

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
QUÍMICA

**INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE SAIS
SOLÚVEIS NAS PROPRIEDADES CERÂMICAS E
EFLORESCENTES EM CERÂMICA VERMELHA DO
ESTADO DA PARAÍBA**

SOLANGE FRANCISCO DO NASCIMENTO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CAMPINA GRANDE
Dezembro/1998

SOLANGE FRANCISCO DO NASCIMENTO
Aluna de Mestrado em Engenharia Química
CCT/PRAI/UFPB

**INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE SAIS SOLÚVEIS NAS
PROPRIEDADES CERÂMICAS E EFLORESCENTES EM
CERÂMICA VERMELHA DO ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao curso de mestrado em Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Tecnologia de Materiais Não-Metálicos

ORIENTADOR: Dr. HEBER CARLOS FERREIRA
Professor do DEMA/CCT

CO-ORIENTADOR: Dr. HANS RAJ GHEYI
Professor do DEAg

CAMPINA GRANDE
Dezembro/1998



N244i Nascimento, Solange Francisco do.
Influência da concentração de sais solúveis nas propriedades cerâmicas e eflorescentes em cerâmica vermelha do Estado da Paraíba / Solange Francisco do Nascimento. - Campina Grande, 1998.
257 f.

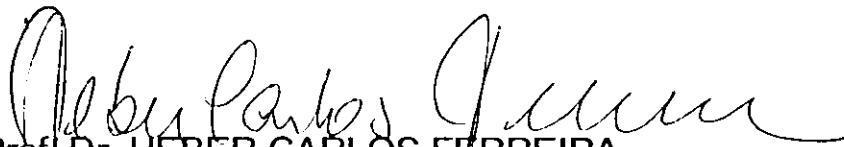
Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1998.
"Orientação : Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira, Prof. Dr. Hans Raj Gheyi".
Referências.

1. Cerâmica Vermelha - Paraíba. 2. Propriedades Cerâmicas e Eflorescentes. 3. Cerâmica Vermelha - Concentração de Sais Solúveis. 4. Dissertação - Engenharia Química. I. Ferreira, Heber Carlos. II. Gheyi, Hans Raj. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título CDU 666.3(813.3)(043)

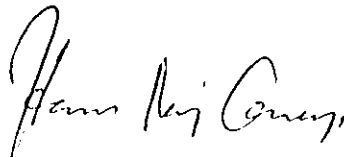
**INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE SAIS SOLÚVEIS NAS
PROPRIEDADES CERÂMICAS E EFLORESCENTES EM
CERÂMICA VERMELHA DO ESTADO DA PARAÍBA**

SOLANGE FRANCISCO DO NASCIMENTO

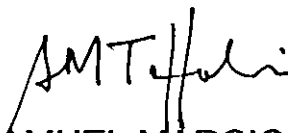
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 14/12/98



Prof. Dr. HEBER CARLOS FERREIRA
Orientador



Prof. Dr. HANS RAJ GHEYI
Co-orientador



Prof. Dr. SAMUEL MÁRCIO TOFFOLI
Examinador Externo



Prof. Dr. HÉLIO DE LUCENA LIRA
Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar meus passos e me fortalecer nos momentos difíceis desta caminhada, conduzindo-me a finalização deste trabalho.

Aos orientadores Dr. Heber Carlos Ferreira e Dr. Hans Raj Gheyi, pelo empenho, contribuição teórica e incentivo no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao professor Manassés da Costa Agra Melo, pela gentil contribuição de equipamentos e assessoria técnica prestadas no desenvolvimento dos trabalhos laboratoriais.

Aos meus colaboradores Francisco Euésali, Rachel Brasileiro, Rosemir Marques da Silva, Herbet Bezerra e Estefânia de Oliveira Quiroz, pela grande ajuda prestada nos trabalhos experimentais.

A Rossini Farias Reis, pelo incentivo, apoio, compreensão e ajuda prestados na execução desta dissertação.

Aos meus irmãos Carmem Célia Francisco do Nascimento e Abel Francisco do Nascimento Filho, pelo incentivo e ajuda prestados no durante o curso.

À ATECEL, em particular, aos professores Francisco Leidimar Bezerra e Francisco Edmar Brasileiro pelo apoio financeiro e incentivo prestados a esta pesquisa.

Ao ex-coordenador do curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Kepler B. França, pelas condições proporcionadas no decorrer desta pesquisa.

Às secretárias da coordenação do curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Maricé Pereira da Silva e Maria José Bezerra Cavalcanti, pela colaboração durante a vigência do curso.

Aos engenheiros Jeconias D. Costa, Rosimeri Ribeiro Ramos, Solange Costa, José Geraldo dos Santos, Francisco Brasileiro e Alcides Ferreira Machado, pela contribuição técnica e apoio prestados para a conclusão deste curso.

Aos professores Lúcia Helena Chaves, José Avelino Freire, Annemarie Köing e Adilson D. Barros, pela orientação e fornecimento de equipamentos na execução da parte experimental.

Aos funcionários, Manoel H. Pereira, Francisco de Assis Santana, Manoel Dias, Geraldo J. de Medeiros e Eugeniano A. dos Santos, pela colaboração e gentilezas prestadas durante a parte experimental deste estudo.

Aos funcionários Josenira dos Santos França, Eliane A. Alves, Ádney José D. de Souza e Joselito de A. Ferreira, pelo incentivo, apoio e compreensão dados no decorrer deste trabalho.

Aos funcionários, José Wilson da S. Barões, Francisco de A. C. de Oliveira e Francisco A. da Silva, do laboratório de salinidade, pela colaboração nos ensaios experimentais.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Abel Francisco do Nascimento e
Maria Lucinete Pereira da Silva.

RESUMO

Sais solúveis presentes em alvenarias e concretos têm provocado perda de massa, levando-os a um processo de degradação continuado, agravado por fatores ambientais como poluição atmosférica e intempéries, aumentando seus custos de manutenção ou mesmo inutilizando-os. A mais comum forma de atuação dos sais solúveis é a formação de depósitos, facilmente lixiviáveis, denominados de eflorescências ou subeflorescências. Os sais presentes em alvenarias e concretos, podem se originar do solo, dos materiais de construção e também dos produtos de reações secundárias entre os constituintes da construção, e entre estes e os componentes do meio atmosférico.

Para o desenvolvimento da pesquisa, corpos de provas foram moldados utilizando argilas e água de amassamento com diferentes concentrações de sais solúveis, sendo queimados nas temperaturas de 700°C, 800°C e 900°C, sendo submetidos a ensaios cerâmicos e ensaios de eflorescências, objetivando-se avaliar a influência que a concentração de sais solúveis na água de amassamento exerce nas referidas propriedades. Valores da condutividade elétrica nos extratos da pasta de saturação das argilas bem como, nos extratos de corpos de provas, foram medidos, com o intuito de verificar a quantidade de sais presentes, em termos de porcentagem, nas argilas e nos corpos de provas, utilizando uma relação matemática adaptada da equação desenvolvida por Richards.

Os resultados obtidos, em relação às propriedades cerâmicas, permitiram concluir que os comportamentos desenvolvidos são influenciados pela temperatura de queima e concentração de sais solúveis na água de amassamento. Em relação às propriedades eflorescentes a maioria das amostras desenvolveram depósitos de sais, cujo nível apresentado depende da temperatura de queima e também da concentração de sais solúveis na água de amassamento.

ABSTRACT

Soluble salts present in masonry and concretes have provoked mass loss and contributing to a continuous degradation process, worsened by environmental factors as atmospheric pollution and weathering, increasing its maintenance costs or disabling them. The most common form of appearance of the soluble salts is the formation of deposits, that can be easily leached, denominated as efflorescences or subflorescences. The salts present in masonry and concrete, can be originated from the soil, construction materials and also from products of secondary reactions between componentes of the construe, and between these and the atmospheric enviroment.

For the development of this research, samples had been molded using clays and tempering water with different concentrations of soluble salts, following by sintering in temperatures of 700°C, 800°C and 900°C. After this samples has being submitted to ceramic and efflorescences test. The aim of this study is to evaluate the influence that the concentration of soluble salts in the tempering water in the cited properties. Values of the electric conductivity in extracts of the paste of saturation of clays as well as, in extracts of bodies of tests, had been measured, with intention to verify the amount of soluble salts, in terms of percentage, using a equation developed for Richards.

The results of the ceramic properties, had allowed to conclude that the developed behaviors are influenced by the temperature of burning and concentration of soluble salts in the tempering water. In relation to the efflorescences properties the majority of the samples had developed deposits of salts, whose level depends on the temperature of sintering and also from the concentration of soluble salts in the tempering water.

