1	22.2	23.0	23.0	21.8	19.5	17.7	14.9	13.9	16.0	16.9	17.8	21.2	22.3	23.0	23.1	21.8	19.5	17.7
	Média	14.8	13.3	14.9	16.4	17.5	19.7	21.7	22.6	22.4	21.4	18.8	17.1	14.9	13.4	15.0	16.4	17.5	19.7	21.7	22.6	22.4	21.4	18.2	17.1	14.9	13.4	15.0	16.5	17.6	19.8	21.8	22.6	22.4	21.5	18.8	17.1
	Mínimo	14.8	13.0	13.7	16.2	17.3	18.1	21.1	22.2	21.5	20.8	17.6	15.8	14.9	13.0	13.8	16.3	17.3	18.1	21.2	22.3	21.5	20.8	14.5	15.8	14.9	13.0	13.8	16.3	17.3	18.1	21.2	22.3	21.6	20.8	17.6	15.8
2 metros	Máximo	14.9	13.9	16.0	16.9	17.8	21.2	22.3	23.0	23.1	21.8	19.6	17.7	14.9	13.9	16.0	16.9	18.0	21.1	22.3	23.1	23.1	21.9	19.6	17.8	14.9	14.1	16.0	16.9	17.7	21.2	22.3	23.1	23.1	21.8	19.7	17.8
	Média	14.9	13.4	15.1	16.5	17.6	19.8	21.8	22.6	22.5	21.5	18.9	17.1	14.9	13.5	15.1	16.6	17.6	19.8	21.9	22.7	22.5	21.5	18.8	17.1	14.9	13.5	15.1	16.6	17.6	19.8	21.9	22.7	22.5	21.5	18.9	17.2
	Mínimo	14.9	13.0	13.8	16.3	17.3	18.1	21.1	22.3	21.6	20.8	17.7	15.8	14.9	13.0	13.9	16.4	17.3	18.1	21.2	22.3	21.6	20.8	17.6	15.8	14.9	13.1	13.9	16.4	17.3	18.1	21.3	22.3	21.7	20.8	17.7	15.9
3 metros	Máximo	15.0	14.1	16.1	17.0	17.9	21.2	22.3	23.1	23.2	21.9	19.8	17.9	14.9	14.2	16.0	17.0	18.0	21.3	22.3	23.1	23.2	21.8	19.8	17.9	14.9	14.1	16.0	16.9	18.0	21.1	22.2	23.0	23.1	21.8	19.6	17.9
	Média	15.0	13.5	15.1	16.6	17.7	19.8	21.9	22.7	22.5	21.5	18.9	17.2	14.9	13.5	15.1	16.6	17.7	19.9	21.9	22.6	22.5	21.5	18.9	17.2	14.9	13.5	15.1	16.6	17.7	19.9	21.9	22.6	22.5	21.5	18.9	17.2
	Mínimo	15.0	13.1	14.0	16.4	17.4	18.1	21.3	22.3	21.6	20.9	17.7	15.8	14.9	13.1	14.0	16.5	17.3	18.4	21.2	22.3	21.7	20.8	17.7	15.8	14.9	13.1	14.0	16.5	17.3	18.4	21.2	22.3	21.7	20.8	17.7	15.8

Quadro XXI - Temperatura da parede, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1994.

		TEMPERATURA DA PAREDE (°C)																																			
		Lado Esquerdo												Parte Central												Lado Direito											
Ano 1995		Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	15.6	16.4	17.6	18.4	19.8	21.6	23.3	24.5	24.5	22.7	21.1	18.0	15.6	16.4	17.5	18.5	19.8	21.6	23.3	24.5	24.5	22.7	21.0	18.0	15.4	16.2	17.5	18.4	19.8	21.5	23.3	24.4	24.5	22.6	21.0	17.9
	Média	15.0	15.7	16.1	17.6	19.1	20.9	22.5	23.6	23.3	22.3	20.0	16.8	15.0	15.6	16.1	17.6	19.1	20.9	22.4	23.6	23.3	22.3	20.0	16.8	14.9	15.6	16.0	17.6	19.0	20.8	22.4	23.6	23.2	22.3	20.0	16.7
	Mínimo	14.4	14.9	15.2	16.9	18.4	20.3	21.5	23.0	22.5	21.9	18.5	16.0	14.4	14.9	15.3	16.9	18.3	20.3	21.5	23.0	22.4	21.9	18.5	16.0	14.4	14.8	15.2	16.9	18.3	20.3	21.4	23.0	22.4	21.9	18.5	16.0
1 metro	Máximo	15.5	16.2	17.3	18.4	19.8	21.6	23.3	24.5	24.6	22.9	21.0	17.5	15.6	16.3	17.4	18.5	19.9	21.6	23.3	24.5	24.6	23.0	21.1	17.5	15.6	16.3	17.5	18.5	19.9	21.7	23.4	24.6	24.6	23.0	21.1	17.6
	Média	15.0	15.7	15.9	17.7	19.1	20.9	22.5	23.7	23.3	22.4	20.1	16.8	15.0	15.7	16.0	17.7	19.1	21.0	22.5	23.7	23.3	22.5	20.1	16.8	15.0	15.7	16.0	17.7	19.1	21.0	22.6	23.7	23.4	22.4	20.2	16.9
	Mínimo	14.5	15.1	15.1	16.8	18.3	20.2	21.5	23.0	22.3	22.1	18.6	16.1	14.6	15.1	15.2	17.0	18.3	20.3	21.5	23.2	22.3	22.1	18.6	16.1	14.6	15.1	15.2	17.0	18.4	20.3	21.6	23.2	22.4	22.1	18.7	16.1
2 metros	Máximo	15.6	16.4	17.5	18.5	19.9	21.7	23.5	24.6	24.7	23.1	21.0	17.7	15.7	16.4	17.5	18.6	19.9	21.7	23.5	24.6	24.7	23.1	21.0	17.7	15.7	16.4	17.6	18.7	19.9	21.7	23.4	24.6	24.7	23.0	21.0	17.7
	Média	15.1	15.8	16.0	17.8	19.2	21.0	22.5	23.7	23.4	22.5	20.1	16.9	15.1	15.8	16.1	17.8	18.8	21.1	22.5	23.8	23.4	22.5	20.1	16.9	15.1	15.8	16.1	17.8	19.2	21.1	22.5	23.7	23.4	22.5	20.2	17.0
	Mínimo	14.6	15.1	15.3	17.0	18.4	20.4	21.6	23.2	22.4	22.1	18.6	16.2	14.6	15.1	15.3	17.0	16.0	20.5	21.6	23.2	22.3	22.1	18.7	16.2	14.6	15.1	15.3	17.1	18.4	20.5	21.6	23.3	22.3	22.2	18.7	16.3
3 metros	Máximo	15.8	16.5	17.6	18.6	19.9	21.8	23.5	24.7	24.7	23.1	21.1	17.7	15.7	16.4	17.6	18.7	19.9	21.8	23.5	24.9	24.7	23.1	21.0	17.7	15.6	16.3	17.4	18.5	19.8	21.8	23.5	24.6	24.6	22.9	21.0	17.6
	Média	15.2	15.9	16.1	17.8	19.2	21.2	22.4	23.8	23.4	22.6	20.2	17.0	15.1	15.9	16.1	17.8	19.2	21.1	22.6	23.9	23.4	22.5	20.1	16.9	15.1	15.8	16.0	17.8	19.1	21.1	22.5	23.7	23.3	22.5	20.1	16.9
	Mínimo	14.6	15.1	15.3	17.0	18.4	20.5	20.6	23.2	22.3	22.2	18.7	16.3	14.6	15.1	15.3	17.0	18.5	20.4	21.6	23.2	22.2	22.2	18.7	16.2	14.6	15.1	15.3	16.9	18.4	20.4	21.6	23.1	22.2	22.1	18.6	16.2

Quadro XXII - Temperatura da parede, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1995.

		TEMPERATURA DA PAREDE (°C)																																			
		Lado Esquerdo												Parte Central												Lado Direito											
Ano 1996		Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	18.2	15.2	15.8	16.6													18.2	15.2	16.0	16.6													18.8	15.2	16.0	16.5
	Média	16.5	14.5	14.6	16.1													16.4	14.5	14.6	16.1													16.5	14.5	14.5	16.0
	Mínimo	15.1	14.2	13.7	15.6													15.0	14.2	13.8	15.6													15.0	14.1	13.8	15.5
1 metro	Máximo	17.8	15.0	15.5	16.4													17.9	15.1	15.6	16.5													17.9	15.1	15.6	16.3
	Média	16.3	14.4	14.5	16.0													16.3	14.5	14.5	16.0													16.3	14.6	14.5	16.0
	Mínimo	14.9	13.8	13.8	15.5													15.0	13.9	13.8	15.5													14.9	14.1	13.9	15.6
2 metros	Máximo	17.9	15.1	15.7	16.5													17.9	15.3	15.6	16.5													17.9	15.2	15.7	16.5
	Média	16.4	14.5	14.6	16.1													16.4	14.5	14.6	16.1													16.4	14.6	14.6	16.1
	Mínimo	15.0	14.0	13.8	15.6													15.0	14.0	13.8	15.7													14.9	14.0	13.9	15.6
3 metros	Máximo	18.1	15.2	15.9	16.4													18.1	15.3	15.8	16.5													18.0	15.1	15.7	16.5
	Média	16.5	14.6	14.7	16.0													16.5	14.6	14.6	16.1													16.4	14.5	14.6	16.1
	Mínimo	15.1	14.1	13.9	15.6													15.1	14.1	13.9	15.7													14.9	14.1	13.9	15.7

Quadro XXIII - Temperatura da parede, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1996.

		TEMPERATURA DO AR (°C)																													
		Lado Esquerdo										Parte Central										Lado Direito									
Ano	1993	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	15.7	16.4	18.1	20.6	23.0	23.6	23.4	20.8	18.0	16.0	15.7	16.4	18.1	20.6	23.0	23.8	23.4	20.7	18.0	16.0	15.8	16.4	18.0	20.6	23.0	23.5	23.4	20.6	17.9	16.0
	Média	15.6	16.1	17.4	19.5	22.1	23.3	22.6	19.6	17.2	15.4	15.6	16.1	17.3	19.6	22.1	23.3	22.5	19.6	17.2	15.4	15.6	16.1	17.3	19.5	22.0	23.2	22.5	19.6	17.1	15.3
	Mínimo	15.4	15.6	16.2	17.9	20.8	23.0	21.5	18.6	16.3	14.9	15.4	15.5	16.3	17.9	20.8	23.0	21.5	18.6	16.3	14.8	15.3	15.4	16.3	17.9	20.8	22.9	21.4	18.5	16.4	14.7
1 metro	Máximo	15.7	16.4	18.0	20.6	23.0	23.7	23.4	20.9	18.0	16.1	15.8	16.8	18.1	20.7	23.0	23.7	23.5	20.8	18.0	16.1	15.8	16.5	18.1	20.7	23.0	23.8	23.6	20.8	18.0	16.2
	Média	15.5	16.1	17.3	19.7	22.1	23.3	22.6	19.7	17.1	15.4	15.6	16.2	17.3	19.7	22.2	23.3	22.6	19.6	17.1	15.4	15.6	16.2	17.4	19.7	22.2	23.4	22.7	19.7	17.1	15.5
	Mínimo	15.2	15.4	16.2	18.0	20.9	22.9	21.4	18.6	16.3	14.9	15.3	15.3	16.3	18.0	21.0	23.0	21.4	18.6	16.3	14.9	15.3	15.4	16.3	18.0	21.0	23.0	21.5	18.6	16.3	14.9
2 metros	Máximo	16.0	16.6	18.3	20.9	23.1	23.7	23.6	20.9	18.1	16.1	16.1	16.5	18.2	20.9	23.1	23.7	23.7	20.8	18.0	18.0	15.9	16.5	18.1	20.8	23.1	23.8	23.8	20.8	18.5	16.2
	Média	15.7	16.2	17.5	19.8	22.2	23.4	22.7	19.7	17.2	15.5	15.7	16.2	17.5	19.8	22.3	23.4	22.7	19.7	17.2	16.0	15.7	16.2	17.4	19.6	22.3	23.4	22.8	19.7	17.4	15.5
	Mínimo	15.4	15.6	16.6	18.0	21.0	23.0	21.4	18.6	16.3	15.1	15.4	15.5	16.3	18.0	21.0	23.0	21.6	18.7	16.3	15.0	15.4	15.4	16.3	17.1	21.1	23.1	21.5	18.7	16.3	14.9
3 metros	Máximo	16.1	16.6	18.2	21.0	23.3	23.9	23.7	21.0	18.1	16.2	15.9	16.6	18.3	20.8	23.0	23.7	23.6	20.9	18.1	16.2	15.8	16.9	18.4	20.7	23.0	23.6	23.5	20.8	18.0	16.0
	Média	15.7	16.3	17.5	19.8	22.3	23.5	22.7	19.8	17.3	15.6	15.7	16.3	17.6	19.8	22.2	23.4	22.7	19.7	17.2	15.6	15.7	16.3	17.5	19.7	22.2	23.4	22.6	19.6	17.1	15.5
	Mínimo	15.4	15.5	16.5	18.0	21.1	23.0	21.5	18.7	16.3	15.1	15.5	15.5	16.4	18.2	21.0	23.0	21.4	18.7	16.2	15.0	15.4	15.5	16.3	18.2	20.6	22.9	21.4	18.6	16.1	14.9

Quadro XXIV - Temperatura do ar, valores máximos, médios, mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1993.

		TEMPERATURA DO AR (°C)																																			
		Lado Esquerdo												Parte Central												Lado Direito											
Ano	1994	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	14.8	13.8	15.8	16.8	17.5	21.0	22.1	22.8	23.0	21.7	19.6	17.7	14.8	13.6	15.8	16.8	17.5	20.9	24.4	22.8	22.9	21.6	19.6	17.7	14.8	13.6	15.8	16.8	17.5	20.9	22.1	22.8	22.9	21.6	19.6	17.7
	Média	14.8	13.3	14.9	16.4	17.4	19.7	21.7	22.5	22.3	21.4	18.6	16.9	14.8	13.2	14.9	16.4	17.4	19.7	22.1	22.5	22.2	21.3	18.6	16.9	14.8	13.1	14.8	16.3	17.3	19.6	21.6	22.4	22.2	21.3	18.5	16.9
	Mínimo	14.8	12.9	13.7	16.2	17.2	17.9	21.1	22.2	21.4	20.7	17.4	15.3	14.8	12.8	13.6	16.2	17.2	18.0	21.1	22.1	21.4	20.7	17.4	15.2	14.8	12.6	13.6	16.1	17.1	17.9	21.0	22.1	21.3	20.7	17.4	15.2
1 metro	Máximo	14.8	13.8	15.8	16.8	17.6	21.1	22.2	22.9	23.0	21.7	19.5	17.6	14.8	13.8	15.9	16.8	17.6	21.1	22.2	22.9	23.0	21.7	19.5	17.7	14.8	13.9	16.0	16.9	17.8	21.2	22.3	23.1	23.1	21.8	19.5	17.7
	Média	14.8	13.3	14.9	16.4	17.5	19.7	21.7	22.5	22.4	21.4	18.8	17.1	14.8	13.3	15.0	16.4	17.5	19.7	21.7	22.6	22.4	21.4	18.2	17.1	14.8	13.4	15.0	16.5	17.5	19.8	21.8	22.6	22.4	21.4	18.8	17.1
	Mínimo	14.8	13.0	13.7	16.2	17.3	18.0	21.1	22.2	21.5	20.8	17.6	15.7	14.8	13.0	13.8	16.2	17.3	18.1	21.1	22.3	21.5	20.8	14.5	15.8	14.8	13.0	13.8	16.3	17.3	18.1	21.1	22.3	21.6	20.8	17.6	15.8
2 metros	Máximo	14.9	13.9	16.0	16.9	17.8	21.1	22.3	23.0	23.1	21.8	19.6	17.7	14.9	13.9	16.0	16.9	17.9	21.1	22.3	23.1	23.1	21.9	19.6	17.8	14.9	14.1	16.0	16.9	17.8	21.2	22.3	23.1	23.1	21.8	19.7	17.8
	Média	14.9	13.4	15.0	16.5	17.5	19.7	21.8	22.6	22.4	21.5	18.8	17.1	14.9	13.5	15.1	16.5	17.6	19.8	21.8	22.7	22.5	21.5	18.8	17.1	14.9	13.5	15.1	16.6	17.6	19.8	21.9	22.7	22.5	21.5	18.9	17.1
	Mínimo	14.9	13.0	13.8	16.3	17.1	18.0	21.2	22.3	21.6	20.8	17.6	15.8	14.9	13.0	13.9	16.4	17.3	18.1	21.2	22.3	21.6	20.8	17.6	15.8	14.9	13.1	14.0	16.4	17.3	18.1	21.3	22.3	21.7	20.8	17.7	15.8
3 metros	Máximo	15.0	14.0	16.0	17.1	17.8	21.2	22.3	23.1	23.2	21.9	19.8	17.8	14.9	14.2	16.0	17.0	18.0	21.3	22.3	23.1	23.2	21.8	19.8	17.9	14.9	14.1	16.0	16.9	18.0	21.2	22.2	23.0	23.1	21.8	19.6	17.9
	Média	15.0	13.5	15.1	16.6	17.7	19.8	21.9	22.7	22.5	21.5	18.9	17.1	14.9	13.5	15.1	16.6	17.7	19.9	21.9	22.6	22.5	21.5	18.9	17.1	14.9	13.3	15.0	16.6	17.6	19.4	21.8	22.6	22.4	21.5	18.8	17.1
	Mínimo	15.0	13.1	14.0	16.4	17.4	18.0	21.3	22.3	21.6	20.9	17.7	15.8	14.9	13.0	14.0	16.5	17.3	18.3	21.2	22.3	21.7	20.8	17.8	15.7	14.9	12.1	13.6	16.4	17.3	14.9	21.2	22.3	21.5	20.8	17.6	15.7

Quadro XXV - Temperatura do ar, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1994.