SIMBOLOGIA

- R é a constante de gases;
- T é a temperatura ambiente;
- ρ/ρ_0 é a umidade relativa;
- V_M é o volume molar;
- ϑ é o ângulo de contato;
- ϑ_0 é a inclinação do poro, no caso geral de sucção capilar;
- r é o raio capilar;
- σ é a tensão superficial;
- CE é a condutividade elétrica;
- PS é a porcentagem de saturação;
- γ é a tensão superficial da solução;
- η é a viscosidade da solução;
- h é a altura da superfície do líquido, no capilar;
- V é a velocidade de ascensão capilar da água, na altura h;
- K é a força capilar, no sistema de fluxo por capilaridade;
- G é a força gravitacional, no sistema de fluxo por capilaridade;
- P é a pressão externa, no sistema de fluxo por capilaridade;
- ε é a densidade da água;
- u é o fator de desvio;
- J_K é o fluxo por capilaridade;
- j é a massa que flui, por unidade de área da superfície do poro, por unidade de tempo, ou seja é o fluxo por difusão;
- D é o coeficiente de difusividade;
- $\frac{dc}{dx}$ é o gradiente de concentração;

- J é a velocidade de difusão do vapor d'água, no processo de evaporação, através da camada de difusão δ ;
- M é o peso molecular;
- δ é a espessura da camada de difusão;
- P_a é a pressão do vapor d'água no ar ambiente;
- P_s é a pressão de vapor d'água na superfície da solução;
- c é a porosidade do tijolo;
- α_s é o coeficiente de expansão térmica do sal;
- α_t é o coeficiente de expansão térmica do tijolo;
- E_s é o módulo de Young do sal;
- E_t é o módulo de Young do tijolo;
- C é a concentração do sal em peso;
- ρ_s é a densidade do sal;
- ρ_t é a densidade do tijolo;
- UP é a umidade de prensagem;
- P_u é o peso do corpo de prova úmido após a prensagem;
- P_s é o peso do corpo de prova a secagem a 110°C ;
- RS é a retração linear após a secagem do corpo de prova a 110°C ;
- L_0 é o comprimento inicial do corpo de prova;
- L_1 é o comprimento do corpo de prova após a secagem a 110°C ;
- RQ é a retração linear de queima do corpo de prova;
- L_2 é o comprimento do corpo de prova após a queima;
- PA é a porosidade aparente;
- P_{sa} é o peso do corpo de prova saturado de água;
- P_i é o peso do corpo de prova imerso em água;
- AA é a absorção de água;
- MEA é a massa específica aparente;
- TR é a tensão de ruptura à flexão;
- P_R é a carga de rompimento;
- L é a distância entre os apoios da máquina;
- b é a largura do corpo de prova;
- h_p é a altura do corpo de prova;

- R_S é o resíduo sólido ou sais no extrato de saturação;
- P_0 é o peso do béquer;
- P_1 é o peso do béquer depois que a alíquota do extrato foi secada em “banho maria” e na estufa;
- V_A é o volume da alíquota do extrato da argila;
- a é o coeficiente angular da reta de regressão linear;
- V_P é o volume de água destilada utilizado para retirar o extrato dos corpos de prova;
- P_t é o peso médio dos corpos de prova;

SUMÁRIO

	pag.
RESUMO	
ABSTRACT	
SIMBOLOGIA	
1.0 – INTRODUÇÃO.....	1
2.0 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 – Mecanismo de formação de depósitos de sais.....	5
2.1.1 – Água.....	6
2.1.1.1 – Caracterização dos recursos hídricos do Nordeste do Brasil.....	8
2.1.2 – Os sais.....	11
2.1.2.1 – Movimento dos sais através de estruturas porosas.....	13
2.1.2.1.1 – Capilaridade.....	13
2.1.2.1.2 – Difusão.....	16
2.1.2.2 – Localização.....	18

	pag.
2.1.2.2.1 – Produtos de cerâmica vermelha.....	18
2.1.2.2.2 – Alvenarias e concretos.....	20
2.1.2.3 – Compostos químicos dos depósitos de sais.....	21
2.1.2.3.1 – Carbonatos.....	22
2.1.2.3.2 – Sulfatos.....	23
2.1.2.4 – Efeitos.....	26
2.1.2.5 – Formação de cristais.....	28
2.1.2.6 – Outros mecanismos de deterioração.....	36
2.2 – Redução do potencial de formação de depósitos de sais.....	39
3.0 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
3.1 – Materiais.....	42
3.1.1 – Argilas.....	42
3.1.2 – Água.....	46
3.2 – Métodos.....	46
3.2.1 – Beneficiamento das amostras.....	46
3.2.2 – Preparação dos corpos dos prova.....	47

	pag.
3.2.3 – Ensaio cerâmicos.....	48
3.2.3.1 – Umidade de prensagem.....	48
3.2.3.2 – Retração linear de secagem.....	49
3.2.3.3 – Retração linear de queima.....	50
3.2.3.4 – Porosidade aparente.....	51
3.2.3.5 – Absorção de água.....	51
3.2.3.6 – Massa específica aparente.....	52
3.2.3.7 – Tensão de ruptura à flexão.....	53
3.2.4 – Determinação dos teores de sais solúveis em argilas e em corpos de provas de cerâmica vermelha.....	54
3.2.4.1 – Determinação da condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação da argila.....	54
3.2.4.2 – Determinação do resíduo sólido seco como sais solúveis no extrato da pasta de saturação da argila.....	55
3.2.4.3 – Regressão linear para determinação da porcentagem de sais solúveis.....	55
3.2.4.4 – Porcentagem de sais solúveis no extrato da pasta de saturação da argila.....	56

	pag.
3.2.4.5 – Determinação da condutividade elétrica no extrato dos corpos de provas.....	57
3.2.4.6 – Porcentagem de sais solúveis no extrato dos corpos de provas...	58
3.2.5 – Ensaio de eflorescência.....	59
3.2.6 – Análise química.....	60
4.0 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.1 – Ensaio cerâmicos.....	62
4.1.1 – Umidade de prensagem.....	65
4.1.2 – Retração linear de secagem.....	68
4.1.3 – Retração linear de queima.....	70
4.1.4 – Porosidade aparente.....	76
4.1.5 – Absorção de água.....	81
4.1.6 – Massa específica aparente.....	87
4.1.7 – Tensão de ruptura à flexão.....	93
4.2 – Resultados dos teores de sais solúveis em argilas e em corpos de provas de cerâmica vermelha.....	99

	pag.
4.2.1 – Resultado da condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação da argila.....	99
4.2.2 – Resultado do resíduo sólido seco como sais solúveis no extrato da pasta de saturação da argila.....	100
4.2.3 – Regressão linear para determinação da porcentagem de sais solúveis.....	100
4.2.4 – Porcentagem de sais solúveis no extrato da pasta de saturação da argila.....	101
4.2.5 – Resultado da condutividade elétrica no extrato dos corpos de provas.....	104
4.2.6 – Porcentagem de sais solúveis no extrato dos corpos de provas.....	112
4.3 – Ensaio de eflorescências.....	128
4.3.1 – Condição 1 → temperatura de 24°C a 28°C e umidade relativa de 37,00% a 97,00%.....	128
4.3.2 – Condição 2 → temperatura de 75°C ± 5°C e umidade relativa de 51,00% ± 2,00%.....	135
4.3.3 – Condição 3 → temperatura de 90°C ± 2°C e umidade relativa de 70,00% ± 3,00%.....	142
4.4 – Análise química.....	153

	pag.
5.0 – CONCLUSÕES.....	154
5.1 – Ensaio cerâmicos.....	154
5.1.1 – Umidade de prensagem.....	154
5.1.2 – Retração linear de secagem.....	155
5.1.3 – Retração linear de queima.....	155
5.1.4 – Porosidade aparente.....	156
5.1.5 – Absorção de água.....	156
5.1.6 – Massa específica aparente.....	157
5.1.7 – Tensão de ruptura à flexão.....	157
5.2 – Teores de sais solúveis em argilas e em corpos de provas de cerâmica vermelha.....	158
5.2.1 – Condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação da argila.....	158
5.2.2 – Resíduo sólido seco como sais solúveis no extrato da pasta de saturação da argila.....	159
5.2.3 – Regressão linear para determinação da porcentagem de sais solúveis.....	159

	pag.
5.2.4 – Porcentagem de sais solúveis no extrato da pasta de saturação da argila.....	159
5.2.5 – Condutividade elétrica no extrato dos corpos de provas.....	161
5.2.6 – Porcentagem de sais solúveis no extrato dos corpos de provas.....	162
5.3 – Ensaio de eflorescências.....	162
5.3.1 – Condição 1 → temperatura de 24°C a 28°C e umidade relativa de 37,00% a 97,00%.....	163
5.3.2 – Condição 2 → temperatura de 75°C ± 5°C e umidade relativa de 51,00% ± 2,00%.....	164
5.3.3 – Condição 3 → temperatura de 90°C ± 2°C e umidade relativa de 70% ± 3%.....	164
5.4 – Análise química.....	164
6.0 – SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	165
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	167
ANEXO 1 – NORMAS E METODOLOGIAS.....	173
ANEXO 2 – FIGURAS.....	192