Ano		TEMPERATURA DO AR (°C)																																			
		Lado Esquerdo											Parte Central											Lado Direito													
1995		Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sel.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sel.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sel.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	15.6	16.4	17.6	18.4	19.8	21.5	23.2	24.4	24.5	22.7	21.1	18.0	15.6	16.4	17.5	18.4	19.8	21.5	23.2	24.4	24.5	22.7	21.0	18.0	15.4	16.2	17.5	18.4	19.8	21.5	23.2	24.4	24.4	22.6	21.0	17.9
	Média	15.0	15.7	16.1	17.6	19.1	20.9	22.4	23.6	23.3	22.3	20.0	16.8	15.0	15.6	16.1	17.6	19.1	20.9	22.4	23.6	23.2	22.3	20.0	16.8	14.9	15.6	16.0	17.6	19.0	20.8	22.4	23.5	23.2	22.3	20.0	16.7
	Mínimo	14.4	14.9	15.2	16.9	18.4	20.3	21.5	23.0	22.5	21.9	18.4	16.0	14.4	14.8	15.2	16.9	18.3	20.3	21.5	23.0	22.4	21.9	18.5	16.0	14.4	14.8	15.2	16.9	18.3	20.3	21.4	23.0	22.4	21.9	18.4	16.0
1 metro	Máximo	15.5	16.2	17.3	18.4	19.8	21.6	23.3	24.5	24.5	22.9	21.0	17.5	15.6	16.3	17.4	18.5	19.9	21.6	23.4	24.5	24.5	23.0	21.0	17.5	15.6	16.3	17.5	18.5	19.9	21.7	23.4	24.5	24.6	23.0	21.1	17.6
	Média	15.0	15.6	15.9	17.6	19.1	20.9	22.4	23.7	23.2	22.4	20.1	16.8	15.0	15.7	16.0	17.7	19.1	21.0	22.5	23.7	23.3	22.5	20.1	16.8	15.0	15.7	16.0	17.7	19.2	21.0	22.5	23.7	23.4	22.4	20.1	16.8
	Mínimo	14.5	15.1	15.1	16.9	18.3	20.2	21.5	23.2	22.3	22.1	18.6	16.1	14.6	15.1	15.2	17.0	18.3	20.3	21.5	23.2	22.3	22.1	18.6	16.1	14.6	15.2	15.2	17.0	18.4	20.4	21.5	23.2	22.3	22.1	18.6	16.1
2 metros	Máximo	15.6	16.4	17.5	18.5	19.9	21.7	23.5	24.6	24.6	23.0	21.1	17.7	15.7	16.4	17.5	18.6	19.9	21.6	23.4	24.6	24.7	23.1	21.0	17.7	15.7	16.4	17.6	18.7	19.9	21.7	23.4	24.6	24.7	23.0	21.0	17.7
	Média	15.0	15.7	16.0	17.7	19.2	21.0	22.5	23.8	23.4	22.5	20.1	16.9	15.1	15.8	16.1	17.8	19.2	21.0	22.5	23.8	23.4	22.5	20.1	16.9	15.1	15.8	16.1	17.8	19.2	21.1	22.5	23.7	23.4	22.5	20.2	17.0
	Mínimo	14.5	15.1	15.3	17.0	18.4	20.4	21.6	23.2	22.4	22.1	18.6	16.2	14.6	15.1	15.3	17.0	18.4	20.4	21.5	23.2	22.3	22.1	18.7	16.1	14.6	15.1	15.3	17.1	18.4	20.5	21.6	23.3	22.3	22.2	18.7	16.3
3 metros	Máximo	15.8	16.5	17.6	18.6	19.9	21.8	23.5	24.6	24.7	23.0	21.1	17.7	15.7	16.4	17.6	18.6	19.9	21.8	23.4	24.7	24.6	23.0	21.0	17.8	15.6	16.3	17.4	18.5	19.8	21.8	23.5	24.6	24.6	23.0	21.0	17.6
	Média	15.1	15.9	16.1	17.8	19.2	21.1	22.4	23.8	23.4	22.5	20.2	16.8	15.1	15.8	16.1	17.8	19.2	21.1	22.6	23.8	23.3	22.5	20.1	16.9	15.1	15.8	16.0	17.7	19.1	21.1	22.5	23.7	23.3	22.5	20.1	16.9
	Mínimo	14.6	15.1	15.3	17.0	18.4	20.5	20.6	23.2	22.3	22.2	18.6	15.7	14.5	15.1	15.3	17.0	18.5	20.4	21.6	23.2	22.2	22.2	18.7	16.2	14.5	15.1	15.3	16.9	18.4	20.4	21.6	23.1	22.2	22.1	18.6	16.1

Quadro XXVI - Temperatura do ar, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1995.

Ano		TEMPERATURA DO AR (°C)																																									
		Lado Esquerdo											Parte Central											Lado Direito																			
1996		Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sel.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sel.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sel.	Out.	Nov.	Dez.						
0 metros	Máximo	18.2	15.2	15.8	16.6									18.3	15.2	15.9	16.6										18.2	15.2	16.0	16.5													
	Média	16.5	14.5	14.5	16.1									16.4	14.5	14.5	16.1										16.4	14.5	14.5	16.0													
	Mínimo	15.0	14.2	13.7	15.5									15.0	14.2	13.8	15.6										15.0	14.0	13.8	15.5													
1 metro	Máximo	17.8	15.0	15.5	16.3									17.9	15.1	15.5	16.5										17.9	15.1	15.6	16.3													
	Média	16.2	14.4	14.4	15.9									16.3	14.4	14.5	16.0										16.3	14.5	14.5	16.0													
	Mínimo	14.8	13.8	13.8	15.5									15.0	13.9	13.8	15.5										14.9	13.9	13.9	15.6													
2 metros	Máximo	17.9	15.1	15.7	16.4									17.9	15.1	15.6	16.5										17.9	15.2	15.7	16.5													
	Média	16.4	14.5	14.5	16.0									16.4	14.5	14.6	16.1										16.3	14.6	14.6	16.0													
	Mínimo	15.0	14.0	13.8	15.6									15.0	14.0	13.8	15.6										14.1	14.0	13.9	15.5													
3 metros	Máximo	18.1	15.2	15.9	16.4									18.1	15.2	15.8	16.5										18.0	15.1	15.6	16.5													
	Média	16.5	14.5	14.6	16.0									16.5	14.6	14.6	16.1										16.4	14.5	14.5	16.1													
	Mínimo	15.1	14.1	13.9	15.6									15.0	14.1	14.0	15.7										14.9	14.1	13.8	15.7													

Quadro XXVII - Temperatura do ar, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1996.

		TEMPERATURA HÚMIDA (·C)																													
		Lado Esquerdo										Parte Central										Lado Direito									
Ano	1993	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	13.3	13.5	15.8	17.0	22.4	22.2	23.1	19.6	16.7	14.7	13.3	13.5	15.7	17.1	22.2	22.1	23.1	19.4	16.7	14.6	13.2	13.5	15.6	17.1	22.9	22.0	23.1	19.4	16.6	14.5
	Média	11.9	12.4	14.4	16.1	18.9	19.0	19.7	18.3	15.0	13.7	12.0	12.4	14.5	16.1	18.8	18.9	19.6	18.3	15.0	13.7	12.0	12.4	14.4	16.1	18.9	18.9	19.6	18.3	14.8	13.6
	Mínimo	9.9	10.9	13.1	14.2	16.3	17.0	16.6	17.0	13.2	12.5	10.0	10.9	13.2	14.2	16.3	17.0	16.7	17.0	13.2	12.4	10.0	10.9	12.9	14.1	16.3	16.8	16.7	17.0	13.3	12.2
1 metro	Máximo	13.1	13.5	15.5	17.2	22.3	22.3	22.9	19.6	16.5	14.9	13.3	13.6	15.7	17.3	22.5	22.4	23.1	19.7	16.5	14.8	13.2	13.6	15.6	17.5	22.9	22.4	23.2	19.8	16.6	14.8
	Média	11.8	12.5	14.5	16.3	19.0	19.2	19.5	18.4	15.0	13.9	11.9	12.6	14.5	16.3	19.1	19.1	19.7	18.5	15.0	13.9	12.2	12.6	14.5	16.3	19.3	19.3	19.8	18.6	15.1	14.0
	Mínimo	9.7	10.9	13.2	14.4	16.5	16.9	16.5	17.2	13.2	12.7	9.7	10.9	13.2	14.4	16.5	16.4	16.5	17.3	13.3	12.7	10.8	10.9	13.2	14.4	16.6	17.1	16.7	17.2	13.3	12.8
2 metros	Máximo	13.3	13.7	15.8	17.7	22.4	22.4	23.5	19.7	16.7	15.2	13.3	13.7	15.8	17.6	23.2	22.4	23.4	19.7	16.8	15.0	13.2	13.7	15.9	17.6	22.4	22.4	23.5	19.8	16.7	14.9
	Média	12.0	12.7	14.7	16.5	19.1	19.3	19.9	18.5	15.1	14.1	12.0	12.7	14.7	16.5	19.2	19.3	20.0	18.5	15.1	14.0	12.0	12.7	14.7	16.4	19.2	19.3	20.0	18.6	15.3	14.1
	Mínimo	10.0	11.0	13.3	14.5	16.7	17.0	16.8	17.3	13.3	12.8	10.0	11.0	13.4	14.5	16.6	16.9	16.9	17.3	13.3	12.9	10.0	11.0	13.5	14.6	16.7	16.9	16.9	17.3	13.3	13.0
3 metros	Máximo	13.3	13.8	15.7	18.0	22.5	22.4	23.4	19.8	16.8	15.1	13.3	13.6	15.8	17.6	22.3	22.4	23.6	19.7	16.6	15.3	13.2	13.6	15.8	17.4	22.3	22.4	23.3	19.6	16.5	14.8
	Média	12.0	12.8	14.7	16.5	19.1	19.4	20.0	18.6	15.3	14.2	12.0	12.6	14.5	16.4	19.0	19.3	19.9	18.4	15.1	14.2	12.0	12.5	14.5	16.3	19.1	19.1	19.7	18.4	14.9	13.9
	Mínimo	10.0	10.9	13.7	14.5	16.6	17.3	16.7	17.2	13.2	12.8	10.0	10.9	13.4	14.4	16.5	17.2	16.5	17.2	13.1	12.8	9.8	10.7	13.1	14.4	16.3	16.9	16.5	17.0	13.0	12.6

Quadro XXVIII - Temperatura húmida, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1993.

		TEMPERATURA HÚMIDA (·C)																																			
		Lado Esquerdo												Parte Central												Lado Direito											
Ano	1994	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	14.4	11.9	12.0	15.9	17.0	16.8	21.5	28.5	22.4	18.2	17.1	15.0	14.3	11.8	12.0	15.9	16.9	16.7	21.0	19.0	22.4	18.1	17.0	15.0	13.3	16.6	17.4	18.4	18.6	20.7	18.8	20.0	22.3	22.2	20.6	19.4
	Média	14.4	10.6	11.6	13.9	14.2	16.2	18.3	19.5	17.8	16.6	14.8	13.2	14.3	10.6	11.6	13.9	14.2	16.2	18.1	18.2	17.7	16.6	14.6	13.2	11.2	13.4	14.2	13.9	15.8	17.2	17.6	18.9	19.7	19.8	19.4	16.8
	Mínimo	14.4	9.4	10.9	10.5	13.0	15.2	16.3	17.1	14.8	14.4	13.8	11.3	14.3	9.3	10.6	10.4	12.9	15.1	16.3	17.1	14.8	14.7	12.3	11.3	8.9	9.9	11.9	11.9	13.7	15.6	13.7	18.0	15.3	15.3	18.0	15.6
1 metro	Máximo	14.4	12.0	12.1	16.0	16.4	16.9	21.1	18.8	22.4	18.2	17.5	15.1	14.4	12.1	12.1	16.1	16.5	17.0	21.1	19.3	27.6	18.2	17.0	15.0	13.2	16.7	17.5	18.6	18.7	21.0	18.8	20.4	23.7	22.9	20.5	19.0
	Média	14.4	10.7	11.7	14.2	14.4	16.3	18.2	18.3	17.9	16.7	15.0	13.3	14.4	10.8	11.7	14.2	14.5	16.4	18.3	18.5	19.1	16.7	15.0	13.3	11.4	13.6	14.0	14.1	16.0	17.3	18.3	18.7	20.3	20.3	19.7	16.9
	Mínimo	14.4	9.5	11.0	10.6	12.8	15.4	16.4	17.3	15.0	14.5	14.1	11.7	14.4	9.5	11.1	10.8	12.8	15.3	16.5	17.3	15.0	14.4	14.1	11.6	9.3	10.1	11.8	12.0	14.0	15.0	17.1	15.6	15.4	15.8	18.2	15.5
2 metros	Máximo	14.5	12.2	12.4	16.2	16.7	17.1	21.3	19.4	23.1	18.4	17.2	15.1	14.5	12.3	12.3	16.2	17.0	17.0	21.4	19.3	22.7	18.4	17.3	15.2	13.5	16.7	17.9	18.7	18.7	21.1	19.0	20.2	23.7	23.7	20.6	19.7
	Média	14.5	10.9	12.0	14.3	14.6	16.5	18.4	18.5	18.1	16.8	15.1	13.7	14.5	10.9	11.9	14.4	14.6	16.4	18.5	18.6	18.1	16.8	15.1	13.5	11.5	13.6	14.2	14.2	16.1	17.6	18.3	18.8	20.3	20.6	19.8	17.2
	Mínimo	14.5	9.7	11.3	10.9	12.9	15.4	16.6	17.4	15.2	14.4	14.3	11.8	14.5	9.8	11.4	10.8	12.9	15.3	16.6	17.4	15.2	14.4	14.3	11.9	9.3	10.0	11.9	12.0	14.1	16.1	17.0	15.8	15.3	16.0	18.3	16.0
3 metros	Máximo	14.5	12.3	12.2	16.3	17.3	17.0	21.4	19.3	23.0	18.3	17.4	15.3	14.5	12.3	12.1	16.2	17.4	17.0	21.2	19.3	22.8	18.3	17.2	15.2	13.4	16.7	17.4	18.4	18.5	20.9	18.7	20.2	24.4	22.7	20.5	19.7
	Média	14.5	11.0	11.9	14.2	14.7	16.5	18.4	18.5	18.1	16.8	15.1	13.6	14.5	10.9	11.8	14.4	14.9	16.3	18.3	18.4	18.0	16.7	15.0	13.5	11.6	13.6	14.1	14.0	15.9	17.5	18.2	18.9	20.2	20.2	19.7	17.0
	Mínimo	14.5	9.9	11.4	11.0	13.2	15.4	16.6	17.3	15.3	14.5	14.3	11.8	14.5	9.9	11.2	10.9	13.2	15.4	16.5	17.3	15.1	14.5	14.3	11.7	10.3	10.0	11.9	12.1	13.9	15.9	17.1	17.9	15.0	15.7	18.3	15.7

Quadro XXIX - Temperatura húmida, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1994.

		TEMPERATURA HÚMIDA (°C)																																			
		Lado Esquerdo												Parte Central												Lado Direito											
Ano	1995	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	13.4	16.8	17.4	18.5	18.6	20.9	18.7	20.2	22.3	22.5	20.5	19.4	13.4	16.7	17.4	18.4	18.8	20.8	18.6	20.1	22.2	22.2	20.6	19.4	13.3	16.6	17.4	18.4	18.6	20.7	18.8	20.0	22.3	22.2	20.6	19.4
	Média	11.3	13.5	14.2	14.0	15.9	17.3	18.1	18.9	20.0	19.8	19.5	16.8	11.2	13.5	14.1	14.0	15.9	17.1	17.9	18.9	19.7	19.8	19.5	17.0	11.2	13.4	14.2	13.9	15.8	17.2	17.6	18.9	19.7	19.8	19.4	16.8
	Mínimo	9.1	10.0	11.9	11.8	13.8	15.6	16.8	17.9	18.1	15.5	18.2	15.6	9.0	9.9	11.9	11.8	13.7	15.6	16.8	17.9	15.2	15.5	18.2	16.0	8.9	9.9	11.9	11.9	13.7	15.6	13.7	18.0	15.3	15.3	18.0	15.6
1 metro	Máximo	13.4	16.6	17.3	18.4	18.7	20.9	18.8	20.3	23.5	22.7	20.6	18.9	13.5	16.6	17.4	18.5	18.7	21.0	18.8	20.4	23.6	22.7	20.6	19.0	13.2	16.7	17.5	18.6	18.7	21.0	18.8	20.4	23.7	22.9	20.5	19.0
	Média	11.4	13.5	13.9	13.9	16.0	17.4	18.2	19.1	20.1	20.2	19.6	16.8	11.4	13.6	14.0	14.1	16.0	17.4	18.2	19.2	20.3	20.2	19.7	16.9	11.4	13.6	14.0	14.1	16.0	17.3	18.3	18.7	20.3	20.3	19.7	16.9
	Mínimo	9.3	10.0	11.6	11.9	13.9	15.7	17.0	18.0	15.3	15.7	18.1	15.3	9.3	10.0	11.7	12.1	13.9	15.8	17.0	18.1	15.5	15.7	18.2	15.4	9.3	10.1	11.8	12.0	14.0	15.0	17.1	15.6	15.4	15.8	18.2	15.5
2 metros	Máximo	19.4	16.7	17.5	18.7	18.9	21.0	18.9	20.5	23.7	22.9	20.5	19.0	13.5	16.8	17.6	18.7	18.9	21.1	19.0	20.4	23.7	22.7	20.5	19.0	13.5	16.7	17.9	18.7	18.7	21.1	19.0	20.2	23.7	23.7	20.6	19.7
	Média	12.7	13.6	14.1	14.2	16.1	17.6	18.3	19.1	20.3	20.3	19.7	17.0	11.5	13.7	14.1	14.2	16.1	17.6	18.3	19.2	20.3	20.3	19.7	17.0	11.5	13.6	14.2	14.2	16.1	17.6	18.3	18.8	20.3	20.6	19.8	17.2
	Mínimo	10.5	10.1	11.8	12.1	14.0	16.0	17.1	18.2	15.5	15.9	18.3	15.8	9.4	10.1	11.9	12.0	14.0	16.0	17.1	18.3	15.5	16.1	18.3	15.7	9.3	10.0	11.9	12.0	14.1	16.1	17.0	15.8	15.3	16.0	18.3	16.0
3 metros	Máximo	13.5	16.3	17.8	18.6	18.8	21.1	19.0	20.4	23.7	22.8	20.6	19.7	13.4	16.8	17.6	18.6	18.7	21.0	18.7	20.3	23.6	22.9	20.6	19.7	13.4	16.7	17.4	18.4	18.5	20.9	18.7	20.2	24.4	22.7	20.5	19.7
	Média	11.8	13.0	14.2	14.1	16.1	17.7	18.3	19.2	20.3	20.3	19.8	17.2	11.7	13.7	14.1	14.1	16.0	17.6	18.2	19.1	20.2	20.2	19.7	17.1	11.6	13.6	14.1	14.0	15.9	17.5	18.2	18.9	20.2	20.2	19.7	17.0
	Mínimo	10.5	10.0	11.9	12.0	14.1	16.1	17.1	18.1	15.4	16.0	18.4	15.9	10.4	10.1	11.9	12.1	14.0	16.1	17.1	17.9	15.3	15.9	18.3	15.7	10.3	10.0	11.9	12.1	13.9	15.9	17.1	17.9	15.0	15.7	18.3	15.7

Quadro XXX - Temperatura húmida, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1995.