CAPÍTULO I

1.0 – INTRODUÇÃO

A argila, material natural, de textura terrosa, constituída de argilominerais, materiais acessórios, sais solúveis e matéria orgânica, devido à sua constituição, apresenta uma ampla faixa de aplicação industrial, indo desde de decorantes, cargas e coberturas, utilizadas na indústria do papel, a fluídos para perfuração, na indústria petrolífera (Souza Santos, 1990). Uma das mais difundida e antiga utilização da argila é seu emprego na fabricação de utensílios domésticos e produtos de cerâmica vermelha destinados à construção civil. Arqueólogos encontraram peças de barro produzidas cerca de 15.000 anos aC., enquanto que a produção de tijolos foi registrada 5.000 anos aC., quando eram endurecidos ao sol, sendo catalogados os primeiros fornos, para a queima deste produto, por volta de 3.000 anos aC. (Macedo, 1997). No entanto, a presença de sais solúveis em argilas e produtos de cerâmica vermelha, além de outros materiais constituintes da construção civil, tem sido objeto de estudos de pesquisadores desde o século passado, na tentativa de reduzi-los ou eliminá-los, sem haver no entanto, progressos consideráveis. Isto porque, o processo de desintegração ou degradação, ocasionado sobretudo pela elevação no nível de poluição atmosférica, tem sido fortemente agravado devido à formação de depósitos de sais. Estes processos assola todos os materiais naturais e manufaturados e aumenta os custos de manutenção de estruturas ou mesmo inutiliza-as. Estes depósitos dependendo da sua localização, são denominados de “scum” ou “scumming”, eflorescências ou subeflorescências.

Os sais solúveis estão envolvidos de forma direta e/ou indireta nos mecanismos de dissolução química, fenômenos de expansão térmica e higroscópica, além de fazerem parte de compostos solúveis, facilmente lixiviáveis, estando todos estes mecanismos envolvidos no processo de desintegração. As principais fontes destes sais são os materiais de construção e o solo onde são erguidas as estruturas. Sua atuação mais destrutiva ocorre quando os sais são carregados de sua fonte original, através da água, para uma outra parte da construção, estabelecendo-se sob forma de depósitos de cristais, geralmente de cor branca, quando ocorre a evaporação da água. Se os depósitos estão localizados na superfície são denominados de eflorescências, porém se os mesmos estão localizados em regiões próximas a esta, são denominados de subeflorescências. Todavia, depósitos de sais podem também ser formados durante o processo de secagem e queima dos produtos de cerâmica, tais como tijolos e telhas, sendo então, denominados respectivamente de "scum" de secador e "scum" de forno.

Os depósitos nas estruturas, quando confinados, produzem forças de pressão consideráveis, proporcionando perda de massa de alvenarias e concretos, contribuindo assim, para o mecanismo de desintegração denominado de delaminação superficial. As subeflorescências são as formações de depósitos de sais que mais contribuem para este processo de desintegração (Binda e Baronio, 1983).

Além de fontes de sais e presença de água na construção, para que ocorra a formação dos depósitos de sais, são necessárias também condições ambientais e de estrutura que proporcionem a evaporação da água, pois a formação dos depósitos está condicionada a este fenômeno. No Brasil, por ser um país de clima tropical, as condições climáticas favorecem de forma acirrada, o desenvolvimento deste processo.

Sendo os materiais de construção uma das fontes de sal de alvenarias e concretos, é de interesse averiguar a participação destes componentes na formação dos depósitos. Assim, como produtos de cerâmica vermelha representam uma fatia considerável dos constituintes da construção, faz-se necessário estudá-los de forma sistemática, sob este aspecto.

O Nordeste é a região do Brasil que além de apresentar boas condições para o desenvolvimento de eflorescências e subeflorescências, apresenta também um outro agravante: a hidrogeologia da região. A escassez de água leva os produtores a utilizarem, no processo de fabricação de produtos de cerâmica vermelha, tipos de águas com elevadas concentrações de sais, muitas vezes provenientes de poços. Outras vezes, também pelo mesmo motivo, poços perfurados são abandonados porque suas águas não podem ser utilizadas para irrigação, consumo humano ou animal, como é o caso da água altamente salina S, utilizada neste trabalho, coletada de um poço perfurado no ano de 1958 e abandonado deste então, devido à sua elevada concentração de sais. Durante o período de estiagem, a concentração de sais solúveis deste poço é mais elevada do que o teor de sais solúveis da água do mar.

Assim, pelas razões anteriormente citadas são objetivos deste trabalho:

- a) estudar a influência que a concentração de sais solúveis na água de amassamento exerce nas propriedades cerâmicas e eflorescentes de produtos de cerâmica vermelha nas temperaturas de queima de 700°C, 800°C e 900°C;
- b) tornar a equação sugerida por Richards, que converte condutividade elétrica em porcentagem de sais solúveis, de uso mais específico para o solo do estado da Paraíba;
- c) avaliar a concentração de sais solúveis em argilas através da condutividade elétrica;
- d) avaliar a concentração de sais solúveis em corpos de provas de cerâmica vermelha, queimados nas temperaturas de 700°C, 800°C e 900°C; através da condutividade elétrica.

CAPÍTULO II

2.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A formação geológica da terra foi condicionada, além de outros fenômenos geológicos, a variações de temperatura e a processos de intemperismo, que proporcionaram a formação e mudança no relevo deste planeta, ao longo de milhares de anos. A desintegração natural de rochas, causada por estes fatores, também afeta os materiais artificiais e as construções de alvenarias e concretos, em diversas partes do mundo. No entanto, a velocidade de degradação está sendo aumentada, sobretudo, pela elevação no nível de poluição atmosférica, que promove um aumento nos custos de manutenção de estruturas, podendo chegar até mesmo, a completa inutilização.

Segundo Kollman e Strübel (1978) os danos químicos que assolam edifícios e outras estruturas podem ser subdivididas em:

- a) fenômenos de dissolução e lixiviação causados pela formação de solução aquosa de compostos solúveis facilmente lixiviáveis, ou pela atuação de ácidos agressivos e álcalis;
- b) formação de depósitos de sais na superfície dos materiais, denominados de eflorescências, originado pelo movimento interno da água, que transporta componentes solúveis dos materiais de construção, até a superfície, onde ocorre a evaporação da água e conseqüente cristalização dos constituintes solúveis. A remoção destes cristais propicia uma fragilização da estrutura, em termos de resistência mecânica devido a perda de massa;

- c) fenômenos de expansão gerados pelo processo de recristalização, formação de novos cristais ou de substâncias na forma de gel, provenientes de reações químicas que ocorrem entre os próprios componentes da construção, ou entre os componentes e impurezas. Estas reações quando são acompanhadas por um aumento de volume, ocasionam uma destruição da textura do material circunvizinho.

Os depósitos de sais originados geralmente promovem a formação de manchas nos materiais. Se estas manchas surgem durante o processo de manufatura dos tijolos, são denominados de "scum" ou "scumming". Entretanto, se a descoloração ocorre em construções de alvenarias e concretos, elas são denominadas de eflorescências (Reynolds, 1925). Segundo Binda e Baronio (1986) são denominadas de eflorescências apenas os depósitos de sais que se localizam na superfície de concretos e alvenarias, enquanto que as cristalizações de sais que ocorrem nos poros das estruturas, próximos à superfície, são denominadas de subeflorescências. Este fenômeno de acúmulo de sais é mais prejudicial na subeflorescência, visto que as pressões desenvolvidas nas paredes dos poros da estrutura, com o aumento progressivo da quantidade de cristais e sobretudo com o seu tamanho e forma, são extremamente elevadas.

2.1 – MECANISMOS DE FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS DE SAIS

A formação dos depósitos de sais em alvenarias e concretos ocorre pela cristalização dos sais das soluções aquosas, cuja saturação foi atingida em consequência da evaporação do solvente. Esta é uma das causas mais comuns que põe em risco a durabilidade de monumentos históricos, construções recentes, além de pedras naturais de elevada dureza como os granitos (Anderegg, 1929).

A solução aquosa é formada no interior e movimenta-se de uma parte a outra da estrutura através dos vasos capilares. Assim, de acordo com

Chin e Petry (1993), as condições necessárias para que ocorra a formação desses depósitos em alvenarias e concretos, são a coexistência de:

- a) água;
- b) sais solúveis em água;
- c) condições ambientais e de estrutura que proporcionem a evaporação da água.

Se um destes três itens deixar de existir, não é possível a formação de depósitos de sais.

2.1.1 – Água

A água que promove a solubilização, o transporte e recristalização dos sais, pode estar presente nas alvenarias ou provir de outras fontes que estão em contato capilar com as superfícies da construção, tais como:

- a) do solo, onde é erguida a estrutura;
- b) do ar atmosférico;
- c) da água da chuva, sendo esta a fonte primária de água, para a formação de depósitos de sais.

A umidade pode penetrar nas paredes através das faces da alvenaria, da cobertura, dos parapeitos das janelas e também através das juntas de argamassas. Chin e Petry (1993) relataram que a água da chuva adentra as alvenarias principalmente através de juntas de argamassas, sobretudo nas interfaces entre estas e as unidades de tijolos. Eles revelaram ainda, em seus experimentos e de outros autores, que edificações construídas com argamassas mistas de cimento Portland e cal, são mais resistentes à penetração da água do que àquelas construídas com argamassa de cimento, pois estas, sob as

condições de seus trabalhos experimentais, apresentaram significativamente maior penetração da água. Porém outros autores (Gillam, Ribar e Ritchie et al.), também por eles referenciados, afirmaram que não havia diferença significativa entre as resistências à penetração da água, em ambas as construções de alvenarias. Entretanto, vale enfatizar que, quanto menor for a quantidade de água contida em uma alvenaria, menor será o seu potencial para desenvolvimento de depósitos de sais.

A umidade pode ainda penetrar na construção sob forma de vapor d'água onde se acumula, quando se condensa. Segundo Anderegg (1952) esta ação, quando é comumente realizada, é de grande importância e também mais danosa. Quando a umidade é proveniente do ar atmosférico, a quantidade retida na estrutura dependerá da temperatura e umidade relativa, das propriedades do material como porosidade, distribuição de tamanho de poros e área específica, como também, da quantidade de sal. Devido a condensação capilar em materiais porosos, poros de tamanhos distintos podem ser saturados com água sem no entanto estarem em contato com a água.

A condensação capilar pode ocorrer em poros menores que 0,1 μm e este comportamento pode ser descrito pela Equação de Kelvin (Knöfel et al., 1987):

$$\frac{RT}{V_M} \ln \rho/\rho_0 = \frac{-2\sigma}{r} \cos \vartheta \quad (2.01)$$

onde:

- R é a constante de gases;
- T é a temperatura ambiente;
- ρ/ρ_0 é a umidade relativa;
- V_M é o volume molar;
- σ é a tensão superficial;
- ϑ é o ângulo de contato;
- r é o raio capilar.

A migração de água através da estrutura pode ser promovida por um dos fatores abaixo relacionados (Day, 1992):

- a) pressão hidráulica resultante de vazamentos em sistemas de abastecimento de água, esgoto e vapor, que promovem a formação de grandes pressões, quando a água atravessa fissuras, fendas ou juntas de dilatação;
- b) pressão hidrostática que dá origem a percolação da água de um nível mais alto para um outro mais baixo, apenas devido a atuação da força gravitacional;
- c) pressão de vapor d'água que age conforme as leis físicas dos gases, ou seja, o vapor d'água é transportado de uma área para outra, sempre que existe uma diferença na pressão de vapor entre as duas áreas. Neste caso ocorre a condensação de vapor da atmosfera nos poros da alvenaria;
- d) ação capilar que promove o movimento da água de um nível mais baixo para um outro mais elevado.

O movimento da água dentro da estrutura pode ocorrer também pela efeito combinado de dois ou mais fatores, sendo sempre a ação capilar um dos integrantes, pois esta é a forma comum de migração de umidade através de estruturas de alvenarias (Barzaghi, 1983).

2.1.1.1 – Caracterização dos recursos hídricos do Nordeste do Brasil

O Nordeste brasileiro, composto de nove estados, geologicamente, é constituído por bacias sedimentares e embasamento cristalino (FIGURA 2.01).

Comumente as bacias sedimentares decorrem de um processo de erosão, sendo denominada de chapadas, ou manifestam-se sob forma de fendas ou falhas no substrato cristalino. Caracteristicamente, estas regiões apresentam rochas permeáveis, solos freqüentemente profundos com predominância de

infiltrações, contribuindo para o armazenamento de água em lençóis profundos de grande extensão e conseqüentemente, contribuindo para a formação de rios perenes. Estas águas apresentam uma ampla faixa de concentração de sais solúveis e freqüentemente podem atingir ou até ultrapassar 100 ou 150 metros de profundidade.

Rochas ígneas e metamórficas do período precambriano, constituem as áreas cristalinas do Nordeste, que apresentam rede hidrográfica densa, originada pelas condições de baixa infiltração e pouca profundidade do solo, que levam ao escoamento rápido das águas pluviais. Dessa forma, as águas subterrâneas estão restritas às zonas de aluviões dos rios e aos lençóis, pertencentes às zonas de fraturas e fissuras do substrato (águas fissurais), onde existem uma boa permeabilidade do solo. Estas águas fissurais apresentam níveis de salinidade sempre elevados.

As águas dos rios, açudes e águas subterrâneas, pertencentes ao cristalino, são do tipo cloretadas sódicas, apresentando também ampla faixa de concentração de sais. As águas com maiores concentrações do Nordeste, correspondem às águas das regiões de menor índice pluviométrico, do embasamento cristalino (Audry e Suassuna, 1995). De um modo geral, os recursos hídricos do Nordeste caracterizam-se por serem águas duras, alcalinas, bastante mineralizadas, apresentando elevados teores de sódio, cloretos e bicarbonatos. O índice de mineralização depende da origem da água, no entanto os maiores valores são encontrados na ordem crescente em açudes, rios, cacimbas e poços (Srinivasan et al., 1994-a)*. A concentração em meq/l indica que, em todos os tipos de águas, a quantidade de cloreto é maior do que a quantidade de bicarbonato, que supera a concentração de sulfato. O cátion predominante em águas de açudes e poços é o sódio, seguindo do cálcio, potássio e magnésio. Todavia, nas águas dos rios e cacimbões, predomina o sódio seguido do potássio, magnésio e cálcio.

* Trabalho não publicado.