		TEMPERATURA HÚMIDA (°C)																																			
		Lado Esquerdo												Parte Central												Lado Direito											
Ano	1996	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	17.8	15.0	14.6	16.7	17.9	14.9	14.6	16.7	17.9	14.8	14.6	16.5																								
	Média	15.7	12.4	12.7	14.8	15.5	12.3	12.7	14.8	15.7	12.2	12.7	14.7																								
	Mínimo	12.3	9.5	11.1	12.9	12.3	9.5	11.1	12.9	12.3	9.1	11.1	12.8																								
1 metro	Máximo	17.8	14.6	14.5	16.6	17.9	14.5	14.5	16.6	17.9	14.5	14.5	16.7																								
	Média	15.4	12.2	12.7	14.8	15.5	12.2	12.7	14.8	15.6	12.3	12.8	14.9																								
	Mínimo	12.3	9.0	11.1	12.9	12.4	9.0	11.2	13.0	12.4	9.1	11.1	13.1																								
2 metros	Máximo	17.9	14.7	14.5	16.6	17.9	14.8	14.7	16.6	18.2	14.8	14.5	16.7																								
	Média	15.6	13.0	12.8	14.8	15.6	12.3	12.8	14.8	15.6	12.4	12.9	14.9																								
	Mínimo	12.5	9.2	11.2	13.0	12.5	9.2	11.1	13.0	12.6	9.2	11.3	13.1																								
3 metros	Máximo	18.2	14.8	14.5	16.6	18.0	14.9	14.5	16.6	18.0	14.7	14.3	16.6																								
	Média	15.8	12.4	12.8	14.8	15.7	12.3	12.7	14.8	15.6	12.2	12.7	14.8																								
	Mínimo	12.6	9.3	11.2	13.0	12.5	9.2	11.0	12.9	12.4	9.2	11.0	12.9																								

Quadro XXXI - Temperatura húmida, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1996.

		TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (°C)																													
		Lado Esquerdo										Parte Central										Lado Direito									
Ano	1993	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	11.9	11.5	14.5	15.4	22.3	21.7	23.0	19.2	16.2	14.5	11.6	11.6	14.6	15.4	22.2	21.6	23.1	18.9	16.1	14.3	11.4	11.5	14.6	15.9	22.0	21.5	22.9	18.9	16.2	14.5
	Média	8.9	9.6	12.4	14.0	17.0	16.6	18.0	17.7	13.6	12.6	8.8	9.5	12.4	14.0	16.9	16.6	18.4	17.6	13.5	12.4	8.8	9.5	12.4	14.1	16.8	16.6	17.9	17.5	13.5	12.4
	Mínimo	4.5	6.9	9.9	10.1	13.3	13.3	13.2	16.0	11.1	9.9	4.7	6.9	9.8	10.1	13.3	13.1	13.2	15.7	10.9	10.0	4.8	7.0	9.7	10.1	13.4	13.1	13.0	15.7	10.9	10.0
1 metro	Máximo	11.4	11.6	14.4	15.4	22.4	22.0	23.0	19.1	16.0	14.6	11.5	11.6	14.1	15.5	22.5	22.0	23.0	19.3	16.0	14.5	11.4	11.7	14.2	15.7	22.4	22.0	23.1	19.3	16.1	14.5
	Média	8.9	9.6	12.6	14.2	17.2	17.0	18.1	17.8	13.6	12.9	8.8	9.7	12.6	14.3	17.2	17.0	18.2	17.5	13.7	12.9	8.9	9.9	12.6	14.3	17.3	17.0	18.3	17.8	13.7	12.9
	Mínimo	4.3	7.0	10.1	10.6	13.4	13.2	13.4	16.0	11.0	10.1	4.5	6.9	10.3	10.9	13.4	13.2	13.3	14.5	11.0	10.2	4.5	7.3	10.3	10.8	13.8	13.2	13.5	16.1	11.1	10.3
2 metros	Máximo	11.5	11.9	14.5	16.1	22.4	22.0	23.3	19.3	16.2	14.5	11.5	11.9	14.7	15.9	22.5	22.0	23.4	19.4	16.2	14.6	11.6	11.8	14.9	15.8	22.6	22.0	23.5	19.4	16.3	14.7
	Média	8.8	9.9	12.9	14.5	17.3	17.2	18.4	17.9	13.8	13.0	8.9	9.9	12.9	14.5	17.3	17.1	18.5	17.9	13.8	13.0	9.0	10.0	12.9	14.5	17.4	17.1	18.5	18.0	13.9	13.1
	Mínimo	4.6	7.0	10.5	10.8	13.5	13.3	13.7	16.1	11.2	10.4	4.8	6.9	10.7	11.1	13.5	13.2	13.7	16.0	11.0	10.5	4.7	7.2	10.5	10.9	13.2	13.3	13.7	16.3	11.2	10.6
3 metros	Máximo	11.5	12.0	14.3	16.7	22.3	22.0	23.5	19.3	16.2	14.9	11.5	11.4	14.5	16.2	22.3	22.0	23.5	19.4	16.0	14.7	11.5	11.3	14.7	15.9	22.5	21.4	23.4	19.2	15.9	15.2
	Média	8.8	9.9	12.8	14.4	17.2	17.2	18.6	17.9	13.7	13.2	8.7	9.6	12.6	14.5	17.1	17.0	18.3	17.8	13.6	13.0	8.6	9.2	12.5	14.3	17.0	16.6	18.1	17.5	13.4	13.0
	Mínimo	4.8	7.3	10.9	10.8	13.3	13.9	13.4	15.9	11.0	10.0	4.6	6.8	10.2	10.6	12.9	13.6	13.2	15.8	10.8	10.0	4.3	6.3	10.1	10.5	12.8	13.2	13.2	15.0	10.6	10.2

Quadro XXXII - Temperatura do ponto de orvalho, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1993.

		TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (°C)																																			
		Lado Esquerdo										Parte Central										Lado Direito															
Ano	1994	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	14.0	10.4	10.3	15.6	16.8	14.9	20.8	17.0	22.4	16.3	15.5	13.4	14.0	10.4	10.4	15.6	16.4	14.8	20.7	17.0	22.1	16.3	15.5	13.4	14.1	10.6	10.4	15.7	16.5	14.9	20.7	16.9	22.1	16.2	15.4	13.2
	Média	14.0	8.4	9.0	12.0	12.2	14.1	16.2	15.9	15.0	13.4	12.2	10.4	14.0	8.3	9.0	11.9	12.1	14.0	15.9	15.8	15.0	13.6	12.2	10.4	14.1	8.4	8.9	11.9	12.1	14.0	15.7	15.8	14.9	13.6	12.1	10.3
	Mínimo	14.0	6.1	7.7	5.2	9.3	13.1	13.4	14.0	10.3	9.9	10.4	8.0	14.0	5.9	7.7	4.7	9.3	12.9	12.2	14.1	10.2	9.7	10.4	8.0	14.1	5.9	7.5	4.7	9.3	12.7	13.1	14.0	10.3	9.8	10.4	7.8
1 metro	Máximo	14.3	10.7	10.4	15.8	15.8	14.8	20.9	17.5	22.4	16.4	16.9	13.2	14.1	10.7	10.5	15.9	15.9	15.2	20.9	17.5	22.3	16.4	15.6	13.3	14.1	10.8	10.5	15.9	16.0	15.2	21.0	17.6	22.3	16.5	15.7	13.4
	Média	14.3	8.6	9.3	12.4	12.2	14.2	16.3	16.2	15.2	13.8	12.5	10.5	14.1	8.6	9.2	12.5	12.2	14.3	16.3	16.2	15.3	13.8	12.4	10.4	14.1	8.7	9.4	12.6	12.4	14.3	16.4	16.1	15.3	13.9	12.5	10.5
	Mínimo	14.3	6.2	8.1	5.3	9.3	12.9	13.4	14.3	10.5	9.8	10.6	7.6	14.1	6.4	8.0	5.4	9.4	13.0	13.6	14.3	10.5	10.0	10.6	7.5	14.1	6.5	8.2	5.4	9.4	13.2	13.6	14.3	10.7	9.9	10.6	7.6
2 metros	Máximo	14.2	11.0	10.8	16.1	16.3	15.3	21.2	17.5	22.4	16.5	15.8	13.5	14.2	11.1	10.6	16.1	16.5	15.2	21.2	17.5	22.5	16.6	16.0	13.5	14.3	11.0	10.6	16.1	16.8	15.2	21.2	17.5	22.6	16.5	15.9	13.6
	Média	14.2	8.8	9.4	12.7	12.5	14.4	16.6	16.4	15.4	14.0	12.6	10.6	14.2	8.8	9.5	12.7	12.5	14.3	16.6	16.3	15.4	13.9	12.6	10.6	14.3	8.9	9.4	12.7	12.5	14.4	16.6	16.3	15.4	14.0	12.6	10.8
	Mínimo	14.2	6.7	8.0	5.8	9.5	13.2	13.7	14.4	10.8	10.1	10.9	7.8	14.2	6.6	8.7	5.8	9.8	13.3	13.7	14.4	11.0	9.9	10.9	7.6	14.3	6.8	8.1	5.7	9.9	13.4	13.7	14.5	10.8	10.2	11.0	8.1
3 metros	Máximo	14.3	11.1	10.4	16.2	17.1	15.0	21.3	17.4	22.9	16.5	15.9	13.9	14.4	10.8	10.4	16.0	16.8	14.9	20.9	17.1	22.6	16.4	15.6	13.7	14.1	10.5	10.4	15.4	16.6	14.9	20.9	17.1	22.4	16.4	15.3	13.4
	Média	14.3	8.9	9.3	12.7	12.6	14.5	16.5	16.3	15.4	13.9	12.5	10.9	14.4	8.7	9.1	12.4	12.5	14.3	16.3	16.1	15.3	13.8	12.3	10.6	14.1	8.5	9.0	11.4	12.2	14.2	16.2	15.9	15.0	13.8	12.2	10.5
	Mínimo	14.3	7.0	7.9	5.8	9.9	13.5	13.6	14.2	11.1	10.1	10.9	8.5	14.4	6.3	7.9	5.6	9.8	13.2	13.4	14.2	10.4	10.0	10.4	8.3	14.1	6.5	7.9	5.3	9.5	13.2	13.4	14.1	10.1	9.9	10.4	8.1

Quadro XXXIII - Temperatura do ponto de orvalho, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1994.

		TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (°C)																																			
		Lado Esquerdo												Parte Central												Lado Direito											
Ano	1995	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sel.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sel.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sel.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	12.0	17.0	17.7	18.5	18.5	20.6	16.8	18.2	22.1	22.3	20.4	20.1	12.2	16.9	17.6	18.4	18.5	20.5	16.5	18.1	22.0	22.1	20.2	20.0	12.0	16.8	17.7	18.4	18.5	20.4	16.6	18.2	23.0	22.2	20.2	20.3
	Média	8.0	11.8	12.7	11.1	13.8	15.1	15.7	16.5	17.9	18.0	19.2	16.9	8.1	11.8	12.7	11.0	13.7	15.1	15.6	16.4	17.9	18.3	19.2	16.8	8.1	11.8	12.7	11.0	13.7	15.0	15.6	16.5	18.1	18.3	19.2	16.9
	Mínimo	3.1	5.5	8.5	6.4	10.1	12.6	13.9	14.9	9.9	11.3	17.8	15.1	2.8	5.3	8.6	6.5	10.2	12.6	13.8	14.9	9.9	11.2	17.7	15.2	2.7	5.6	8.5	6.4	10.0	12.6	13.7	15.0	10.0	11.2	17.8	15.1
1 metro	Máximo	12.2	16.8	17.6	18.4	18.6	20.7	16.8	18.2	23.4	22.5	20.3	19.4	12.2	16.8	17.5	18.6	18.6	20.7	16.7	18.4	23.2	23.4	20.3	19.6	12.2	16.9	17.4	18.5	18.7	20.7	16.8	18.5	23.3	22.6	20.3	19.5
	Média	8.3	11.7	12.4	11.2	14.0	15.3	15.9	16.6	18.5	18.9	19.4	16.6	8.3	11.8	12.6	11.2	14.0	15.4	15.9	16.7	18.5	19.2	19.4	16.8	8.3	11.9	12.5	11.3	14.1	15.4	15.9	16.7	18.6	19.0	19.5	16.8
	Mínimo	3.5	5.3	8.7	6.8	10.3	12.8	14.2	15.2	10.2	11.6	17.9	14.6	3.4	5.2	8.6	6.8	10.4	13.0	14.3	15.3	10.1	11.4	18.0	14.7	3.5	5.4	8.6	6.8	10.4	13.1	14.2	15.3	10.3	11.8	18.0	14.9
2 metros	Máximo	12.3	17.0	17.6	18.6	18.8	20.8	16.8	18.7	23.4	22.6	20.2	19.6	12.3	17.0	17.8	18.8	18.7	20.8	16.9	18.6	23.5	22.6	20.4	19.7	12.2	16.2	17.9	18.7	18.8	20.8	16.9	18.5	23.3	22.6	20.4	19.7
	Média	8.4	11.9	12.6	11.3	14.1	15.5	15.9	16.8	18.7	19.0	19.4	16.9	8.4	12.0	12.7	11.4	14.1	15.6	15.9	16.8	18.7	19.1	19.5	17.0	8.4	11.9	12.7	11.3	13.9	15.6	16.0	16.6	18.6	19.1	19.6	17.0
	Mínimo	3.7	5.3	8.7	6.9	10.5	13.1	14.3	15.4	10.5	11.8	18.0	15.2	3.5	5.4	8.7	6.9	10.7	13.3	14.2	15.3	10.5	12.0	18.1	15.2	3.5	5.5	8.7	6.9	10.6	13.5	14.2	15.1	10.4	12.0	18.2	15.4
3 metros	Máximo	12.1	17.1	17.8	18.7	18.8	20.8	16.8	18.6	23.5	22.6	20.3	19.7	12.1	16.8	17.7	18.5	18.6	20.8	16.7	18.4	23.2	22.5	20.3	19.7	12.2	16.8	17.4	18.4	18.5	20.6	16.7	18.1	23.1	22.4	20.4	19.8
	Média	9.0	11.9	12.6	11.4	14.1	15.6	15.9	16.8	18.6	19.0	19.6	17.0	8.8	11.9	12.6	11.2	13.9	15.5	15.7	16.5	18.3	18.9	19.5	16.9	8.7	11.8	12.5	11.0	13.8	15.4	15.8	16.3	18.2	18.8	19.5	16.9
	Mínimo	6.7	5.3	8.9	6.9	10.6	13.2	14.4	15.2	10.2	11.9	18.2	15.3	6.5	5.2	8.7	6.9	10.4	13.0	14.2	14.9	9.8	11.6	18.1	15.3	6.5	5.2	8.5	6.7	10.2	13.1	14.4	14.1	9.5	11.4	18.0	15.2

Quadro XXXIV - Temperatura do ponto de orvalho, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1995.

		TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (°C)																																			
		Lado Esquerdo												Parte Central												Lado Direito											
Ano	1996	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sel.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sel.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Sel.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	18.2	14.6	14.7	16.7													18.1	14.5	14.9	16.6													18.0	14.3	14.9	16.5
	Média	15.0	11.1	11.3	13.8													15.1	10.3	11.4	13.8													15.1	10.2	11.3	13.8
	Mínimo	9.7	5.1	8.5	10.9													9.7	4.8	8.6	10.9													9.6	4.3	8.6	11.0
1 metro	Máximo	18.0	14.4	14.7	16.4													18.0	14.1	14.7	16.5													18.0	14.3	14.7	16.6
	Média	14.8	10.2	11.4	13.8													14.8	10.2	11.4	13.8													14.9	10.3	11.4	13.9
	Mínimo	9.7	4.1	8.8	11.1													9.8	4.4	8.6	11.1													9.8	4.5	8.7	11.2
2 metros	Máximo	18.2	14.5	14.7	16.6													18.3	14.6	14.6	16.7													18.5	14.9	14.7	16.8
	Média	14.9	10.3	11.4	13.9													15.0	10.4	11.4	13.8													15.2	10.5	11.4	13.9
	Mínimo	10.0	4.5	8.6	11.2													10.0	4.4	8.6	10.9													10.0	4.6	8.6	11.0
3 metros	Máximo	18.3	14.4	14.6	16.6													18.1	14.4	14.5	16.6													18.5	14.5	14.6	16.6
	Média	15.1	10.3	11.4	13.8													15.0	10.2	11.2	13.8													15.2	10.2	11.2	13.7
	Mínimo	10.1	4.5	8.5	11.0													9.9	4.4	8.4	10.9													9.8	4.4	8.4	10.8

Quadro XXXV - Temperatura do ponto de orvalho, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1996.