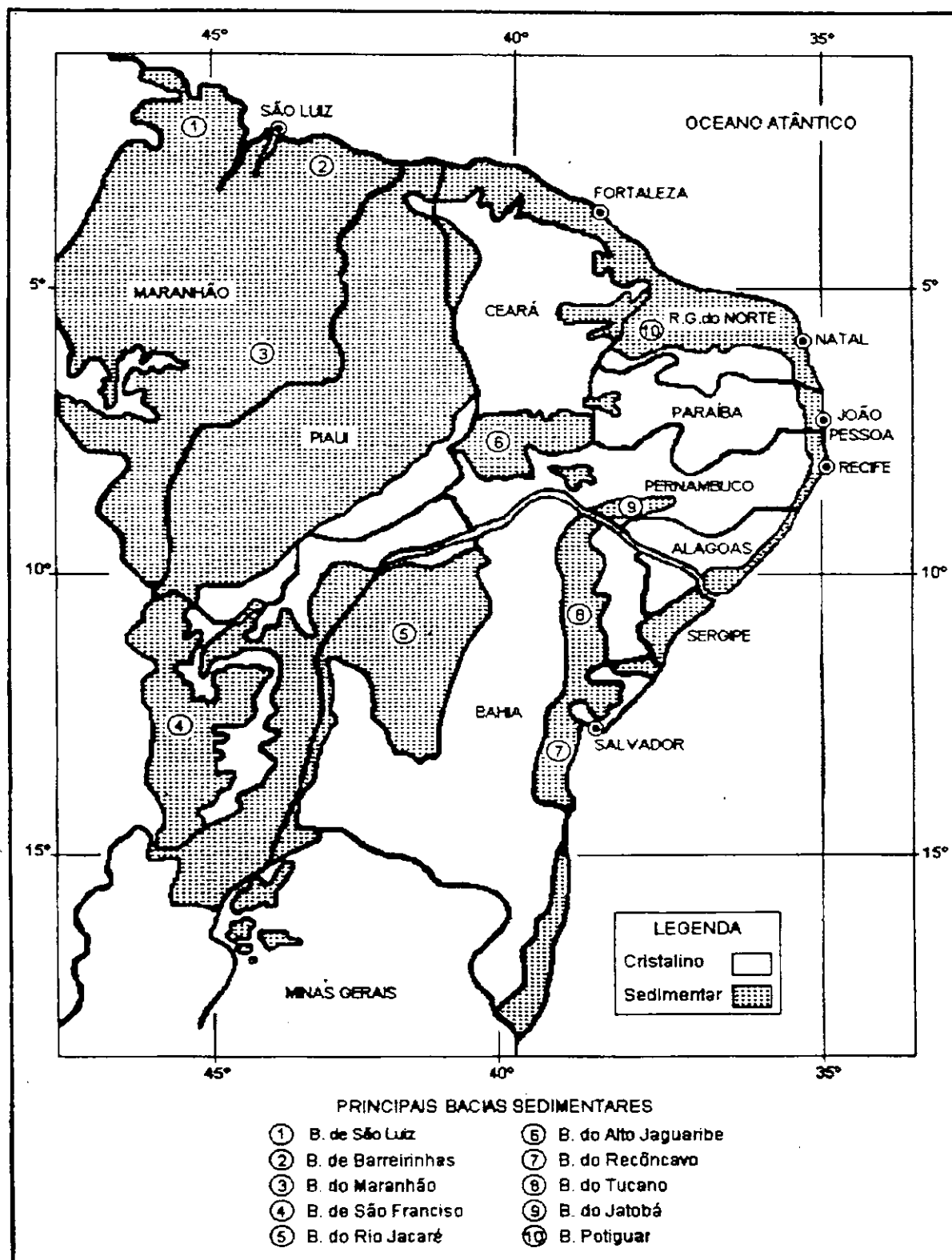


FIGURA 2.01 – Esboço geológico do Nordeste (Audry e Suassuna, 1995).

Segundo Srinivasan et al. (1994-b)*, o maior grau de mineralização das águas no Nordeste pertence, em ordem decrescente, aos estados de Alagoas, Sergipe e Paraíba. Caracteristicamente, na Paraíba, as águas superficiais do embasamento cristalino, na zona semi-árida, são do tipo cloretada-sódica com reação alcalina e condutividade elétrica superior a 750 micromhos/cm, enquanto que as águas de menores índices de mineralização pertencem às regiões mais úmidas, localizadas predominantemente em rochas sedimentares (microregião do litoral paraibano) e apresentam condutividade elétrica inferior a 750 micromhos/cm. Dados catalogados em 1994* revelaram que dos 6003 poços perfurados no estado da Paraíba apenas 3291, ou seja 54,82%, estariam em funcionamento. Os poços remanescentes estariam secos, parcialmente secos, teriam sido abandonados, tamponados ou obstruídos. A maior causa de abandono no sistema cristalino teria sido a elevada salinidade, evidenciada por dosagens de resíduo seco maiores do que 6000 mg/l (Srinivasan et al., 1994-c)*.

2.1.2 – Os Sais

Os sais, por definição, são compostos de caráter predominantemente iônico ou predominantemente molecular, capazes de se dissociarem em água liberando íons, mesmo que muito poucos, dos quais pelo menos um cátion é diferente de H_3O^+ e pelo menos um ânion é diferente de OH^- (Russel, 1982).

As fontes que dão origem a estes sais são os minerais primários que constituem o solo e as rochas da crosta terrestre, quando expostos a intemperização química. Este processo que envolve mecanismos de hidrólise, hidratação, redução, oxidação e carbonatação, quando ocorre, libera gradualmente constituintes que se tornam mais solúveis.

A composição química e estequiométrica dos solos, com relação aos sais solúveis, é em sua maior parte, integrada por quantidades variadas dos

* Trabalho não publicado.

cátions sódio, cálcio e magnésio e dos ânions cloreto e sulfato, encontrando-se também em menores quantidades os ânions bicarbonato, carbonato e nitrato (Cordeiro, 1978).

Em construções de alvenarias, as fontes que causam a formação de depósitos são o solo circunvizinho à estrutura, os tijolos e as argamassas (Chin e Petry, 1993). Chatterji e Dhariyal (1958) sugeriram ainda que os produtos de reações secundárias entre os componentes da alvenaria e a atmosfera, também constituem fontes de sal. Se a cerâmica não contiver nenhum tipo de sal solúvel, ela pode servir de caminho para a solução salina originada de outros produtos ou mesmo do solo (Young, 1957).

Quando os depósitos de sais são formados após secagem e queima de produtos de cerâmica vermelha, tais como tijolos e telhas, são decorrentes de sais solúveis contidos na própria argila, na água de amassamento, ou ainda pela reação entre os gases sulfúricos, provenientes do combustível do forno, e os compostos de cálcio presentes na argila (Reynolds, 1925). Segundo Stahmann (1955), quantidades de sais presentes em tijolos queimados em torno de 0,50%, ou menos, são suficientes para causarem eflorescências bem como, pequenas quantidades de sais na argila são geralmente aumentadas, apreciavelmente, com o processo de queima, se grandes quantidades de pirita estão presentes. Ribeiro (1996) utilizou a Equação (2.02), sugerida por Richards (1954), para converter os valores da condutividade elétrica nos extratos da pasta de saturação de argilas, obtidas em dS/m, para porcentagem de sais totais nas argilas.

$$\% \text{ Sais} = \frac{\text{CE} \cdot 640 \cdot \text{PS}}{10^3 \cdot 10^3} \quad (2.02)$$

onde:

- % Sais é a quantidade de sais presentes no extrato da pasta de saturação da argila;
- CE é a condutividade elétrica (dS/m) do extrato da pasta de saturação da argila;
- 640 é uma constante, encontrada por Richards (1954), utilizada para

transformar condutividade elétrica em ppm ou mg/l;

- PS é a porcentagem de saturação da argila, que representa o volume de água necessário para saturar uma determinada quantidade de amostra.

A Equação (2.03) foi utilizada por Ribeiro (1996) para converter valores da condutividade elétrica nos extratos retirados de tijolos, obtidos em dS/m, para porcentagem de sais totais.

$$\% \text{ Sais} = \frac{CE \cdot 640 \cdot V \cdot 100}{10^3 \cdot P_t} \quad (2.03)$$

onde:

- % Sais é a quantidade de sais presentes no extrato retirado do tijolo;
- CE é a condutividade elétrica (dS/m) do extrato retirado do tijolo;
- 640 é uma constante, encontrada por Richards (1954), utilizada para transformar condutividade elétrica em ppm ou mg/l;
- V é o volume de água utilizado para saturar o tijolo (l)
- P_t é o peso do tijolo (g).

2.1.2.1– Movimento dos sais através de estruturas porosas

2.1.2.1.1– Capilaridade

Os sais ao serem dissolvidos nos depósitos têm seus íons transportados, de uma região a outra do material, pela água. O mecanismo mais

difundido para explicar este transporte é o da ação capilar, onde os íons são conduzidos por este solvente através dos poros da estrutura. Fissuras em lajes de piso de concreto, produzidas pela retração do material, promovem o principal caminho para a ascensão da umidade (Day, 1992).

A quantidade de solução salina que se movimenta através da estrutura, é função do tamanho efetivo do poro, da fração de poros abertos, da tensão superficial e da viscosidade da solução (Chatterji e Dhariyal, 1958). Como a ascensão capilar é regida pela evaporação da água, também depende da temperatura externa, da umidade do ar, do fluxo de ar, da umidade da estrutura e da distância a ser percorrida da fonte da solução até o local da evaporação da água, segundo Binda e Baronio (1986).

Chatterji e Dhariyal, (1958) desenvolveram um método para determinar o raio efetivo do poro, em tijolos que contém poros abertos, onde os poros são tratados como um sistema de vasos capilares de mesmo diâmetro, posicionados paralelamente com a direção do fluxo capilar. Assim, pode-se utilizar a seguinte Equação :

$$\frac{2\gamma}{r} = \frac{8\eta Vh}{r^2} \quad (2.04)$$

Sendo,

$$Vh = \frac{\gamma r}{4\eta} = \text{constante} \quad (2.05)$$

onde:

- γ é a tensão superficial da solução;
- r é o raio efetivo do poro;
- η é a viscosidade da solução;
- h é a altura da superfície do líquido, no capilar;
- V é a velocidade de ascensão capilar da água, na altura h .

A tensão superficial (γ) e a viscosidade (η) da solução são determinadas experimentalmente.

As forças que regem a ascensão capilar, em termos de quantidade e velocidade do fluxo, são (Knöfel et al., 1987):

a) forças capilares

$$K = 2\pi r \sigma \cos \vartheta \quad (2.06)$$

b) forças gravitacionais

$$G = r^2 \pi \varepsilon g h \cos \vartheta_0 \quad (2.07)$$

c) viscosidade

$$V = 8\pi \eta u^2 h dh/dt \quad (2.08)$$

c) pressão externa

$$P = r^2 \pi \rho \quad (2.09)$$

onde:

- r é o raio capilar;
- σ é a tensão superficial;
- ϑ é o ângulo de contato;
- ϑ_0 é a inclinação do poro, no caso geral de sucção capilar;
- ε é a densidade da água;
- η é a viscosidade;

- ρ é a pressão capilar;
- u é o fator de desvio;
- h é a altura da ascensão por capilaridade ou a profundidade da penetração.

Então, o fluxo capilar (J_k) pode ser calculado por:

$$J_k = \frac{r^4 \pi \varepsilon \Delta \rho}{8 \eta h} \quad (2.10)$$

onde:

- r é o raio capilar;
- ε é a densidade da água;
- $\Delta \rho$ é a diferença de pressão;
- η é a viscosidade;
- h é a altura da ascensão por capilaridade ou a profundidade da penetração.

Observando-se esta relação matemática, pode-se afirmar que os poros de tamanho médio maior são responsáveis pela quantidade de água transportada através da estrutura porosa, enquanto que os poros de menor diâmetro, predominantemente são responsáveis pela pressão capilar.

2.1.2.1.2– Difusão

Estudos realizados por Chatterji e Dhariyal (1958) revelaram que os íons podem movimentar-se predominantemente por difusão na superfície de

poros em tijolos, quando estes são produzidos com materiais que contêm elevada fração de argila. Neste mecanismo, o movimento dos íons é regido pela Lei de Fick:

$$j = -D \frac{dc}{dx} \quad (2.11)$$

onde,

- j é a massa que flui, por unidade de área da superfície do poro, por unidade de tempo;
- D é o coeficiente de difusividade;
- $\frac{dc}{dx}$ é o gradiente de concentração.

Sob as condições experimentais de Chatterji e Dhariyal (1958), eles afirmaram que o único tipo de difusão que pode ocorrer no estado sólido, é a difusão que procede na superfície dos grãos. Esta difusão pode ainda ocorrer em temperatura ambiente. A distância percorrida pelos íons, neste mecanismo, decresce com o aumento da fração de argila e com a proporção entre argila e areia fina (silte). A explicação para este fenômeno reside no fato de que, durante o processo de queima, a estrutura cristalina dos argilominerais sofre um mecanismo de transformação que a deixa em um estado de desordem muito elevado, denominado de estado amorfo. Para os argilominerais, o estado amorfo é mais pronunciado do que o colapso que se estabelece na estrutura cristalina dos minerais, por estarem em um fino estado de divisão no silte. Dessa forma, os defeitos na estrutura cristalina, em ambos os materiais, argila e areia fina, promovem o “aprisionamento” de íons e dificultam sua migração na superfície dos poros. Este fenômeno é mais eficiente para os argilominerais, entretanto, a presença de grandes quantidades de minerais, quando o silte apresenta-se em maiores proporções, produz efeitos semelhantes.

Segundo Chatterji e Dhariyal (1958) a possibilidade de ocorrer a cristalização de sais dentro de tijolos pode ser desprezada, pois sendo os ânions

muito maiores do que os cátions, a probabilidade que eles apresentam de permanecerem retidos na estrutura amorfa é muito pequena, sendo então, carregados com a solução.

2.1.2.2– Localização

Os depósitos de sais podem ser formados durante o processo de manufatura de produtos de cerâmica vermelha ou durante a vida útil das construções. Assim, a localização desses depósitos de sais pode ser vista como segue.

2.1.2.2.1– Produtos de cerâmica vermelha

Os depósitos de sais formados durante a manufatura de produtos de cerâmica vermelha são denominadas de “scum” e “scumming”. Segundo Reynolds (1925) estes depósitos podem ser formados durante a secagem do produto cerâmico, como também, durante o processo de queima propriamente dito. Foram então denominadas de “scum” de secador e “scum” de forno.

O mecanismo de formação de “scum” de secador e “scum” de forno, ocorre da seguinte forma:

a) “scum” de secador

Os tijolos são secos antes da queima, para que a água de amassamento seja parcialmente eliminada, evitando assim, a formação de trincas

e fissuras no produto. A evaporação da água que ocorre na superfície do tijolo, além de promover a formação de vazios na estrutura, promove também o carreamento de substâncias solúveis que se depositam na superfície, causando a "scum" de secador. Quando as substâncias solúveis não pertencem à água ou à argila, elas podem ter origem na reação entre os gases de combustão do secador e componentes da argila. Estes gases geralmente contém enxofre que em contato com a umidade transforma-se em ácido sulfúrico, reagindo posteriormente com os compostos de cálcio da argila, gerando "scum" de sulfato de cálcio.

"Scum" de sulfato de cálcio pode ser formada também quando a argila contém sulfato de ferro, originado pela decomposição da pirita, através da ação de intempéries. O sulfato de cálcio por si só já é um formador de "scum".

Os sais solúveis podem ser adsorvidos por argilas plásticas altamente coloidais que quando preaquecidas, tem a sua plasticidade reduzida e como consequência liberam estes sais, que formam mais tarde, "scum" de secador em produtos cerâmicos.

Reynolds (1925) afirmou ainda que estruturas que possuem poros abertos, apresentam um menor potencial de formação de "scum" de secador, visto que os sais solúveis depositar-se-ão no corpo do produto ou nas paredes dos poros, sem que haja formação de depósitos.

b) "scum" de forno

Os compostos solúveis formados durante a queima dos tijolos são semelhantes aqueles formados no período de secagem. Entretanto, o mecanismo de formação destes compostos apresenta algumas diferenças.

No forno, o ácido sulfúrico também se forma pela reação química que ocorre entre o enxofre, originado dos gases de combustão, e a umidade. Os produtos da reação, permanecem no tijolo onde reagem fortemente com o carbonato de cálcio, com os feldspatos e com outros sais de cálcio, formando compostos de sulfatos depositados no tijolo como "scum".

Apesar da pirita, contida na argila, ser decomposta em 750°C liberando enxofre, este componente pode ainda reagir com a umidade para formar o ácido sulfúrico, que se decompõe a 680°C e que atua como agente formador

das "scum", como citadas anteriormente. Este fenômeno é promovido pelo gradiente de temperatura que ocorre no forno, nas primeiras etapas de queimas, no qual a parte superior encontra-se em uma temperatura mais elevada do que a parte inferior. Logo, o enxofre que é liberado dos tijolos, contidas na região mais quente do equipamento, atuam como ácido sulfúrico nos tijolos, localizados na área mais fria, produzindo "scum".

Em temperaturas baixas, sulfatos solúveis podem ser formados no produto queimado, porém em temperaturas mais elevadas (1037°C) reagem com silicatos, formando novos silicatos e trióxido de enxofre (gás acima de 113°C), que age de maneira semelhante a ação do gás sulfuroso da combustão ou oxidação da pirita.

A queima efetuada em tijolos que não foram secos, ou seja tijolos úmidos, apresenta um maior potencial para desenvolvimento de "scum" de forno, pois o aquecimento do tijolo é retardado pela evaporação da água que lhe rouba calor, proporcionando excelentes condições para a condensação e posterior ação do ácido sulfúrico.

2.1.2.2.2 – Alvenarias e Concretos

A presença de água em alvenarias e concretos promove a solubilização de sais presentes na estrutura. Entretanto, existe uma força que direciona esta água para a superfície, onde ocorre a evaporação e os cristais de sais são formados. Este processo continuado leva a origem dos depósitos de sais.

Segundo Binda e Baronio (1986) a localização destes depósitos é determinada pelo equilíbrio dinâmico que se estabelece entre a velocidade de evaporação da água, existente na alvenaria, e a velocidade fornecimento da solução salina, para este local. Nestas condições duas situações podem ocorrer:

- a) quando a velocidade de evaporação da água é mais baixa do que a velocidade de migração da solução, os depósitos de sais são formados na superfície de alvenarias e concretos, pois os íons solúveis conseguem ser transportados até este local, pela umidade. Os depósitos assim formados, são denominados de eflorescências;
- b) quando o inverso acontece, ou seja, a velocidade de migração da solução através dos poros da estrutura é mais baixa do que a velocidade de evaporação, de forma que na superfície não chegue solução, os íons solúveis são deixados em uma região próxima à superfície, onde uma zona seca de espessura δ é formada, decorrente da cristalização dos sais nos poros de alvenarias e concretos, sendo denominadas de subeflorescências.

Quase todos os autores da literatura pesquisada não fazem esta distinção entre eflorescências e subeflorescências, considerando, de uma maneira geral, todos os depósitos de sais como sendo eflorescências. Entretanto, os efeitos produzidos por cada um destes fenômenos isoladamente, apresentam ordem de grandeza de deterioração bastante diferente, como será visto posteriormente. Por isto, neste trabalho, os sais cristalizados em ambas as regiões, serão tratados apenas como depósitos de sais, diferenciados apenas quando possível.