		HUMIDADE RELATIVA (%)																													
		Lado Esquerdo										Parte Central										Lado Direito									
Ano	1993	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	77.6	73.4	79.9	75.1	99.9	90.4	99.3	95.8	91.8	95.9	76.3	73.5	83.5	75.9	99.9	90.3	99.2	96.1	91.6	95.8	75.4	73.8	83.9	75.9	99.9	90.5	98.4	95.1	91.7	96.0
	Média	65.2	65.1	71.9	70.3	74.1	67.2	76.8	88.2	79.4	83.2	65.0	65.1	73.1	70.5	74.2	67.0	76.5	89.3	79.2	83.2	64.9	65.3	73.4	71.1	74.0	67.1	76.2	87.3	79.4	83.1
	Mínimo	48.0	56.6	61.4	54.5	57.8	54.0	56.6	79.9	70.5	66.6	48.7	57.0	61.4	54.3	57.6	53.5	56.1	79.3	70.4	66.8	49.4	57.0	61.4	56.2	57.2	53.5	56.0	74.4	69.8	67.0
1 metro	Máximo	75.8	73.7	81.1	75.3	99.9	92.1	97.3	96.5	91.4	96.3	75.7	73.6	81.2	75.5	99.9	91.9	97.5	96.4	91.5	96.3	75.4	73.8	81.1	75.4	99.9	91.4	97.7	96.5	91.7	95.9
	Média	64.9	65.7	73.8	71.1	75.1	68.5	77.0	88.9	80.0	84.9	64.7	65.6	73.8	70.9	75.0	68.2	77.2	89.0	80.0	84.9	64.6	64.7	73.5	70.9	74.3	68.2	77.0	89.0	80.0	84.9
	Mínimo	48.1	57.5	62.2	55.8	58.3	53.7	57.3	80.6	71.2	67.9	48.2	56.7	62.3	55.7	57.8	53.5	58.0	81.1	71.2	67.9	48.4	58.7	62.3	56.4	54.6	53.7	58.3	81.2	70.9	67.3
2 metros	Máximo	76.7	74.6	82.7	77.5	99.9	91.3	98.4	97.0	92.6	95.9	76.8	74.6	82.8	76.3	99.9	91.3	99.1	97.1	92.1	97.2	76.7	75.4	83.4	75.8	99.9	91.7	98.5	97.4	92.1	96.4
	Média	65.2	66.5	74.5	71.7	74.9	68.5	77.8	88.9	80.2	84.7	65.2	66.5	74.5	71.4	74.9	68.3	77.6	89.0	80.3	85.4	65.3	66.3	75.7	71.4	74.6	68.4	77.6	89.4	80.6	85.3
	Mínimo	48.9	56.9	64.6	56.6	58.2	53.5	58.3	80.8	70.6	68.6	49.1	57.3	63.8	55.9	57.7	53.3	58.4	80.5	70.7	69.0	48.9	58.0	63.9	55.9	57.1	53.9	58.5	80.2	70.7	68.6
3 metros	Máximo	76.0	75.9	81.3	79.6	99.9	91.3	99.9	97.8	91.5	97.5	76.4	72.2	77.7	76.3	99.9	91.2	98.9	96.6	91.0	95.9	75.1	73.2	81.5	75.7	99.9	90.3	98.5	96.8	90.6	96.8
	Média	63.9	66.1	73.3	70.9	74.3	68.6	77.8	88.7	80.2	84.7	64.1	63.7	71.1	70.3	74.0	67.9	76.7	88.3	79.5	84.8	62.8	64.4	72.4	70.5	74.0	67.2	76.2	88.2	78.6	84.5
	Mínimo	49.3	56.5	63.9	55.2	56.7	56.1	56.9	79.6	70.4	69.5	47.5	50.8	61.7	54.6	56.1	54.4	57.2	79.5	69.9	66.9	46.5	55.4	61.8	54.6	55.7	53.8	57.1	79.8	69.5	67.2

Quadro XXXVI - Humidade relativa, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1993.

		HUMIDADE RELATIVA (%)																																			
		Lado Esquerdo										Parte Central										Lado Direito															
Ano	1994	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	94.7	80.8	76.9	96.1	94.3	75.7	95.2	70.1	95.5	71.2	76.6	74.9	95.0	81.6	77.2	95.1	94.8	75.5	95.0	69.6	95.4	71.4	76.7	74.7	95.3	82.5	78.0	95.2	94.3	76.8	94.2	69.7	94.2	71.5	76.6	74.7
	Média	94.7	72.1	67.4	77.0	70.9	70.1	72.4	66.5	65.1	61.9	66.6	65.0	95.0	72.4	67.3	76.8	71.1	69.9	71.3	66.1	65.1	61.7	66.6	64.8	95.3	73.0	67.2	76.5	70.9	70.4	71.2	66.2	65.0	62.0	66.6	65.1
	Mínimo	94.7	61.7	60.0	46.6	58.0	62.3	61.2	59.4	49.0	49.8	57.2	56.7	95.0	61.9	59.6	46.1	59.0	62.3	61.0	59.5	48.9	49.4	57.0	55.8	95.3	62.3	59.2	46.4	60.0	62.7	60.3	60.0	49.4	49.1	57.5	55.4
1 metro	Máximo	95.4	81.7	77.9	97.0	89.4	76.3	95.4	71.8	95.5	71.5	77.4	74.1	94.5	82.2	77.9	97.0	90.3	75.6	95.3	71.5	95.8	71.4	77.9	74.6	95.1	82.4	78.6	96.9	90.7	76.5	95.5	71.5	95.2	71.7	74.4	75.5
	Média	95.4	72.7	68.0	79.1	71.6	70.5	71.9	67.2	64.6	61.9	66.3	64.5	94.5	73.1	68.3	79.5	71.8	70.5	72.0	67.3	66.0	62.0	66.5	65.3	95.1	73.2	68.1	79.0	70.8	70.6	72.2	67.2	65.5	62.3	65.8	65.0
	Mínimo	95.4	62.6	60.5	47.5	59.3	62.5	61.3	60.1	41.8	49.2	57.5	54.4	94.5	62.9	60.6	47.6	59.0	62.7	61.3	60.0	41.6	49.3	57.9	57.3	95.1	63.5	59.9	47.7	59.1	62.8	60.9	60.0	50.0	49.5	57.5	53.7
2 metros	Máximo	95.3	82.1	78.0	97.6	92.1	76.8	96.0	72.6	95.7	71.9	78.8	75.2	95.7	82.3	78.1	97.8	93.4	76.5	95.7	72.5	96.3	71.3	78.7	75.8	95.7	82.2	77.1	97.0	94.5	77.8	96.0	72.1	97.2	71.8	76.7	74.8
	Média	95.3	73.4	68.5	79.5	72.4	70.3	72.5	67.5	65.7	62.4	66.8	65.3	95.7	73.3	68.0	79.6	72.3	71.1	72.5	67.3	66.1	62.2	66.9	65.4	95.7	73.4	69.5	79.0	72.5	71.2	72.4	67.1	65.8	62.5	66.6	65.3
	Mínimo	95.3	62.5	60.5	48.2	59.5	60.7	61.1	59.9	50.1	49.8	57.4	54.5	95.7	60.8	60.3	48.1	60.0	64.3	61.0	59.8	50.2	49.9	57.2	55.0	95.7	62.8	60.9	48.2	59.7	64.3	60.9	59.7	50.0	50.1	57.7	55.8
3 metros	Máximo	94.8	81.4	77.2	97.8	95.3	78.1	95.4	71.4	97.8	71.5	77.3	75.6	95.2	91.0	76.7	96.9	93.5	75.4	95.3	70.0	96.4	71.3	76.2	74.5	94.2	80.5	77.7	95.1	93.9	75.1	94.7	69.9	95.6	71.2	76.3	74.7
	Média	94.8	73.3	67.4	79.2	72.2	71.3	71.9	67.0	66.1	61.8	66.4	66.3	95.2	74.0	67.0	78.6	71.4	70.2	71.5	66.2	65.1	61.9	65.8	64.9	94.2	71.8	65.8	76.3	71.0	70.0	71.1	66.0	64.6	61.7	65.5	65.2
	Mínimo	94.8	64.0	58.9	47.9	60.2	65.0	60.3	59.7	50.4	49.7	57.4	57.4	95.2	61.1	59.9	47.6	59.3	63.1	59.8	59.4	48.7	50.0	56.8	56.7	94.2	61.2	54.1	45.9	57.4	62.0	59.9	59.3	49.0	49.5	57.0	56.1

Quadro XXXVII - Humidade relativa, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1994.

		HUMIDADE RELATIVA (%)																																			
		Lado Esquerdo												Parte Central												Lado Direito											
Ano	1995	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	79.9	99.9	99.9	99.9	99.6	93.9	70.3	74.2	96.2	99.8	97.9	99.9	81.4	99.9	99.9	99.3	99.4	92.7	70.0	73.8	96.1	99.9	97.8	99.9	81.7	99.9	99.9	99.8	99.7	94.4	70.5	74.0	95.1	99.9	97.9	99.9
	Média	63.5	77.0	80.7	67.1	72.2	69.9	65.4	64.7	75.2	80.0	95.2	97.5	63.9	78.1	80.9	67.0	72.3	69.9	65.4	64.3	75.1	80.3	94.8	97.6	63.9	78.7	81.3	67.4	72.4	70.3	65.5	64.4	74.7	80.4	94.4	97.4
	Mínimo	43.5	52.4	60.0	46.8	56.4	61.0	61.0	57.0	44.1	50.7	87.8	92.2	44.1	52.0	59.9	47.0	56.5	61.4	61.0	56.2	44.1	50.8	87.7	92.3	44.1	53.1	60.2	47.1	56.5	61.6	61.0	56.8	44.4	50.6	87.9	93.2
1 metro	Máximo	81.5	99.9	99.9	99.9	99.9	94.7	71.0	73.2	96.4	97.7	97.6	99.9	81.6	99.9	99.9	99.8	99.9	67.9	70.9	73.1	96.4	98.2	97.5	99.9	81.4	99.9	99.9	99.9	99.9	94.8	71.0	74.0	97.6	98.6	97.7	99.9
	Média	64.5	78.0	80.1	67.6	73.1	70.9	66.2	64.9	76.3	81.7	95.4	98.7	64.2	77.9	80.4	67.4	73.1	64.8	66.4	64.7	76.0	82.2	95.4	98.7	64.6	78.3	80.3	67.5	73.1	71.1	66.1	64.4	75.6	82.3	95.6	98.8
	Mínimo	45.6	51.5	60.7	47.5	57.7	62.6	62.0	58.3	45.1	51.3	91.3	95.9	45.7	51.4	61.0	47.5	57.8	62.7	62.0	57.7	45.1	51.3	91.6	95.9	45.6	51.4	60.6	47.5	57.7	62.7	61.2	54.0	45.5	51.9	91.5	95.7
2 metros	Máximo	81.6	99.9	99.9	99.9	99.9	94.5	71.2	74.6	97.2	98.5	98.7	99.9	81.6	99.9	99.9	99.9	99.9	95.0	70.9	74.7	97.7	98.6	97.9	99.9	81.5	99.9	99.9	99.9	99.9	94.7	70.3	74.3	97.8	97.7	98.6	99.9
	Média	64.8	78.3	80.5	67.8	71.9	71.3	66.2	64.9	76.5	82.5	96.1	97.2	64.8	78.3	80.5	67.4	73.0	71.4	66.4	64.8	76.2	82.5	96.1	97.3	64.7	78.5	80.5	67.4	72.9	71.6	66.2	64.6	76.5	82.4	96.3	97.4
	Mínimo	45.7	52.2	60.8	47.9	57.9	62.9	62.0	57.4	45.6	52.3	91.8	90.5	45.8	52.0	60.6	47.4	57.4	63.3	62.1	57.0	45.6	52.4	91.7	90.8	45.7	51.9	60.7	47.4	57.7	63.2	62.2	57.4	46.2	52.8	91.9	92.3
3 metros	Máximo	80.8	99.9	99.9	99.9	99.9	94.3	69.4	75.2	96.4	98.6	98.5	99.9	81.0	99.9	99.9	99.9	99.3	94.4	70.3	73.6	96.4	97.4	97.8	99.9	81.2	99.9	99.9	99.9	99.4	93.9	70.3	73.0	95.4	97.4	97.2	99.9
	Média	66.8	77.7	80.5	67.6	72.8	71.2	65.9	66.0	75.9	82.2	95.9	97.2	66.2	77.8	80.5	67.0	72.3	70.8	65.4	64.1	75.2	81.6	95.9	97.1	67.3	77.7	80.5	66.5	72.1	70.5	65.4	63.8	74.4	81.4	95.5	96.8
	Mínimo	58.1	51.1	60.7	47.4	57.6	61.6	62.4	56.8	44.6	52.1	91.2	90.9	57.3	51.5	60.5	47.3	56.8	61.2	62.1	56.3	43.5	50.4	91.1	91.2	57.1	51.1	60.5	46.2	56.4	61.2	62.3	56.0	42.6	50.0	91.2	90.5

Quadro XXXVIII - Humidade relativa, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1995.

		HUMIDADE RELATIVA (%)																																			
		Lado Esquerdo												Parte Central												Lado Direito											
Ano	1996	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0 metros	Máximo	99.9	96.1	99.9	99.9													99.9	95.9	99.9	99.5													99.9	96.5	99.9	99.9
	Média	90.2	77.9	80.8	87.1													90.4	77.5	80.7	86.5													90.6	77.6	81.2	87.1
	Mínimo	66.6	53.8	69.2	74.2													66.5	51.9	69.1	73.5													66.8	52.0	69.1	74.3
1 metro	Máximo	99.9	97.9	99.9	99.9													99.9	98.5	99.9	99.9													99.9	98.6	99.9	99.9
	Média	90.2	77.6	81.7	87.3													90.2	77.9	81.8	87.3													90.1	77.8	81.5	87.3
	Mínimo	67.2	52.2	69.7	74.7													67.3	52.8	68.8	74.6													67.2	52.7	68.4	74.7
2 metros	Máximo	99.9	99.0	99.9	99.9													99.9	99.8	99.9	99.9													99.9	98.2	99.9	99.9
	Média	90.5	69.6	81.8	87.0													90.6	78.5	81.7	86.8													90.6	78.1	81.2	86.4
	Mínimo	67.6	40.9	69.6	74.1													67.8	52.4	69.3	73.7													67.3	52.7	69.3	72.8
3 metros	Máximo	99.9	98.4	99.9	99.9													99.9	97.5	99.9	99.9													99.9	98.4	99.9	99.9
	Média	90.5	77.9	80.6	86.6													90.6	77.8	80.4	86.6													90.6	77.4	80.5	86.3
	Mínimo	67.8	51.8	67.8	73.2													67.5	51.6	67.4	73.2													67.2	51.8	68.8	72.7

Quadro XXXIX - Humidade relativa, valores máximos, médios e mínimos mensais, por ponto de amostragem. Painel SS^{mo} Sacramento. Ano de 1996.

ANEXO II

		TEMPERATURA DA PAREDE (°C)											
		Ano 1993			Ano 1994			Ano 1995			Ano 1996		
		L.E-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D	L.E-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D	L.E-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D	L.E-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D
0 metros	Corr_max	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1 metro	Corr_max	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
2 metros	Corr_max	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00
	Corr_min	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3 metros	Corr_max	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99

Quadro XL - Temperatura da parede. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise horizontal a diferentes cotas, para cada ano de campanha.

Legenda:

Corr_max - correlação entre as séries dos valores máximos mensais.

Corr_med - correlação entre as séries dos valores médios mensais, etc.

L.E-P.C - Lado Esquerdo (L.E) versus Parte Central (P.C) do Painel.

L.E-L.D - Lado Esquerdo (L.E) versus Lado Direito Central (L.D) do Painel.

		TEMPERATURA DA PAREDE (°C)								
		MÁXIMOS			MÉDIAS			MÍNIMOS		
		L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito
Ano 1993	corr_0-1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
	corr_0-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
	corr_1-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_0-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ano 1994	corr_0-1	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00
	corr_1-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_0-2	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00
	corr_0-3	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ano 1995	corr_0-1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00
	corr_0-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
	corr_1-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_0-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00
Ano 1996	corr_0-1	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	0.97	0.99	0.99
	corr_1-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_2-3	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_0-2	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99
	corr_1-3	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00
	corr_0-3	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99

Quadro XLI - Temperatura da parede. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise vertical segundo diferentes perfis, para cada ano de campanha.

Legenda:

Corr_0-1 - correlação entre as séries amostradas nos pontos a cota 0m e 1m, etc.

L. Esquerdo - perfil do Lado Esquerdo do painel, etc.

		TEMPERATURA DA PAREDE (-C)								
		MAXIMOS			MÉDIAS			MINIMOS		
		L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito
0 metros	corr_93/94	0.96	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.93	0.93	0.93
	corr_93/95	0.98	0.98	0.97	0.95	0.95	0.95	0.92	0.93	0.93
	corr_94/95	0.98	0.96	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97
	corr_94/96	0.22	0.22	0.14	0.64	0.64	0.60	0.88	0.91	0.91
	corr_95/96	-0.39	-0.35	-0.46	0.06	0.12	0.03	0.50	0.53	0.54
1 metro	corr_93/94	0.97	0.96	0.97	0.95	0.95	0.95	0.93	0.92	0.93
	corr_93/95	0.97	0.97	0.97	0.95	0.95	0.95	0.92	0.92	0.92
	corr_94/95	0.98	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.94	0.97
	corr_94/96	0.20	0.22	0.12	0.64	0.61	0.59	0.97	0.95	0.94
	corr_95/96	-0.30	-0.30	-0.37	0.16	0.13	0.12	0.58	0.57	0.67
2 metros	corr_93/94	0.96	0.96	0.97	0.94	0.95	0.95	0.93	0.94	0.93
	corr_93/95	0.98	0.97	0.98	0.95	0.95	0.95	0.92	0.91	0.90
	corr_94/95	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.95	0.97
	corr_94/96	0.20	0.13	0.13	0.61	0.61	0.58	0.94	0.93	0.96
	corr_95/96	-0.33	-0.34	-0.31	0.16	0.14	0.13	0.58	0.61	0.65
3 metros	corr_93/94	0.96	0.96	0.96	0.95	0.94	0.95	0.93	0.93	0.93
	corr_93/95	0.97	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95	0.90	0.92	0.93
	corr_94/95	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.96	0.98	0.96
	corr_94/96	0.11	0.06	0.14	0.58	0.56	0.64	0.92	0.92	0.88
	corr_95/96	-0.38	-0.36	-0.31	0.05	0.07	0.16	0.55	0.58	0.66

Quadro XLII - Temperatura da parede. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise do comportamento no tempo (1993/1996), por ponto de amostragem.