2.1.2.3 – Compostos químicos dos depósitos de sais

Diferentes tipos de compostos podem participar da formação de depósitos de sais. Um resumo destes compostos é apresentado na TABELA 2.01.

Particularmente alguns constituintes dos depósitos apresentam características especiais, como segue.

TABELA 2.01 – Compostos químicos presentes nos depósitos de sais.

Compostos	Fórmula Química dos Compostos	Cond. de Solub. em Água	Provável Origem dos Compostos
Carbonato de Cálcio	CaCO ₃	Pouco	Argamassa
Carbonato de Magnésio	MgCO ₃	Pouco	Argamassa
Carbonato de Potássio	K ₂ CO ₃	Muito	Cimento Portland
Carbonato de Sódio	Na ₂ CO ₃	Muito	Cimento Portland
Hidróxido de Cálcio	Ca(OH) ₂	Pouco	Cimento Portland e cal
Hidróxido de Ferro	Fe(OH) ₂	Insolúvel	Ferro junto com tijolo
Sulf. de Cál. Bihidratado	CaSO ₄ .2H ₂ O	Solúvel	Tijolo
Sulfato de Magnésio	MgSO ₄	Muito	Tijolo
Sulfato de Potássio	K ₂ SO ₄	Muito	Reação tijolo-cimento
Sulfato de Sódio	Na ₂ SO ₄	Muito	Reação tijolo-cimento
Sulfato de Vanádio	VSO ₄	Muito	Tijolo
Cloreto de Cálcio	CaCl ₂	Muito	Água de amassamento
Cloreto de Magnésio	MgCl ₂	Muito	Água de amassamento
Nitrato de Sódio	NaNO ₃	Muito	Excremento e solo adubado
Nitrato de Potássio	KNO ₃	Muito	Solo adubado
Nitrato de Amônia	NH ₄ NO ₃	Muito	Solo adubado
Nitrato de Cálcio	Ca(NO ₃) ₂	Muito	Excremento e urinas
Glicolato de Cálcio	(C ₂ H ₃ O ₃) ₂ Ca	Pouco	Aditivo anti-congelante
Cloreto de Alumínio	AlCl ₃	Solúvel	Limpeza com ácido muriático
Cloreto de Ferro	FeCl ₃	Solúvel	Limpeza com ácido muriático

Fonte: Muzzin (1982), Chin e Petry (1993), Bauer (1993) e Ribeiro (1996).

2.1.2.3.1 – Carbonatos

Os depósitos de carbonato de cálcio são formados de maneira indireta, em obras de alvenaria, pois este composto apresenta solubilidade

baixíssima em água, sendo considerado por Chin e Petry (1993) como insolúvel, não se originando assim, como um sal eflorescente. O íon cálcio, na estrutura, pode originar-se do cimento Portland, do cimento da alvenaria e da cal. Quando ocorre a hidratação do cimento Portland na argamassa, o hidróxido de cálcio, que é solúvel em água, é formado. Assim, em presença de consideráveis quantidades de água, o hidróxido de cálcio pode ser solubilizado e conduzido até a superfície da alvenaria, onde se deposita, quando a água evapora. Em contato com o ar atmosférico, reage quimicamente com o dióxido de carbono, formando o carbonato de cálcio. Por ser insolúvel este composto não é lixiviado pela água da chuva, permanecendo cronicamente na estrutura por muito tempo.

Por outro lado, a presença de compostos de carbonato de sódio e carbonato de potássio nos depósitos, não é efetivamente observada porque além de estarem em quantidades limitadas, apresentam uma elevada solubilidade que lhes proporcionam uma rápida lixiviação pela água da chuva. Estes também são originados pela reação dos seus hidróxidos (NaOH e KOH) com o dióxido de carbono.

2.1.2.3.2– Sulfatos

Pertencente a uma das classes de elementos químicos mais abundantes na natureza, os não-metais, o enxofre quando combinado com outros elementos, pode formar um dos radicais que mais pode causar deterioração em construções, o sulfato (SO_4^{2-}). A migração desses íons pode ocorrer em todos os materiais de construção que apresentam compostos deste radical. Os sulfatos são os sais mais comumente encontrados em depósitos solúveis em produtos de cerâmica vermelha. Dentre estes sais, os que ocorrem mais freqüentemente são os sulfatos de magnésio, de sódio, de potássio e o de cálcio. O sulfato de cálcio é menos freqüente, entretanto, quando é predominante nos depósitos formados, indica que a fonte que o originou, é a argila da qual o tijolo foi manufaturado

(Chin e Petry, 1993). Este sal apresenta baixa solubilidade, em torno de 0,21% a 30°C. Os demais, são bastante solúveis e rapidamente, são lixiviados pela água da chuva.

Brownell (1958-b) informou que os sulfatos solúveis em matérias-primas não parecem ser a fonte principal de sulfatos formadores adjacentes de depósitos nos tijolos, pois estas unidades freqüentemente apresentam quantidades de sulfatos, muitas vezes maior do que aquela existente na argila.

Além do solo, da água de amassamento, que contém gesso, e dos combustíveis (óleo sulfuroso e carvão), outra fonte extremamente importante de sulfato, são as chuvas de inverno que geralmente apresentam quantidades apreciáveis de ácidos sulfurosos e sulfúricos (Anderegg, 1952). Gases sulfurosos, lançados na atmosfera em regiões industriais, podem ser transportados em grandes quantidades por distâncias consideravelmente grandes (Kollman e Strübel, 1978). A água da chuva contém o H_2SO_3 que se oxida formando o H_2SO_4 . Este composto reage com os constituintes de alvenarias e concretos, produzindo compostos na forma de sulfatos solúveis que originam depósitos facilmente lixiviáveis, em presença de água.

Segundo Kollman e Strübel (1978), as fases minerais dos compostos de sulfatos, que estão presentes nos depósitos de sais, limitam-se quase que exclusivamente a:

- a) sulfato de sódio anidrido (thenardite) – Na_2SO_4 ;
- b) sulfato de sódio decahidratado (mirabilite) – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$;
- c) sulfato de cálcio anidrido – CaSO_4 ;
- d) gesso – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
- e) sulfato de magnésio hexahidratado – $\text{MgSO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$;
- f) sulfato de magnésio heptahidratado (epsomite) – $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$.

Todos estes sulfatos ocorrem como fases hidratadas, podendo passar por estas fases, dependendo das condições climáticas, em períodos que podem variar de horas a anos.

A retenção de água adicional, pela estrutura cristalina, ocasiona um aumento no volume dos sais. A velocidade de hidratação contribui fortemente

para a desintegração estrutural. Sulfatos de sódio e magnésio apresentam uma elevada velocidade de hidratação, pois eles passam da fase anidrido para a fase hidratada em apenas alguns minutos, o que os tornam então, muito agressivos.

Segundo Binda e Baronio (1986), a destruição de alvenarias, através da cristalização de sais, é mais severa quando na solução saturada existem sais hidratáveis. Esta característica é mais acentuada para os sulfatos de cálcio, pois geralmente são utilizados como agente ligante após tratamento térmicos, realizados em diversas temperaturas e por diferentes métodos. Dessa forma, o sulfato de cálcio pode estar presente nas seguintes fases:

- a) sulfato de cálcio hemidratado – $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \text{H}_2\text{O}$;
- b) sulfato de cálcio anidrido solúvel, hexagonal, obtido no intervalo entre 160°C e 220°C – βCaSO_4 III;
- c) gesso queimado até a morte, rômboico, obtido entre 250°C e 1200°C, que corresponde ao anidrido natural – CaSO_4 II;

Anderegg (1929) declarou que o ataque do sulfato é estabelecido quando o sulfato de cálcio reage com o aluminato tricálcio hidratado, do cimento, formando um sal duplo hidratado, cujo volume é bem maior do que o volume do aluminato original. Michaelis citado por Anderegg (1929) e Kleinlogel et al. (1955), chamou este sal de “bacilo” do cimento, que é um composto formado por cal, alumina, anidrido sulfúrico e água, conhecido por sulfato duplo de alumínio e cálcio ou sal de Candlot. Michaelis designou-o de “bacilo” do cimento, porque atua de modo análogo a atuação das bactérias patogênicas dos organismos animais. A cristalização deste sal, extremamente danoso, ocorre em águas microscópicas contendo 30 ou mais moléculas de água, crescendo em forma de estrela ao redor de um núcleo. A formação do “bacilo” requer quantidades determinadas de cal, alumina e anidrido sulfúrico. Todavia, na inexistência de um destes constituintes, o sal não pode ser formado.