Legenda:

Corr_93/94 - correlação entre as séries dos anos 1993 e 1994, por ponto de amostragem, etc.

		TEMPERATURA DO AR (°C)											
		Ano 1993			Ano 1994			Ano 1995			Ano 1996		
		L.E-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D	L.E-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D	L.E-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D	L.E-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D
0 metros	Corr_max	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99
1 metro	Corr_max	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	1.00	1.00	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00
2 metros	Corr_max	0.98	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.84	0.84
3 metros	Corr_max	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.97	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99

Quadro XLIII - Temperatura do ar. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise horizontal a diferentes cotas, para cada ano de campanha.

Legenda:

Corr_max - correlação entre as séries dos valores máximos mensais.

Corr_med - correlação entre as séries dos valores médios mensais, etc.

L.E-P.C - Lado Esquerdo (L.E) versus Parte Central (P.C) do Painel.

L.E-L.D - Lado Esquerdo (L.E) versus Lado Direito Central (L.D) do Painel.

		TEMPERATURA DO AR (°C)								
		MÁXIMOS			MÉDIAS			MÍNIMOS		
		L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito
Ano 1993	corr_0-1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-2	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
	corr_2-3	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
	corr_0-2	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
	corr_1-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_0-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ano 1994	corr_0-1	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00
	corr_1-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96
	corr_0-2	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.96
	corr_0-3	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96
Ano 1995	corr_0-1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00
	corr_0-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00
	corr_0-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00
Ano 1996	corr_0-1	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.99	0.99
	corr_1-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.87
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89
	corr_0-2	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.82
	corr_1-3	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99
	corr_0-3	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99

Quadro XLIV - Temperatura do ar. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise vertical segundo diferentes perfis, para cada ano de campanha.

Legenda:

Corr_0-1 - correlação entre as séries amostradas nos pontos a cota 0m e 1m, etc.

L. Esquerdo - perfil do Lado Esquerdo do painel, etc.

		TEMPERATURA DO AR (°C)								
		MÁXIMOS			MÉDIAS			MÍNIMOS		
		L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito
0 metros	corr_93/94	0.96	0.95	0.96	0.95	0.95	0.95	0.93	0.93	0.93
	corr_93/95	0.98	0.98	0.97	0.95	0.95	0.95	0.92	0.93	0.93
	corr_94/95	0.98	0.96	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.98	0.97
	corr_94/96	0.18	0.21	0.21	0.60	0.62	0.62	0.87	0.91	0.92
	corr_95/96	-0.39	-0.39	-0.38	0.06	0.12	0.07	0.51	0.57	0.55
1 metro	corr_93/94	0.97	0.96	0.97	0.95	0.95	0.95	0.93	0.92	0.93
	corr_93/95	0.98	0.97	0.97	0.95	0.95	0.95	0.93	0.92	0.92
	corr_94/95	0.98	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.94	0.97
	corr_94/96	0.17	0.17	0.09	0.61	0.61	0.58	0.98	0.94	0.97
	corr_95/96	-0.33	-0.30	-0.37	0.16	0.14	0.13	0.64	0.57	0.64
2 metros	corr_93/94	0.96	0.97	0.97	0.94	0.95	0.95	0.93	0.94	0.94
	corr_93/95	0.97	0.94	0.98	0.95	0.94	0.95	0.92	0.92	0.90
	corr_94/95	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97
	corr_94/96	0.17	0.18	0.13	0.59	0.61	0.58	0.94	0.93	0.88
	corr_95/96	-0.36	-0.30	-0.30	0.09	0.14	0.12	0.55	0.58	0.93
3 metros	corr_93/94	0.96	0.96	0.96	0.95	0.95	0.94	0.93	0.93	0.85
	corr_93/95	0.97	0.98	0.98	0.95	0.95	0.94	0.90	0.92	0.92
	corr_94/95	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.96	0.97	0.89
	corr_94/96	0.14	0.08	0.13	0.59	0.56	0.62	0.92	0.94	0.88
	corr_95/96	-0.38	-0.35	-0.31	0.03	0.09	0.14	0.55	0.61	0.61

Quadro XLV - Temperatura do ar. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise do comportamento no tempo (1993/1996), por ponto de amostragem.

Legenda:

Corr_93/94 - correlação entre as séries dos anos 1993 e 1994, por ponto de amostragem, etc.

		TEMPERATURA HÚMIDA (°C)											
		Ano 1993			Ano 1994			Ano 1995			Ano 1996		
		L.E.-P.C	P.C.-L.D	L.E.-L.D	L.E.-P.C	P.C.-L.D	L.E.-L.D	L.E.-P.C	P.C.-L.D	L.E.-L.D	L.E.-P.C	P.C.-L.D	L.E.-L.D
0 metros	Corr_max	1.00	1.00	1.00	0.83	1.00	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	1.00	0.96	0.96	0.93	1.00	1.00	1.00
1 metro	Corr_max	1.00	1.00	1.00	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.97	1.00	1.00	1.00
2 metros	Corr_max	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.77	0.99	0.78	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	0.98	1.00	0.98
	Corr_min	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.96	1.00	1.00	1.00
3 metros	Corr_max	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Quadro XLVI - Temperatura húmida. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise horizontal a diferentes cotas, para cada ano de campanha.

Legenda:

Corr_max - correlação entre as séries dos valores máximos mensais.

Corr_med - correlação entre as séries dos valores médios mensais, etc.

L.E-P.C - Lado Esquerdo (L.E) versus Parte Central (P.C) do Painel.

L.E-L.D - Lado Esquerdo (L.E) versus Lado Direito Central (L.D) do Painel.

		TEMPERATURA HÚMIDA (-C)								
		MÁXIMOS			MÉDIAS			MÍNIMOS		
		L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito
Ano 1993	corr_0-1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00
	corr_1-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_0-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
	corr_1-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00
	corr_0-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ano 1994	corr_0-1	0.81	0.96	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	0.98	1.00
	corr_1-2	1.00	0.96	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_0-2	0.83	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00
	corr_1-3	1.00	0.96	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_0-3	0.82	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
Ano 1995	corr_0-1	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00	0.90
	corr_1-2	0.79	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
	corr_2-3	0.78	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97
	corr_0-2	0.73	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	0.96	1.00	0.91
	corr_1-3	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.97
	corr_0-3	0.99	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	0.95	0.99	0.94
Ano 1996	corr_0-1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-2	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_0-2	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-3	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_0-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Quadro XLVII - Temperatura húmida. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise vertical segundo diferentes perfis, para cada ano de campanha.

Legenda:

Corr_0-1 - correlação entre as séries amostradas nos pontos a cota 0m e 1m, etc.

L. Esquerdo - perfil do Lado Esquerdo do painel, etc.

		TEMPERATURA HÚMIDA (°C)								
		MÁXIMOS			MÉDIAS			MÍNIMOS		
		L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito
0 metros	corr_93/94	0.87	0.92	0.93	0.94	0.96	0.96	0.89	0.92	0.90
	corr_93/95	0.58	0.58	0.58	0.85	0.83	0.81	0.77	0.66	0.55
	corr_94/95	0.52	0.64	0.65	0.69	0.69	0.69	0.63	0.55	0.54
	corr_94/96	0.80	0.78	0.77	0.98	0.99	0.99	0.55	0.55	0.61
	corr_95/96	-0.58	-0.60	-0.63	-0.68	-0.63	-0.68	0.19	0.20	0.21
1 metro	corr_93/94	0.91	0.85	0.92	0.96	0.96	0.95	0.88	0.86	0.89
	corr_93/95	0.65	0.64	0.63	0.85	0.85	0.83	0.73	0.72	0.63
	corr_94/95	0.71	0.71	0.69	0.72	0.73	0.71	0.68	0.67	0.59
	corr_94/96	0.79	0.77	0.77	0.99	0.99	0.98	0.57	0.60	0.55
	corr_95/96	-0.56	-0.56	-0.56	-0.61	-0.61	-0.61	0.30	0.33	0.27
2 metros	corr_93/94	0.93	0.92	0.93	0.96	0.96	0.95	0.87	0.86	0.86
	corr_93/95	0.67	0.63	0.60	0.84	0.84	0.83	0.71	0.72	0.63
	corr_94/95	0.75	0.70	0.64	0.76	0.72	0.70	0.72	0.68	0.58
	corr_94/96	0.75	0.75	0.73	0.93	0.98	0.98	0.61	0.57	0.57
	corr_95/96	0.94	-0.60	-0.63	-0.56	-0.63	-0.59	0.60	0.24	0.27
3 metros	corr_93/94	0.91	0.91	0.92	0.96	0.95	0.95	0.88	0.88	0.89
	corr_93/95	0.65	0.62	0.63	0.85	0.84	0.83	0.70	0.70	0.68
	corr_94/95	0.69	0.66	0.69	0.75	0.71	0.70	0.71	0.70	0.68
	corr_94/96	0.71	0.75	0.79	0.98	0.97	0.98	0.61	0.60	0.59
	corr_95/96	-0.61	-0.63	-0.61	-0.49	-0.66	-0.65	0.57	0.51	0.52

Quadro XLVIII - Temperatura húmida. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise do comportamento no tempo (1993/1996), por ponto de amostragem.

Legenda:

Corr_93/94 - correlação entre as séries dos anos 1993 e 1994, por ponto de amostragem, etc.

		TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (°C)											
		Ano 1993			Ano 1994			Ano 1995			Ano 1996		
		L.E-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D	L.E-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D	L.E-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D	L.E-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D
0 metros	Corr_max	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99
	Corr_min	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1 metro	Corr_max	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2 metros	Corr_max	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3 metros	Corr_max	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Quadro XLIX - Temperatura de orvalho. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise horizontal a diferentes cotas, para cada ano de campanha.

Legenda:

Corr_max - correlação entre as séries dos valores máximos mensais.

Corr_med - correlação entre as séries dos valores médios mensais, etc.

L.E-P.C - Lado Esquerdo (L.E) versus Parte Central (P.C) do Painel.

L.E-L.D - Lado Esquerdo (L.E) versus Lado Direito Central (L.D) do Painel.

		TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (°C)								
		MÁXIMOS			MÉDIAS			MÍNIMOS		
		L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito
Ano 1993	corr_0-1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00
	corr_1-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_0-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99
	corr_1-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99
	corr_0-3	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99
Ano 1994	corr_0-1	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00
	corr_1-2	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00
	corr_0-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00
	corr_1-3	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00
	corr_0-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00
Ano 1995	corr_0-1	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.98
	corr_0-2	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.97
	corr_0-3	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	0.98	0.97	0.97
Ano 1996	corr_0-1	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-2	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_0-2	1.00	1.00	0.98	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-3	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00
	corr_0-3	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Quadro L - Temperatura de orvalho. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise vertical segundo diferentes perfis, para cada ano de campanha.

Legenda:

Corr_0-1 - correlação entre as séries amostradas nos pontos a cota 0m e 1m, etc.

L. Esquerdo - perfil do Lado Esquerdo do painel, etc.

		TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (°C)								
		MÁXIMOS			MÉDIAS			MÍNIMOS		
		L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito
0 metros	corr_93/94	0.82	0.84	0.83	0.83	0.85	0.85	0.62	0.61	0.64
	corr_93/95	0.20	0.18	0.27	0.73	0.73	0.73	0.45	0.44	0.45
	corr_94/95	0.32	0.31	0.34	0.28	0.30	0.28	0.30	0.28	0.27
	corr_94/96	0.82	0.80	0.79	1.00	0.99	0.99	0.23	0.21	0.20
	corr_95/96	-0.70	-0.70	-0.69	-0.89	-0.85	-0.85	-0.05	0.01	-0.04
1 metro	corr_93/94	0.84	0.84	0.85	0.83	0.83	0.83	0.60	0.67	0.59
	corr_93/95	0.30	0.29	0.33	0.77	0.77	0.76	0.47	0.51	0.47
	corr_94/95	0.40	0.38	0.41	0.33	0.32	0.33	0.30	0.31	0.30
	corr_94/96	0.80	0.79	0.80	0.99	0.99	0.99	0.23	0.23	0.20
	corr_95/96	-0.71	-0.64	-0.65	-0.79	-0.80	-0.81	0.15	0.12	0.10
2 metros	corr_93/94	0.84	0.84	0.84	0.83	0.82	0.83	0.62	0.58	0.60
	corr_93/95	0.34	0.32	0.29	0.77	0.76	0.75	0.48	0.48	0.46
	corr_94/95	0.40	0.40	0.40	0.33	0.32	0.32	0.31	0.28	0.30
	corr_94/96	0.77	0.78	0.78	0.99	1.00	1.00	0.25	0.30	0.25
	corr_95/96	-0.69	-0.68	-0.66	-0.81	-0.83	-0.85	0.11	0.06	0.04
3 metros	corr_93/94	0.81	0.81	0.84	0.83	0.83	0.87	0.65	0.64	0.64
	corr_93/95	0.34	0.32	0.31	0.76	0.75	0.75	0.44	0.43	0.45
	corr_94/95	0.38	0.37	0.38	0.33	0.30	0.34	0.43	0.40	0.41
	corr_94/96	0.77	0.83	0.81	0.99	0.99	0.98	0.26	0.30	0.25
	corr_95/96	-0.71	-0.68	-0.72	-0.83	-0.85	-0.88	0.48	0.50	0.50

Quadro LI - Temperatura de orvalho. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise do comportamento no tempo (1993/1996), por ponto de amostragem.

Legenda:

Corr_93/94 - correlação entre as séries dos anos 1993 e 1994, por ponto de amostragem, etc.

		HUMIDADE RELATIVA (%)											
		Ano 1993			Ano 1994			Ano 1995			Ano 1996		
		LE-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D	LE-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D	LE-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D	LE-P.C	P.C-L.D	L.E.-L.D
0 metros	Corr_max	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1 metro	Corr_max	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.80	0.81	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00
	Corr_min	1.00	0.99	0.99	1.00	0.98	0.98	1.00	0.98	0.98	1.00	1.00	1.00
2 metros	Corr_max	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3 metros	Corr_max	0.99	0.99	0.99	0.96	0.96	1.00	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_med	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Corr_min	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00

Quadro LII - Humidade relativa. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise horizontal a diferentes cotas, para cada ano de campanha.

Legenda:

Corr_max - correlação entre as séries dos valores máximos mensais.

Corr_med - correlação entre as séries dos valores médios mensais, etc.

L.E-P.C - Lado Esquerdo (L.E) versus Parte Central (P.C) do Painel.

L.E-L.D - Lado Esquerdo (L.E) versus Lado Direito Central (L.D) do Painel.

		HUMIDADE RELATIVA (%)								
		MAXIMOS			MÉDIAS			MÍNIMOS		
		L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito
Ano 1993	corr_0-1	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98
	corr_1-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
	corr_2-3	0.99	0.99	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	0.98	1.00
	corr_0-2	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99
	corr_1-3	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.99
	corr_0-3	0.99	0.98	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	0.98	0.99
Ano 1994	corr_0-1	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	1.00
	corr_1-2	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	1.00
	corr_2-3	0.99	0.96	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99
	corr_0-2	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-3	0.99	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.99
	corr_0-3	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99
Ano 1995	corr_0-1	1.00	0.83	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-2	1.00	0.80	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.97	0.97
	corr_0-2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-3	1.00	0.81	1.00	1.00	0.99	1.00	0.97	0.97	0.97
	corr_0-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.97	0.96
Ano 1996	corr_0-1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	corr_1-2	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99
	corr_2-3	1.00	1.00	1.00	0.92	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00
	corr_0-2	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00
	corr_1-3	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99
	corr_0-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00

Quadro LIII - Humidade relativa. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise vertical segundo diferentes perfis, para cada ano de campanha.

Legenda:

Corr_0-1 - correlação entre as séries amostradas nos pontos a cota 0m e 1m, etc.

L. Esquerdo - perfil do Lado Esquerdo do painel, etc.

		HUMIDADE RELATIVA (%)								
		MÁXIMOS			MÉDIAS			MÍNIMOS		
		L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito	L. Esquerdo	P. Central	L. Direito
0 metros	corr_93/94	-0.05	0.00	-0.04	-0.68	-0.67	-0.65	-0.35	-0.36	-0.31
	corr_93/95	-0.37	-0.34	-0.39	0.61	0.59	0.61	0.31	0.33	0.41
	corr_94/95	-0.16	-0.14	-0.14	-0.54	-0.51	-0.50	-0.15	-0.16	-0.16
	corr_94/96	0.43	0.36	0.40	0.84	0.85	0.81	-0.20	-0.17	-0.18
	corr_95/96	-0.33	-0.39	-0.34	-0.92	-0.93	-0.92	-0.14	-0.11	-0.19
1 metro	corr_93/94	-0.07	-0.06	-0.07	-0.70	-0.69	-0.72	-0.30	-0.27	-0.49
	corr_93/95	-0.43	-0.09	-0.40	0.63	0.64	0.65	0.32	0.31	0.30
	corr_94/95	-0.17	0.03	-0.16	-0.56	-0.54	-0.55	-0.11	-0.06	-0.20
	corr_94/96	0.44	0.41	0.43	0.83	0.84	0.83	-0.17	-0.17	-0.19
	corr_95/96	-0.33	-0.34	-0.33	-0.91	-0.91	-0.93	-0.04	-0.07	-0.10
2 metros	corr_93/94	-0.06	-0.05	-0.04	-0.68	-0.66	-0.70	-0.42	-0.43	-0.43
	corr_93/95	-0.38	-0.37	-0.38	0.63	0.65	0.64	0.32	0.34	0.33
	corr_94/95	-0.17	-0.15	-0.15	-0.55	-0.55	-0.55	-0.19	-0.18	-0.17
	corr_94/96	0.42	0.42	0.39	0.66	0.87	0.89	-0.02	-0.06	-0.10
	corr_95/96	-0.33	-0.33	-0.33	-0.77	-0.92	-0.93	-0.07	-0.10	-0.06
3 metros	corr_93/94	-0.08	-0.10	-0.04	-0.64	-0.69	-0.60	-0.32	-0.26	-0.20
	corr_93/95	-0.38	-0.42	-0.40	0.62	0.64	0.60	0.37	0.34	0.29
	corr_94/95	-0.15	-0.07	-0.12	-0.51	-0.50	-0.46	0.06	0.07	0.09
	corr_94/96	0.43	-0.08	0.47	0.88	0.86	0.86	-0.11	-0.05	-0.13
	corr_95/96	-0.33	-0.33	-0.33	-0.91	-0.92	-0.87	0.08	0.01	0.06

Quadro LIV - Humidade relativa. Coeficientes de correlação para as diferentes séries constituídas pelos valores máximos, médios e mínimos mensais. Análise do comportamento no tempo (1993/1996), por ponto de amostragem.

Legenda:

Corr_93/94 - correlação entre as séries dos anos 1993 e 1994, por ponto de amostragem, etc.

ANEXO III

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (°C)			TEMPERATURA DO AR (°C)			TEMPERATURA HÚMIDA (°C)			T. PONTO DE ORVALHO (°C)			HUMIDADE RELATIVA (%)			
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	
1993	Mar.	16.2	15.7	15.3	16.1	15.7	15.2	13.3	12.0	9.7	11.9	8.8	4.3	77.6	64.6	46.5	
	Abr.	16.9	16.2	15.4	16.9	16.2	15.3	13.8	12.6	10.7	12.0	9.7	6.3	75.9	65.4	50.8	
	Mai.	18.4	17.5	16.2	18.4	17.4	16.2	15.9	14.6	12.9	14.9	12.6	9.7	83.9	73.4	61.4	
	Jun.	21.0	19.7	17.0	21.0	19.7	17.1	18.0	16.3	14.1	16.7	14.3	10.1	79.6	70.9	54.3	
	Jul.	23.3	22.2	20.6	23.3	22.2	20.6	23.2	19.1	16.3	22.6	17.1	12.8	99.9	74.5	54.6	
	Ago.	23.9	23.4	22.9	23.9	23.4	22.9	22.4	19.2	16.4	22.0	16.9	13.1	92.1	67.9	53.3	
	Set.	23.8	22.7	21.4	23.8	22.6	21.4	23.6	19.8	16.5	23.5	18.3	13.0	99.9	77.1	56.0	
	Out.	21.0	19.7	18.6	21.0	19.7	18.5	19.8	18.5	17.0	19.4	17.7	14.5	97.8	88.7	74.4	
	Nov.	18.5	17.2	16.2	18.5	17.2	16.1	16.8	15.1	13.0	16.3	13.7	10.6	92.6	79.8	69.5	
	Dez.	16.2	15.5	14.7	18.0	15.5	14.7	15.3	14.0	12.2	15.2	12.9	9.9	97.5	84.5	66.6	
	Mediana		19.8	18.6	16.6	19.8	18.6	16.7	17.4	15.7	13.6	16.5	14.0	10.4	92.4	74.0	55.3
	Média		19.9	19.0	17.8	20.1	19.0	17.8	18.2	16.1	13.9	17.5	14.2	10.4	89.7	74.7	58.7
Máximos		23.9	23.4	22.9	23.9	23.4	22.9	23.6	19.8	17.0	23.5	18.3	14.5	99.9	88.7	74.4	
Mínimos		16.2	15.5	14.7	16.1	15.5	14.7	13.3	12.0	9.7	11.9	8.8	4.3	75.9	64.6	46.5	

Quadro LV - Valores máximos, médios, mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1993. Painei SS^{mo} Sacramento.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (°C)			TEMPERATURA DO AR (°C)			TEMPERATURA HÚMIDA (°C)			T. PONTO DE ORVALHO (°C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
1994	Jan.	15.0	14.9	14.8	15.0	14.9	14.8	14.5	14.4	14.3	14.4	14.2	14.0	95.7	95.1	94.2
	Fev.	14.2	13.4	12.1	14.2	13.4	12.1	12.4	10.8	9.2	11.1	8.6	5.9	91.0	73.0	60.8
	Mar.	16.1	15.0	13.6	16.0	15.0	13.6	12.4	11.8	10.6	10.8	9.2	7.5	78.6	67.7	54.1
	Abr.	17.0	16.5	16.1	17.1	16.5	16.1	16.3	14.2	10.4	16.2	12.3	4.7	97.8	78.4	45.9
	Mai.	18.0	17.6	17.1	18.0	17.6	17.1	17.4	14.5	12.7	17.1	12.3	9.3	95.3	71.6	57.4
	Jun.	21.3	19.8	17.9	21.3	19.7	14.9	17.1	16.4	14.9	15.3	14.3	12.7	78.1	70.5	60.7
	Jul.	24.4	21.8	21.1	24.4	21.8	21.0	21.5	18.3	16.3	21.3	16.3	12.2	96.0	71.9	59.8
	Ago.	23.1	22.6	22.1	23.1	22.6	22.1	19.5	18.4	17.1	17.6	16.1	14.0	72.6	66.8	59.3
	Set.	23.2	22.4	21.3	23.2	22.4	21.3	23.1	17.9	14.8	22.9	15.2	10.1	97.8	65.4	41.6
	Out.	21.9	21.4	20.7	21.9	21.4	20.7	18.4	16.7	14.4	16.6	13.8	9.7	71.9	62.1	49.1
	Nov.	19.8	18.8	14.5	19.8	18.7	14.5	17.5	15.0	12.3	16.9	12.4	10.4	78.8	66.4	56.8
	Dez.	17.9	17.1	15.2	17.9	17.1	15.2	15.3	13.4	11.2	13.9	10.6	7.5	75.8	65.2	53.7
Mediana		18.9	18.2	16.6	18.9	18.2	15.7	17.3	14.8	13.5	16.4	13.1	9.9	84.9	69.1	57.1
Média		19.3	18.4	17.2	19.3	18.4	17.0	17.1	15.2	13.2	16.2	12.9	9.8	85.8	71.2	57.8
Máximos		24.4	22.6	22.1	24.4	22.6	22.1	23.1	18.4	17.1	22.9	16.3	14.0	97.8	95.1	94.2
Mínimos		14.2	13.4	12.1	14.2	13.4	12.1	12.4	10.8	9.2	10.8	8.6	4.7	71.9	62.1	41.6

Quadro LVI - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1994. Painei SS^{mo} Sacramento.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (°C)			TEMPERATURA DO AR (°C)			TEMPERATURA HÚMIDA (°C)			T. PONTO DE ORVALHO (°C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
1995	Jan.	15.8	15.1	14.4	15.8	15.1	14.4	19.4	11.6	8.9	12.3	8.4	2.7	81.7	65.0	43.5
	Fev.	16.5	15.8	14.8	16.5	15.7	14.8	16.8	13.5	9.9	17.1	11.9	5.2	99.9	78.0	51.1
	Mar.	17.6	16.1	15.1	17.6	16.1	15.1	17.9	14.1	11.6	17.9	12.6	8.5	99.9	80.6	59.9
	Abr.	18.7	17.7	16.8	18.7	17.7	16.9	18.7	14.1	11.8	18.8	11.2	6.4	99.9	67.3	46.2
	Mai.	19.9	19.1	16.0	19.9	19.2	18.3	18.9	16.0	13.7	18.8	13.9	10.0	99.9	72.6	56.4
	Jun.	21.8	21.0	20.2	21.8	21.0	20.2	21.1	17.5	15.0	20.8	15.4	12.6	95.0	70.3	61.0
	Jul.	23.5	22.5	20.6	23.5	22.5	20.6	19.0	18.2	13.7	16.9	15.8	13.7	71.2	65.9	61.0
	Ago.	24.9	23.7	23.0	24.7	23.7	23.0	20.5	19.0	15.6	18.7	16.6	14.1	75.2	64.7	54.0
	Set.	24.7	23.4	22.2	24.7	23.3	22.2	24.4	20.1	15.0	23.5	18.4	9.5	97.8	75.7	42.6
	Out.	23.1	22.4	21.9	23.1	22.4	21.9	23.7	20.2	15.3	23.4	18.8	11.2	99.9	81.6	50.0
	Nov.	21.1	20.1	18.5	21.1	20.1	18.4	20.6	19.7	18.0	20.4	19.4	17.7	98.7	95.6	87.7
	Dez.	18.0	16.9	16.0	18.0	16.9	15.7	19.7	17.0	15.3	20.3	16.9	14.6	99.9	97.6	90.5
Mediana		20.5	19.6	17.7	20.5	19.7	18.4	19.6	17.3	14.4	18.8	15.6	10.6	99.3	74.2	55.2
Média		20.5	19.5	18.3	20.5	19.5	18.5	20.1	16.8	13.7	19.1	14.9	10.5	93.3	76.2	58.7
Máximos		24.9	23.7	23.0	24.7	23.7	23.0	24.4	20.2	18.0	23.5	19.4	17.7	99.9	97.6	90.5
Mínimos		15.8	15.1	14.4	15.8	15.1	14.4	16.8	11.6	8.9	12.3	8.4	2.7	71.2	64.7	42.6

Quadro LVII - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1995. Painei SS^{mo} Sacramento.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (°C)			TEMPERATURA DO AR (°C)			TEMPERATURA HÚMIDA (°C)			T. PONTO DE ORVALHO (°C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
1996	Jan.	18.8	16.4	14.9	18.3	16.4	14.1	18.2	15.6	12.3	18.5	15.0	9.6	99.9	90.5	66.5
	Fev.	15.3	14.5	13.8	15.2	14.5	13.8	15.0	12.4	9.0	14.9	10.3	4.1	99.8	77.2	40.9
	Mar.	16.0	14.6	13.7	16.0	14.6	13.7	14.7	12.7	11.0	14.9	11.4	8.4	99.9	81.2	67.4
	Abr.	16.6	16.1	15.5	16.6	16.1	15.5	16.7	14.8	12.8	16.8	13.8	10.8	99.9	86.9	72.7
Mediana		16.3	15.4	14.4	16.3	15.4	14.0	15.9	13.8	11.7	15.9	12.6	9.0	99.9	84.1	67.0
Média		16.7	15.4	14.5	16.5	15.4	14.3	16.2	13.9	11.3	16.3	12.6	8.2	99.9	84.0	61.9
Máximos		18.8	16.4	15.5	18.3	16.4	15.5	18.2	15.6	12.8	18.5	15.0	10.8	99.9	90.5	72.7
Mínimos		15.3	14.5	13.7	15.2	14.5	13.7	14.7	12.4	9.0	14.9	10.3	4.1	99.8	77.2	40.9

Quadro LVIII - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1996. Painei SS^{mo} Sacramento.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (°C)			TEMPERATURA DO AR (°C)			TEMPERATURA HÚMIDA (°C)			T. PONTO DE ORVALHO (°C)			HUMIDADE RELATIVA (%)			
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	
1993	Mar.	16.0	15.7	15.4	16.0	15.7	15.4	14.1	12.1	9.9	12.9	9.0	4.6	82.4	65.6	47.2	
	Abr.	16.9	16.3	15.0	16.9	16.3	15.5	14.1	12.6	10.9	12.9	9.7	6.9	77.2	65.3	55.7	
	Mai.	18.4	17.5	16.4	18.4	17.4	16.4	15.7	14.4	13.2	14.5	12.4	10.0	79.7	71.9	60.5	
	Jun.	20.9	19.6	18.0	20.9	19.6	18.0	17.8	16.3	13.3	16.2	14.3	9.9	77.9	71.4	52.9	
	Jul.	23.5	22.2	20.4	23.5	22.2	20.4	22.6	19.4	16.5	22.6	17.9	13.7	99.9	78.1	58.9	
	Ago.	23.8	23.3	22.8	23.8	23.3	22.8	22.9	19.9	17.1	22.7	18.1	13.8	96.2	73.7	56.6	
	Set.	23.7	22.6	21.1	23.7	22.6	21.4	29.5	20.1	16.4	23.5	18.5	13.3	99.9	78.7	58.5	
	Out.	20.7	19.7	18.7	20.7	19.7	18.6	19.9	18.8	18.0	19.6	18.4	17.2	97.7	91.6	86.2	
	Nov.	18.2	17.4	16.4	18.2	17.4	16.4	17.9	15.7	13.5	16.8	14.6	11.4	93.2	83.1	71.3	
	Dez.	16.8	15.7	14.8	16.8	15.7	14.7	15.8	14.7	13.0	15.7	14.0	10.2	98.4	89.4	66.0	
	Mediana		19.6	18.5	17.2	19.6	18.5	17.2	17.9	16.0	13.4	16.5	14.4	10.8	94.7	75.9	58.7
	Média		19.9	19.0	17.9	19.9	19.0	18.0	19.0	16.4	14.2	17.7	14.7	11.1	90.3	76.9	61.4
Máximos		23.8	23.3	22.8	23.8	23.3	22.8	29.5	20.1	18.0	23.5	18.5	17.2	99.9	91.6	86.2	
Mínimos		16.0	15.7	14.8	16.0	15.7	14.7	14.1	12.1	9.9	12.9	9.0	4.6	77.2	65.3	47.2	

Quadro LIX - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1993. Painel Túmulo D. Maria I.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (°C)			TEMPERATURA DO AR (°C)			TEMPERATURA HÚMIDA (°C)			T. PONTO DE ORVALHO (°C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
1994	Jan.	15.1	15.0	14.9	15.0	15.0	14.9	14.8	14.7	14.6	14.6	14.4	14.3	96.2	95.7	95.3
	Fev.	14.5	13.7	13.1	14.4	13.7	13.1	13.3	11.0	9.5	11.1	8.7	6.2	80.8	71.7	59.9
	Mar.	16.3	15.2	13.9	16.3	15.2	13.9	12.6	11.9	10.5	10.8	9.3	7.5	77.5	67.6	57.7
	Abr.	17.2	16.6	15.9	17.2	16.6	15.9	17.0	14.4	11.1	16.9	12.6	6.5	98.3	79.3	50.2
	Mai.	18.2	17.6	17.3	18.2	17.7	17.2	15.9	14.5	12.9	17.1	12.5	9.0	85.0	71.3	58.8
	Jun.	21.2	19.8	18.0	21.9	19.8	17.9	17.4	16.4	15.0	15.3	14.4	13.0	78.1	70.6	61.6
	Jul.	22.8	21.9	21.0	22.8	21.8	21.0	21.8	18.2	16.2	21.8	16.1	13.3	98.9	70.5	60.9
	Ago.	23.2	22.6	21.9	23.2	22.6	21.9	22.2	18.5	14.4	18.8	16.2	13.7	78.2	67.4	60.5
	Set.	23.2	22.5	21.5	23.2	22.5	21.5	23.0	18.1	15.0	23.0	15.5	10.2	98.7	66.2	49.0
	Out.	22.0	21.4	20.7	22.0	21.4	20.6	18.4	16.8	14.2	16.5	14.0	9.9	78.5	62.9	49.5
	Nov.	19.9	19.0	17.8	19.9	19.0	17.8	19.6	15.2	14.2	19.7	12.6	10.7	78.8	66.1	57.2
	Dez.	18.2	17.4	15.7	18.2	17.3	15.7	15.5	13.5	11.5	14.1	10.6	7.8	75.6	64.3	53.6
Mediana		19.1	18.3	17.6	19.1	18.3	17.5	17.2	14.9	14.2	16.7	13.3	10.1	79.8	69.0	58.3
Média		19.3	18.6	17.6	19.4	18.5	17.6	17.6	15.3	13.3	16.6	13.1	10.2	85.4	71.1	59.5
Máximos		23.2	22.6	21.9	23.2	22.6	21.9	23.0	18.5	16.2	23.0	16.2	14.3	98.9	95.7	95.3
Mínimos		14.5	13.7	13.1	14.4	13.7	13.1	12.6	11.0	9.5	10.8	8.7	6.2	75.6	62.9	49.0

Quadro LX - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1994. Painel Túmulo D. Maria I.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (°C)			TEMPERATURA DO AR (°C)			TEMPERATURA HÚMIDA (°C)			T. PONTO DE ORVALHO (°C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
1995	Jan.	15.7	15.3	14.7	15.7	15.3	14.7	13.7	11.6	9.4	12.3	8.4	3.3	80.2	63.6	43.7
	Fev.	16.3	15.8	15.2	16.3	15.8	15.1	16.2	13.4	9.9	17.7	11.6	4.9	99.9	76.5	49.2
	Mar.	22.9	16.3	15.2	22.9	16.2	15.2	22.7	14.2	12.0	22.5	12.7	8.5	99.9	80.7	59.8
	Abr.	18.6	17.7	16.8	18.6	17.7	16.8	18.9	14.1	11.4	18.8	11.3	6.3	99.9	67.6	46.6
	Mai.	20.1	19.2	18.3	20.1	19.2	18.3	19.2	16.2	14.0	19.2	14.3	10.7	99.9	73.7	59.8
	Jun.	21.8	21.0	20.1	21.9	20.9	20.0	21.2	17.4	15.3	20.9	15.2	12.3	95.4	70.2	60.2
	Jul.	23.7	22.6	21.2	23.7	22.6	21.2	19.1	18.3	16.9	17.3	15.9	14.1	71.5	66.0	60.9
	Ago.	24.5	23.7	22.9	24.6	23.7	21.0	20.6	19.1	17.9	18.9	16.7	14.4	73.5	64.7	53.8
	Set.	24.7	23.5	22.5	24.7	23.5	22.5	27.6	20.6	15.3	23.9	19.0	10.3	97.9	77.9	45.4
	Out.	22.7	22.4	22.1	23.3	22.4	22.1	22.8	20.3	15.7	22.9	19.1	11.4	99.9	82.9	50.1
	Nov.	21.4	20.3	18.9	21.4	20.3	18.9	21.0	20.0	18.5	20.9	19.8	18.3	99.1	96.9	92.6
	Dez.	19.0	17.1	16.2	18.3	17.1	16.2	18.2	16.7	14.5	18.7	16.4	12.8	99.9	95.1	76.5
Mediana		21.6	19.8	18.6	21.7	19.8	18.6	19.9	17.1	14.9	19.1	15.6	11.1	99.5	75.1	56.8
Média		21.0	19.6	18.7	21.0	19.6	18.5	20.1	16.8	14.2	19.5	15.0	10.6	93.1	76.3	58.2
Máximos		24.7	23.7	22.9	24.7	23.7	22.5	27.6	20.6	18.5	23.9	19.8	18.3	99.9	96.9	92.6
Mínimos		15.7	15.3	14.7	15.7	15.3	14.7	13.7	11.6	9.4	12.3	8.4	3.3	71.5	63.6	43.7

Quadro LXI - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1995. Painel Túmulo D. Maria I.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (°C)			TEMPERATURA DO AR (°C)			TEMPERATURA HÚMIDA (°C)			T. PONTO DE ORVALHO (°C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
1996	Jan.	17.4	16.2	15.1	17.4	16.2	15.1	17.3	15.0	12.3	17.4	14.2	9.7	99.9	87.7	67.3
	Fev.	15.0	14.4	13.7	14.9	14.4	13.7	14.6	11.8	9.0	13.7	9.5	4.3	92.6	73.4	52.5
	Mar.	15.6	14.6	14.0	15.6	14.6	14.0	15.5	12.8	11.3	14.6	11.3	8.9	99.9	80.4	61.4
	Abr.	16.4	16.1	15.5	16.4	16.1	15.5	16.4	14.8	12.9	16.2	13.8	11.1	99.4	86.5	73.7
Mediana		16.0	15.4	14.6	16.0	15.4	14.6	16.0	13.8	11.8	15.4	12.6	9.3	99.7	83.5	64.4
Média		16.1	15.3	14.6	16.1	15.3	14.6	16.0	13.6	11.4	15.5	12.2	8.5	98.0	82.0	63.7
Máximos		17.4	16.2	15.5	17.4	16.2	15.5	17.3	15.0	12.9	17.4	14.2	11.1	99.9	87.7	73.7
Mínimos		15.0	14.4	13.7	14.9	14.4	13.7	14.6	11.8	9.0	13.7	9.5	4.3	92.6	73.4	52.5

Quadro LXII - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1996. Painel Túmulo D. Maria I.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (-C)			TEMPERATURA DO AR (-C)			TEMPERATURA HÚMIDA (-C)			T. PONTO DE ORVALHO (-C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
1993	Mar.	16.2	15.6	15.4	16.1	15.6	15.0	13.3	12.1	10.0	11.9	8.9	4.3	77.6	64.8	41.4
	Abr.	16.9	16.2	15.3	16.9	16.2	15.3	13.8	12.5	10.5	12.0	9.7	6.2	75.9	65.2	54.2
	Mai.	18.4	17.4	16.2	18.4	17.4	16.2	15.9	14.4	12.9	14.9	12.4	9.5	83.9	72.0	59.6
	Jun.	21.0	20.0	18.1	21.0	20.0	18.1	18.0	16.4	13.8	16.7	14.3	9.3	79.6	69.5	51.6
	Jul.	23.3	22.2	21.1	23.3	22.2	21.1	23.2	19.9	16.3	22.6	18.6	13.1	99.9	80.8	61.8
	Ago.	23.9	23.4	22.8	23.9	23.4	22.9	22.4	20.9	18.2	22.0	19.6	15.1	92.1	80.0	61.5
	Set.	23.8	22.6	21.1	23.8	22.6	21.1	23.6	20.0	16.5	23.5	18.6	13.2	99.9	79.3	56.2
	Out.	21.0	19.6	18.1	21.0	19.6	18.1	19.8	19.0	17.7	19.4	18.7	17.5	97.8	94.3	87.3
	Nov.	18.5	17.2	16.3	18.5	17.2	16.2	16.8	15.9	13.5	16.3	15.2	11.3	92.6	87.7	73.2
	Dez.	16.2	15.5	14.5	16.2	15.5	14.5	15.3	14.8	13.2	15.2	14.3	10.9	97.5	92.7	69.8
Mediana		19.8	18.5	17.2	19.8	18.5	17.2	17.4	16.2	13.7	16.5	14.7	11.1	92.4	79.7	60.6
Média		19.9	19.0	17.9	20.1	19.0	17.9	18.2	16.6	14.3	17.5	15.0	11.0	89.7	78.6	61.7
Máximos		23.9	23.4	22.8	23.9	23.4	22.9	23.6	20.9	18.2	23.5	19.6	17.5	99.9	94.3	87.3
Mínimos		16.2	15.5	14.5	16.1	15.5	14.5	13.3	12.1	10.0	11.9	8.9	4.3	75.9	64.8	41.4

Quadro LXIII - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1993. Painel S. José.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (-C)			TEMPERATURA DO AR (-C)			TEMPERATURA HÚMIDA (-C)			T. PONTO DE ORVALHO (-C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
1994	Fev.	15.0	13.5	13.0	15.0	13.5	12.9	14.5	10.8	9.3	14.4	8.6	5.8	95.7	72.1	59.0
	Mar.	14.2	15.1	13.6	14.2	15.0	13.6	12.4	11.9	11.0	11.1	9.3	7.4	91.0	67.8	58.2
	Abr.	16.1	16.5	16.0	16.0	16.5	16.0	12.4	14.4	10.5	10.8	12.8	5.1	78.6	80.2	48.9
	Mai.	17.0	17.7	17.1	17.1	17.7	17.2	16.3	14.5	12.3	16.2	12.4	8.2	97.8	70.8	55.3
	Jun.	18.0	19.8	18.1	18.0	19.8	18.1	17.4	16.4	13.4	17.1	14.3	12.9	95.3	70.3	60.3
	Jul.	21.3	22.0	21.2	21.3	22.0	21.2	17.1	18.2	15.9	15.3	16.2	12.2	78.1	69.5	54.8
	Ago.	24.4	22.7	22.0	24.4	22.7	22.0	21.5	18.8	17.0	21.3	16.6	13.6	96.0	68.8	54.7
	Set.	23.1	22.5	21.4	23.1	22.5	21.4	19.5	17.9	14.8	17.6	15.2	10.0	72.6	64.8	48.2
	Out.	23.2	21.3	20.3	23.2	21.3	20.3	23.1	16.7	14.1	22.9	13.8	9.7	97.8	62.5	50.3
	Nov.	21.9	18.9	17.6	21.9	18.9	17.6	18.4	15.1	14.2	16.6	12.5	10.9	71.9	66.4	57.4
Dez.	19.8	17.2	15.6	19.8	17.1	15.6	17.5	13.4	11.4	16.9	10.7	7.8	78.8	65.0	56.5	
Mediana		19.8	18.9	17.6	19.8	18.9	17.6	17.4	15.1	13.4	16.6	12.8	9.7	91.0	68.8	55.3
Média		19.5	18.8	17.8	19.5	18.8	17.8	17.3	15.3	13.1	16.4	13.0	9.4	86.7	68.9	54.9
Máximos		24.4	22.7	22.0	24.4	22.7	22.0	23.1	18.8	17.0	22.9	16.6	13.6	97.8	80.2	60.3
Mínimos		14.2	13.5	13.0	14.2	13.5	12.9	12.4	10.8	9.3	10.8	8.6	5.1	71.9	62.5	48.2

Quadro LXIV - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1994. Painel S. José.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (°C)			TEMPERATURA DO AR (°C)			TEMPERATURA HÚMIDA (°C)			T. PONTO DE ORVALHO (°C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
1995	Jan.	15.8	15.1	14.4	15.8	15.1	14.4	19.4	11.5	9.0	12.3	8.5	3.1	81.7	65.1	44.0
	Fev.	16.5	15.6	14.9	16.5	15.6	14.9	16.8	13.2	9.6	17.1	11.4	4.3	99.9	76.4	44.6
	Mar.	17.6	15.7	14.4	17.6	15.7	14.4	17.9	13.4	10.6	17.9	11.5	7.1	99.9	77.3	57.7
	Abr.	18.7	17.8	16.8	18.7	17.8	16.8	18.7	14.2	11.5	18.8	11.4	5.5	99.9	67.4	44.3
	Mai.	19.9	19.4	18.6	19.9	19.3	18.6	18.9	16.2	13.7	18.8	14.0	9.8	99.9	72.0	55.3
	Jun.	21.8	21.1	20.2	21.8	21.1	20.1	21.1	17.5	15.1	20.8	15.3	11.8	95.0	69.9	58.7
	Jul.	23.5	22.7	21.5	23.5	22.7	21.4	19.0	18.3	16.9	16.9	15.8	13.8	71.2	64.9	58.9
	Ago.	24.9	23.8	23.0	24.7	23.8	23.0	20.5	19.0	17.7	18.7	16.5	14.6	75.2	63.8	55.9
	Set.	24.7	23.6	14.4	24.7	23.6	14.4	24.4	20.9	14.8	23.5	19.4	9.0	97.8	79.1	41.4
	Out.	23.1	22.6	22.0	23.1	22.5	22.0	23.7	20.4	15.0	23.4	19.2	11.0	99.9	82.7	47.6
	Nov.	21.1	20.3	18.6	21.1	20.3	18.6	20.6	20.1	18.5	20.4	20.0	18.4	98.7	97.5	91.7
	Dez.	18.0	16.9	16.1	18.0	16.9	16.1	19.7	16.4	14.2	20.3	16.0	12.1	99.9	93.9	72.1
Mediana		20.5	19.8	17.7	20.5	19.8	17.7	19.6	16.9	14.5	18.8	15.6	10.4	99.3	74.2	55.6
Média		20.5	19.5	17.9	20.5	19.5	17.9	20.1	16.8	13.9	19.1	14.9	10.0	93.3	75.8	56.0
Máximos		24.9	23.8	23.0	24.7	23.8	23.0	24.4	20.9	18.5	23.5	20.0	18.4	99.9	97.5	91.7
Mínimos		15.8	15.1	14.4	15.8	15.1	14.4	16.8	11.5	9.0	12.3	8.5	3.1	71.2	63.8	41.4

Quadro LXV - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1995. Painei S. José.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (°C)			TEMPERATURA DO AR (°C)			TEMPERATURA HÚMIDA (°C)			T. PONTO DE ORVALHO (°C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
1996	Jan.	18.8	15.9	14.2	18.3	15.9	14.2	18.2	14.4	12.2	18.5	13.4	9.4	99.9	85.3	66.8
	Fev.	15.3	14.2	13.4	15.2	14.2	13.4	15.0	11.4	8.5	14.9	8.9	3.0	99.8	72.2	41.3
	Mar.	16.0	14.2	13.4	16.0	14.2	13.4	14.7	12.5	11.0	14.9	11.2	8.8	99.9	81.3	53.2
	Abr.	16.6	15.8	15.5	16.6	15.8	15.4	16.7	14.4	12.6	16.8	13.2	10.5	99.9	84.5	71.9
Mediana		16.3	15.0	13.8	16.3	15.0	13.8	15.9	13.4	11.6	15.9	12.2	9.1	99.9	82.9	60.0
Média		16.7	15.0	14.1	16.5	15.0	14.1	16.2	13.2	11.1	16.3	11.7	7.9	99.9	80.8	58.3
Máximos		18.8	15.9	15.5	18.3	15.9	15.4	18.2	14.4	12.6	18.5	13.4	10.5	99.9	85.3	71.9
Mínimos		15.3	14.2	13.4	15.2	14.2	13.4	14.7	11.4	8.5	14.9	8.9	3.0	99.8	72.2	41.3

Quadro LXVI - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1996. Painei S. José.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (-C)			TEMPERATURA DO AR (-C)			TEMPERATURA HÚMIDA (-C)			T. PONTO DE ORVALHO (-C)			HUMIDADE RELATIVA (%)			
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	
1993	Mar.	16.0	15.6	15.2	16.0	15.6	15.2	12.9	11.9	9.5	14.1	8.6	3.8	82.4	64.4	45.4	
	Abr.	16.9	16.3	15.5	16.9	16.3	15.4	12.9	12.6	8.3	14.1	9.8	6.6	77.2	65.3	52.8	
	Mai.	18.4	17.5	16.2	18.4	17.5	16.2	14.5	14.5	13.1	15.7	12.5	10.0	79.7	72.2	61.1	
	Jun.	20.9	20.0	19.0	20.9	20.0	19.0	16.2	16.5	13.9	17.8	14.4	9.2	77.9	70.0	53.9	
	Jul.	23.5	22.3	20.3	23.5	22.4	20.3	22.6	20.5	16.4	22.6	19.6	13.6	99.9	85.4	61.2	
	Ago.	23.8	23.5	23.0	23.8	23.5	23.0	22.7	21.4	19.4	22.9	20.5	17.0	96.2	83.8	67.1	
	Set.	23.7	22.7	21.0	23.7	22.7	21.0	23.5	20.4	17.4	29.5	19.0	14.6	99.9	80.4	60.0	
	Out.	20.7	19.7	18.4	20.7	19.7	18.4	19.6	19.2	18.3	19.9	18.9	17.8	97.7	95.0	87.3	
	Nov.	18.2	17.5	16.3	18.2	17.5	16.3	16.8	16.3	14.0	17.9	15.6	10.4	93.2	88.5	68.8	
	Dez.	16.8	15.5	14.6	16.8	15.5	14.6	15.7	14.9	13.4	15.8	14.6	11.3	98.4	94.1	72.3	
	Mediana		19.6	18.6	17.4	19.6	18.6	17.4	16.5	16.4	14.0	17.9	15.1	10.9	94.7	82.1	61.2
	Média		19.9	19.1	18.0	19.9	19.1	17.9	17.7	16.8	14.4	19.0	15.3	11.4	90.3	79.9	63.0
Máximos		23.8	23.5	23.0	23.8	23.5	23.0	23.5	21.4	19.4	29.5	20.5	17.8	99.9	95.0	87.3	
Mínimos		16.0	15.5	14.6	16.0	15.5	14.6	12.9	11.9	8.3	14.1	8.6	3.8	77.2	64.4	45.4	

Quadro LXVII - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1993. Painel S. Teresa.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (-C)			TEMPERATURA DO AR (-C)			TEMPERATURA HÚMIDA (-C)			T. PONTO DE ORVALHO (-C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
1994	Fev.	15.1	13.5	13.1	15.0	13.5	13.0	14.6	10.9	9.4	14.8	8.6	5.9	96.2	72.3	60.2
	Mar.	14.5	15.0	13.6	14.4	15.0	13.7	11.1	11.8	11.0	13.3	9.2	7.0	80.8	67.9	56.1
	Abr.	16.3	16.5	16.0	16.3	16.5	16.0	10.8	14.2	10.6	12.6	12.4	5.5	77.5	78.3	49.3
	Mai.	17.2	17.8	17.2	17.2	17.8	17.3	16.9	14.6	12.5	17.0	12.4	8.6	98.3	70.7	56.0
	Jun.	18.2	19.9	18.1	18.2	19.8	18.1	17.1	16.4	15.0	15.9	14.3	12.9	85.0	70.1	60.4
	Jul.	21.2	21.9	21.3	21.9	21.9	21.3	15.3	18.3	16.0	17.4	16.2	12.6	78.1	69.7	56.7
	Ago.	22.8	22.7	22.2	22.8	22.7	22.2	21.8	18.7	16.2	21.8	16.4	14.0	98.9	68.6	58.9
	Set.	23.2	22.6	21.4	23.2	22.6	21.4	18.8	18.0	13.8	22.2	15.1	9.8	78.2	64.4	40.4
	Out.	23.2	21.5	20.5	23.2	21.4	20.5	23.0	16.7	13.8	23.0	13.9	9.6	98.7	62.0	49.4
	Nov.	22.0	18.9	17.9	22.0	18.9	17.9	16.5	15.1	14.1	18.4	12.5	10.4	78.5	65.8	56.6
	Dez.	19.9	17.1	15.6	19.9	17.1	15.6	19.7	13.3	11.4	19.6	10.4	7.8	78.8	64.3	55.9
	Mediana		19.9	18.9	17.9	19.9	18.9	17.9	16.9	15.1	13.8	17.4	12.5	9.6	80.8	68.6
Média		19.4	18.9	17.9	19.5	18.8	17.9	16.9	15.3	13.1	17.8	12.9	9.5	86.3	68.5	54.5
Máximos		23.2	22.7	22.2	23.2	22.7	22.2	23.0	18.7	16.2	23.0	16.4	14.0	98.9	78.3	60.4
Mínimos		14.5	13.5	13.1	14.4	13.5	13.0	10.8	10.9	9.4	12.6	8.6	5.5	77.5	62.0	40.4

Quadro LXVIII - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1994. Painel S. Teresa.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (-C)			TEMPERATURA DO AR (-C)			TEMPERATURA HÚMIDA (-C)			T. PONTO DE ORVALHO (-C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
1995	Jan.	15.7	15.1	14.6	15.7	15.1	14.6	12.3	11.5	9.2	13.7	8.4	3.5	80.2	64.7	46.1
	Fev.	16.3	15.6	15.1	16.3	15.6	15.1	17.7	13.2	9.7	16.2	11.4	4.5	99.9	76.5	48.1
	Mar.	22.9	15.7	14.9	22.9	15.7	14.9	22.5	13.3	10.8	22.7	11.5	7.0	99.9	77.2	46.8
	Abr.	18.6	17.8	16.8	18.6	17.8	16.8	18.8	14.1	11.1	18.9	11.2	6.1	99.9	67.0	44.6
	Mai.	20.1	19.3	18.4	20.1	19.3	18.4	19.2	16.0	13.1	19.2	13.8	9.9	99.9	71.7	56.4
	Jun.	21.8	21.1	20.2	21.9	21.1	20.1	20.9	17.5	15.3	21.2	15.3	12.1	95.4	70.1	59.7
	Jul.	23.7	22.7	21.5	23.7	22.7	21.5	17.3	18.2	15.6	19.1	15.9	13.9	71.5	65.2	60.1
	Ago.	24.5	23.8	23.0	24.6	23.8	23.0	18.9	19.1	17.7	20.6	16.5	14.6	73.5	63.8	53.8
	Set.	24.7	23.7	22.5	24.7	23.7	22.5	23.9	20.9	14.8	27.6	19.3	9.0	97.9	79.0	41.4
	Out.	22.7	22.5	22.1	23.3	22.5	22.1	22.9	20.3	15.6	22.8	19.0	11.1	99.9	82.4	44.3
	Nov.	21.4	20.3	18.7	21.4	20.3	18.7	20.9	20.1	18.5	21.0	19.9	18.3	99.1	97.3	91.3
	Dez.	19.0	16.9	16.1	18.3	16.8	16.1	18.7	16.4	14.1	18.2	16.1	12.3	99.9	94.0	74.1
Mediana		21.6	19.8	18.6	21.7	19.8	18.6	19.1	17.0	14.5	19.9	15.6	10.5	99.5	74.1	51.0
Média		21.0	19.5	18.7	21.0	19.5	18.7	19.5	16.7	13.8	20.1	14.9	10.2	93.1	75.7	55.6
Máximos		24.7	23.8	23.0	24.7	23.8	23.0	23.9	20.9	18.5	27.6	19.9	18.3	99.9	97.3	91.3
Mínimos		15.7	15.1	14.6	15.7	15.1	14.6	12.3	11.5	9.2	13.7	8.4	3.5	71.5	63.8	41.4

Quadro LXIX - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1995. Painel S. Teresa.

ANO	MÊS	TEMPERATURA DA PAREDE (-C)			TEMPERATURA DO AR (-C)			TEMPERATURA HÚMIDA (-C)			T. PONTO DE ORVALHO (-C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
1996	Jan.	17.4	16.0	14.5	17.4	16.0	14.4	17.4	14.4	12.3	17.3	13.3	9.4	99.9	84.4	64.7
	Fev.	15.0	14.2	13.6	14.9	14.1	13.6	13.7	11.4	8.8	14.6	8.9	3.7	92.6	71.7	50.8
	Mar.	15.6	14.3	13.6	15.6	14.3	13.6	14.6	12.6	11.2	15.5	11.4	8.8	99.9	81.5	70.0
	Abr.	16.4	15.9	15.5	16.4	15.9	15.5	16.2	14.5	13.0	16.4	13.4	10.8	99.4	85.7	72.7
Mediana		16.0	15.1	14.1	16.0	15.1	14.0	15.4	13.5	11.8	16.0	12.3	9.1	99.7	83.0	67.4
Média		16.1	15.1	14.3	16.1	15.1	14.3	15.5	13.2	11.3	16.0	11.7	8.2	98.0	80.8	64.6
Máximos		17.4	16.0	15.5	17.4	16.0	15.5	17.4	14.5	13.0	17.3	13.4	10.8	99.9	85.7	72.7
Mínimos		15.0	14.2	13.6	14.9	14.1	13.6	13.7	11.4	8.8	14.6	8.9	3.7	92.6	71.7	50.8

Quadro LXX - Valores máximos, médios e mínimos mensais e anuais e, ainda, mediana anual, para os diferentes elementos do clima medidos. Ano de 1996. Painel S. Teresa.

ANEXO IV

	TEMPERATURA DA PAREDE (-°C)			TEMPERATURA DO AR (-°C)			TEMPERATURA HUMIDA (-°C)			T. PONTO DE ORVALHO (-°C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO
Corr_93_SS_TM	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	0.93	1.00	0.98	0.99	0.99	0.98	0.96	0.97	0.94
Corr_94_SS_TM	0.99	1.00	0.96	0.99	1.00	0.94	0.95	1.00	0.91	0.98	1.00	0.98	0.87	1.00	0.99
Corr_95_SS_TM	0.87	1.00	0.98	0.88	1.00	0.98	0.70	1.00	0.93	0.89	1.00	0.99	1.00	0.99	0.95
Corr_96_SS_TM	0.97	1.00	0.98	0.99	1.00	0.83	0.92	0.97	1.00	0.97	0.98	1.00	1.00	0.97	0.90
Corr_global_SS_TM	0.95	1.00	0.98	0.95	1.00	0.97	0.89	1.00	0.94	0.96	0.99	0.98	0.95	0.98	0.94
Corr_93_SS_SJ	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	0.92	0.99	0.98	0.96	0.98	0.97	0.95	0.91	0.93
Corr_94_SS_SJ	0.99	1.00	0.96	0.99	1.00	0.93	0.97	1.00	0.95	0.93	1.00	0.99	0.73	0.97	0.85
Corr_95_SS_SJ	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	0.73	0.63	0.99	0.92	0.96	0.99	0.98	1.00	0.98	0.93
Corr_96_SS_SJ	0.96	1.00	0.96	0.98	1.00	0.98	0.99	0.96	1.00	0.99	0.95	0.99	0.17	0.91	0.87
Corr_global_SS_SJ	0.99	1.00	0.88	0.99	1.00	0.88	0.87	0.99	0.95	0.95	0.97	0.97	0.91	0.93	0.88
Corr_93_SS_ST	1.00	1.00	0.97	0.91	1.00	0.98	0.94	0.99	0.95	0.98	0.97	0.97	0.94	0.87	0.89
Corr_94_SS_ST	0.99	1.00	0.96	0.99	1.00	0.93	0.91	1.00	0.96	0.92	1.00	0.99	0.79	0.98	0.96
Corr_95_SS_ST	0.96	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	0.85	0.99	0.95	0.96	0.99	0.98	0.99	0.99	0.92
Corr_96_SS_ST	0.95	1.00	0.98	0.96	1.00	0.97	0.99	0.94	1.00	0.26	0.93	1.00	0.64	0.87	0.98
Corr_global_SS_ST	0.98	1.00	0.97	0.96	1.00	0.97	0.89	0.98	0.94	0.93	0.97	0.96	0.92	0.90	0.88
Corr_93_TM_SJ	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	0.83	1.00	0.99	0.96	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97
Corr_94_TM_SJ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00	0.90	0.91	1.00	0.98	0.89	0.99	0.82
Corr_95_TM_SJ	0.85	1.00	0.72	0.86	1.00	0.67	0.69	1.00	0.99	0.85	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99
Corr_96_TM_SJ	1.00	1.00	0.92	1.00	1.00	0.93	0.84	1.00	1.00	0.92	0.99	0.99	0.24	0.98	0.99
Corr_global_TM_SJ	0.95	1.00	0.90	0.95	1.00	0.89	0.85	1.00	0.97	0.92	0.99	0.99	0.96	0.98	0.96
Corr_93_TM_ST	1.00	1.00	0.99	0.93	1.00	0.99	1.00	1.00	0.96	0.99	0.99	0.97	0.98	0.95	0.94
Corr_94_TM_ST	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	1.00	0.94	0.90	1.00	0.99	0.85	0.98	0.88
Corr_95_TM_ST	0.82	1.00	1.00	0.87	1.00	0.98	0.87	1.00	0.99	0.89	1.00	0.99	1.00	0.99	0.96
Corr_96_TM_ST	1.00	1.00	0.95	0.99	1.00	0.94	0.92	0.99	1.00	0.45	0.99	1.00	0.69	0.96	0.85
Corr_global_TM_ST	0.93	1.00	1.00	0.92	1.00	0.99	0.92	0.99	0.96	0.91	0.99	0.98	0.95	0.96	0.94
Corr_93_SJ_ST	1.00	1.00	0.99	0.92	1.00	0.99	0.85	1.00	0.99	0.95	1.00	0.99	1.00	0.99	0.97
Corr_94_SJ_ST	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	0.96	0.93	1.00	0.99	0.93	0.99	0.89
Corr_95_SJ_ST	0.96	1.00	0.73	1.00	1.00	0.73	0.84	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97
Corr_96_SJ_ST	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	0.12	1.00	1.00	0.87	0.99	0.79
Corr_global_SJ_ST	0.98	1.00	0.90	0.96	1.00	0.91	0.87	1.00	0.98	0.94	1.00	0.99	0.98	0.99	0.93

Quadro LXXI - Coeficientes de correlação espacial para os elementos do clima medidos nos diferentes painéis. Para as séries anuais e globais, i.e., para as séries definidas no período de amostragem (1993-1996).

Legenda:

Corr_93_SS_TM - correlação entre as séries dos elementos do clima medidos em 1993, nos painéis SS^{mo} Sacramento e Túmulo D. Maria I.

Corr_93_SS_SJ - correlação entre as séries dos elementos do clima medidos em 1993, nos painéis SS^{mo} Sacramento e S. José.

Corr_93_SS_ST - correlação entre as séries dos elementos do clima medidos em 1993, nos painéis SS^{mo} Sacramento e S. Teresa, etc.

ANEXO V

	TEMPERATURA DA PAREDE (°C)			TEMPERATURA DO AR (°C)			TEMPERATURA HÔMIDA (°C)			TEMPERATURA ORVALHO (°C)			HUMIDADE RELATIVA (%)		
	MÁXIMOS	MÉDIAS	MÍNIMOS	MÁXIMOS	MÉDIAS	MÍNIMOS	MÁXIMOS	MÉDIAS	MÍNIMOS	MÁXIMOS	MÉDIAS	MÍNIMOS	MÁXIMOS	MÉDIAS	MÍNIMOS
corr_93/94	0.96	0.95	0.92	0.97	0.95	0.91	0.88	0.96	0.90	0.82	0.84	0.67	-0.08	-0.68	-0.05
corr_93/95	0.98	0.95	0.89	0.96	0.95	0.90	0.61	0.84	0.49	0.30	0.76	0.47	-0.35	0.63	0.43
corr_94/95	0.97	0.98	0.91	0.97	0.98	0.87	0.62	0.72	0.38	0.38	0.31	0.25	-0.10	-0.53	-0.11
corr_94/96	0.04	0.64	0.91	0.14	0.64	0.84	0.70	0.98	0.59	0.77	0.99	0.23	-0.02	0.83	-0.05
corr_95/96	-0.41	0.12	0.60	-0.33	0.15	0.89	0.88	-0.61	0.20	-0.72	-0.84	0.01	-0.33	-0.90	-0.13

Quadro LXXII - Coeficientes de correlação temporal das séries climatológicas para os diferentes elementos do clima. Paineis SS^{mo} Sacramento.

ANEXO VI

PAINEL SSMO SACRAMENTO																	
ANO	MES	TEMPERATURA DA PAREDE (-C)			TEMPERATURA DO AR (-C)			TEMPERATURA HÚMIDA (-C)			T. PONTO DE ORVALHO (-C)			HUMIDADE RELATIVA (%)			
		MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	
1993	Mar.	16,2	15,7	15,3	16,1	15,7	15,2	13,3	12,0	9,7	11,9	8,8	4,3	77,6	64,6	46,5	
	Abr.	16,9	16,2	15,4	16,9	16,2	15,3	13,8	12,6	10,7	12,0	9,7	6,3	75,9	65,4	50,8	
	Mai.	18,4	17,5	16,2	18,4	17,4	16,2	15,9	14,6	12,9	14,9	12,6	9,7	83,9	72,4	61,4	
	Jun.	21,0	19,7	17,0	21,0	19,7	17,1	18,0	16,3	14,1	16,7	14,3	10,1	79,6	70,9	54,3	
	Jul.	23,3	22,2	20,6	23,3	22,2	20,6	23,2	19,1	16,3	22,6	17,1	12,8	99,9	74,5	54,6	
	Ago.	23,9	23,4	22,9	23,9	23,4	22,9	22,4	19,2	16,4	22,0	16,9	13,1	92,1	67,9	53,3	
	Set.	23,8	22,7	21,4	23,8	22,6	21,4	23,6	19,8	16,5	23,5	18,3	13,0	99,9	77,1	56,0	
	Out.	21,0	19,7	18,6	21,0	19,7	18,5	19,8	18,5	17,0	19,4	17,7	14,5	97,8	88,7	74,4	
	Nov.	18,5	17,2	16,2	18,5	17,2	16,1	16,8	15,1	13,0	16,3	13,7	10,6	92,6	79,8	69,5	
	Dez.	16,2	15,5	14,7	18,0	15,5	14,7	15,3	14,0	12,2	15,2	12,9	9,9	97,5	84,5	66,6	
	1994	Jan.	15,0	14,9	14,8	15,0	14,9	14,8	14,5	14,4	14,3	14,4	14,2	14,0	95,7	95,1	94,2
		Fev.	14,2	13,4	12,1	14,2	13,4	12,1	12,4	10,8	9,2	11,1	8,6	5,9	91,0	73,0	60,8
Mar.		16,1	15,0	13,6	16,0	15,0	13,6	12,4	11,8	10,6	10,8	9,2	7,5	78,6	67,7	54,1	
Abr.		17,0	16,5	16,1	17,1	16,5	16,1	16,3	14,2	10,4	16,2	12,3	4,7	97,8	78,4	45,9	
Mai.		18,0	17,6	17,1	18,0	17,6	17,1	17,4	14,5	12,7	17,1	12,3	9,3	95,3	71,6	57,4	
Jun.		21,3	19,8	17,9	21,3	19,7	14,9	17,1	16,4	14,9	15,3	14,3	12,7	78,1	70,5	60,7	
Jul.		24,4	21,8	21,1	24,4	21,8	21,0	21,5	18,3	16,3	21,3	16,3	12,2	96,0	71,9	59,8	
Ago.		23,1	22,6	22,1	23,1	22,6	22,1	19,5	18,4	17,1	17,6	16,1	14,0	72,6	66,8	59,3	
Set.		23,2	22,4	21,3	23,2	22,4	21,3	23,1	17,9	14,8	22,9	15,2	10,1	97,8	65,4	41,6	
Out.		21,9	21,4	20,7	21,9	21,4	20,7	18,4	16,7	14,4	16,6	13,8	9,7	71,9	62,1	49,1	
Nov.		19,8	18,8	14,5	19,8	18,7	14,5	17,5	15,0	12,3	16,9	12,4	10,4	78,8	66,4	56,8	
Dez.		17,9	17,1	15,2	17,9	17,1	15,2	15,3	13,4	11,2	13,9	10,6	7,5	75,8	65,2	53,7	
1995	Jan.	15,8	15,1	14,4	15,8	15,1	14,4	19,4	11,6	8,9	12,3	8,4	2,7	81,7	65,0	43,5	
	Fev.	16,5	15,8	14,8	16,5	15,7	14,8	16,8	13,5	9,9	17,1	11,9	5,2	99,9	78,0	51,1	
	Mar.	17,6	16,1	15,1	17,6	16,1	15,1	17,9	14,1	11,6	17,9	12,6	8,5	99,9	80,6	59,9	
	Abr.	18,7	17,7	16,8	18,7	17,7	16,9	18,7	14,1	11,8	18,8	11,2	6,4	99,9	67,3	46,2	
	Mai.	19,9	19,1	16,0	19,9	19,2	18,3	18,9	16,0	13,7	18,8	13,9	10,0	99,9	72,6	56,4	
	Jun.	21,8	21,0	20,2	21,8	21,0	20,2	21,1	17,5	15,0	20,8	15,4	12,6	95,0	70,3	61,0	
	Jul.	23,5	22,5	20,6	23,5	22,5	20,6	19,0	18,2	13,7	16,9	15,8	13,7	71,2	65,9	61,0	
	Ago.	24,9	23,7	23,0	24,7	23,7	23,0	20,5	19,0	15,6	18,7	16,6	14,1	75,2	64,7	54,0	
	Set.	24,7	23,4	22,2	24,7	23,3	22,2	24,4	20,1	15,0	23,5	18,4	9,5	97,8	75,7	42,6	
	Out.	23,1	22,4	21,9	23,1	22,4	21,9	23,7	20,2	15,3	23,4	18,8	11,2	99,9	81,6	50,0	
	Nov.	21,1	20,1	18,5	21,1	20,1	18,4	20,6	19,7	18,0	20,4	19,4	17,7	98,7	95,6	87,7	
	Dez.	18,0	16,9	16,0	18,0	16,9	15,7	19,7	17,0	15,3	20,3	16,9	14,6	99,9	97,6	90,5	
1996	Jan.	18,8	16,4	14,9	18,3	16,4	14,1	18,2	15,6	12,3	18,5	15,0	9,6	99,9	90,5	66,5	
	Fev.	15,3	14,5	13,8	15,2	14,5	13,8	15,0	12,4	9,0	14,9	10,3	4,1	99,8	77,2	40,9	
	Mar.	16,0	14,6	13,7	16,0	14,6	13,7	14,7	12,7	11,0	14,9	11,4	8,4	99,9	81,2	67,4	
	Abr.	16,6	16,1	15,5	16,6	16,1	15,5	16,7	14,8	12,8	16,8	13,8	10,8	99,9	86,9	72,7	
Mediana	18,8	17,7	16,2	18,6	17,7	16,2	18,1	15,4	13,4	17,0	13,9	10,1	95,9	72,8	56,6		
Média	19,6	18,6	17,4	19,6	18,6	17,4	18,2	15,8	13,3	17,4	13,9	10,0	90,7	75,0	58,7		

Quadro LXXIII - Aplicação dos "Runs Test for randomness". Séries climatológicas para o período 1993/1996, com os valores acima da respectiva mediana em itálico.

n1	n2	Nº de seqüências		n1	n2	Nº de seqüências	
2	2-11	--	--	10	16-18	8	19
2	12-20	2	--	10	19	8	20
3	3-5	--	--	10	20	9	20
3	6-14	2	--	11	11	7	17
3	15-20	3	--	11	12	7	18
4	4	--	--	11	13	7	19
4	5-6	2	9	11	14-15	8	19
4	7	2	--	11	16	8	20
4	8-15	3	--	11	17-18	9	20
4	16-20	4	--	11	19-20	9	21
5	5	2	10	12	12	7	19
5	6	3	10	12	13	8	19
5	7-8	3	11	12	14-15	8	20
5	9-10	3	--	12	16-18	9	21
5	11-17	4	--	12	19-20	10	22
5	18-20	5	--	13	13	8	20
6	6	3	11	13	14	9	20
6	7-8	3	12	13	15-16	9	21
6	9-12	4	13	13	17-18	10	22
6	13-18	5	--	13	19-20	20	23
6	19-20	6	--	14	14	9	21
7	7	3	13	14	15	9	22
7	8	4	13	14	16	10	22
7	9	4	14	14	17-18	10	23
7	10-12	5	14	14	19	11	23
7	13-14	5	15	14	20	11	24
7	15	6	15	15	15	10	22
7	16-20	6	---	15	16	10	23
8	8	4	14	15	17	11	23
8	9	5	14	15	18-19	11	24
8	10-11	5	15	15	20	12	25
8	12-15	6	16	16	16	11	23
8	16	6	17	16	17	11	24
8	17-20	7	17	16	18	11	25
9	9	5	15	16	19-20	12	25
9	10	5	16	17	17	11	25
9	11-12	6	16	17	18	12	25
9	13	6	17	17	19	12	26
9	14	7	17	17	20	13	26
9	15-17	7	18	18	18	12	26
9	18-20	8	18	18	19	13	26
10	10	6	16	18	20	13	27
10	11	6	17	19	19-20	13	27
10	12	7	17	20	20	14	28
10	13-15	7	18				

Quadro LXXIV - Quadro para testes de aleatoriedade de seqüências. Nível de significância de 5% (Langley, 1970).