O sulfato de magnésio foi encontrado apenas nas seguintes fases:

- a) sulfato de magnésio heptahidratado (epsomite), obtido no intervalo entre 1,8°C e 48,3°C – $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$;

- b) sulfato de magnésio hexahidratado, obtido no intervalo de temperatura entre 48,3°C e 68°C – $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;
- c) sulfato de magnésio monohidratado (kieserite), obtido acima de 68°C – $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

O sulfato de sódio decahidratado (mirabilite) cristaliza-se de uma solução em temperaturas que podem variar de 1,5°C a 32,4°C, enquanto que a fase sulfato de sódio anidrido (thenardite) cristaliza-se em temperaturas superiores a 32,4°C. Entretanto, quando na solução estão presentes outros íons tais como: Mg^{2+} e Cl^- , o sulfato de sódio anidrido pode ser formado em temperaturas acima de 15°C. A adsorção de água pelo cristal, ocorre em uma umidade relativa atmosférica entre 60,00% e 80,00%, como também em umidades superiores.

Binda e Baronio (1983) observaram que ao ar livre, a desintegração pela cristalização do sulfato de sódio, pode ser produzida por mudanças diárias na temperatura e umidade relativa, de um clima normal, gerada pelo processo de hidratação deste composto.

Embora corrosão em concretos possa ser atribuída a bactérias formadoras de sulfatos, segundo Kollman e Strübel (1978), esta atuação é de importância secundária na deterioração.

2.1.2.4 – Efeitos

Os efeitos produzidos pela formação de depósitos de sais basicamente são dois:

- a) formação de manchas que produzem descoloração das paredes de alvenarias e estruturas de concreto, causando aspectos estéticos desagradáveis,

sobretudo quando existe um contraste de cor entre esta e o substrato, na qual se instalou (Richie, 1955 e Uemoto, 1988);

- b) perda de massa que ocasiona a desintegração destas estruturas.

Comumente os depósitos de sais formados apresentam cor branca, sendo constituídos geralmente por sulfatos de cálcio, magnésio, sódio e potássio, podendo ainda estar também presentes, cloretos e carbonatos (Stahmann, 1955). Entretanto, outras cores podem ser encontradas como (Chin e Petry, 1993; Hammer, 1953 e Reynolds, 1925):

- a) verde, formada por sais de vanádio, cromo, níquel, ferro e molibdênio;
- b) amarela, formada por sais de molibdênio e vanádio;
- c) marrom, formada por sais de ferro e ácido vanádico ($H_4V_2O_7$).

Sobre as cores produzidas, Reynolds (1925) constatou:

- a) os sais de ferro podem ocasionar "scum" marrom produzindo um efeito policromático de linhas irregulares, em amarelo e vermelho, no produto queimado;
- b) o crescimento de pequenos organismos vegetais, que tem sua nutrição retirada do tijolo e do ar atmosférico, pode produzir depósitos de sais nas cores amarelas verdes e marrons;
- c) manchas produzidas por ácido vanádico, ocorrem principalmente em tijolos de baixa temperatura de queima.

Sabe-se que ambos os efeitos originam-se pela cristalização de sais solúveis em água. Todavia, os mecanismos envolvidos neste processo além de não serem completamente entendidos, eles podem ocorrer simultaneamente com outros meios de desintegração. Assim, uma breve discussão destes fatores torna-se necessário para melhor entendimento.

2.1.2.5– Formação de cristais

A evaporação da solução aquosa de sais pode ocorrer na superfície ou em regiões próximas a esta, apenas quando existe um gradiente de umidade entre a atmosfera ambiente e o material, que favoreça este fenômeno químico. Entretanto, em ambientes de elevada umidade como porões, ou em presença de sais deliqüescentes (difícil secagem), os sais não chegarão a se cristalizar, depositando-se como um “gel”, cuja viscosidade depende da composição e concentração da solução (Barzaghi, 1983). Também, quando a umidade é excessiva pode ocorrer o gotejamento da alvenaria.

Os íons solubilizados permanecem dispersos na água até o ponto onde este solvente não consegue mais mantê-los uniformemente distribuídos, devido a sua evaporação. A evaporação eleva a concentração da solução e como consequência eleva a pressão osmótica, fazendo com que os íons sejam precipitados na solução, quase sempre na forma de cristais, que tendem a crescer com o processo continuado deste mecanismo (Anderegg, 1929).

Quando ocorre a acumulação dos depósitos de sais, na forma de cristais, a formação de manchas é inevitável (FIGURA 2.02). Entretanto, este é o efeito mais eminente da formação de depósitos de sais, porém não é o único. Se os cristais tivessem espaços suficientes para crescerem, nenhum dano à estrutura ocorreria. Todavia, quando os cristais crescem em espaços pequenos, como os poros, onde ficam confinados, pressões de grandezas elevadas são desenvolvidas nas paredes deste espaço físico, já que as forças moleculares que acompanham o crescimento cristalino são grandes, na ordem de 689 MPa ou mais elevadas (Anderegg, 1952).

Sais diferentes cristalizam-se em umidades e temperaturas diferentes. O valor da umidade e da temperatura, bem como a velocidade de variação destes fatores, influenciam significativamente na formação do hábito cristalino e no tamanho que eles podem alcançar. Como a alvenaria apresenta uma alta capacidade calorífica e alta condutividade térmica, qualquer mudança

* 690

na temperatura do ar atmosférico, rapidamente influenciará no desenvolvimento dos cristais.

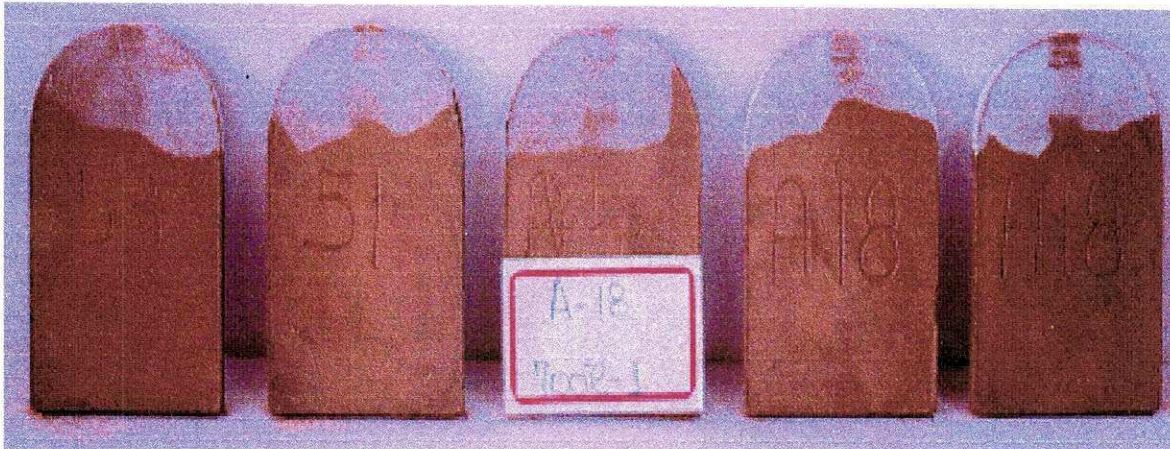


FIGURA 2.02 – Ilustração de eflorescências brancas em corpos de provas cerâmicos do presente trabalho.

Segundo Sarkar et al. (1992), os cristais prismáticos de pontas afiadas, causam danos maiores às estruturas, do que os cristais cúbicos, pois as formas acirculares desenvolvem pressões mais elevadas. O crescimento orientado dos cristais é favorecido pela lenta velocidade de evaporação (Anderegg, 1952). Binda e Baronio (1986) observaram que tempos de secagem mais longos, contribuem para uma mais elevada velocidade de desgaste do material. Os cristais de sulfatos crescem preferencialmente mais em uma direção do que em outra, ocasionando a formação de hábito acircular, onde os cristais apresentam formas alongadas.

Quando a temperatura decresce lentamente um número menor de cristais são formados apresentando entretanto, grandes dimensões que promovem elevadas pressões. A diminuição da temperatura ocasiona a redução da solubilidade na maioria dos sais contidos na alvenaria. Dessa forma, um aumento na concentração da solução gera um aumento na pressão osmótica, provavelmente, mais rapidamente do que qualquer tendência de decréscimo de temperatura. Nestas circunstâncias a etapa de crescimento dos cristais é mais

favorecida do que a etapa de nucleação, logo um número menor de núcleos são formados enquanto um crescimento cristalino é desenvolvido (Anderegg, 1952)

Diminuição na temperatura e aumento na concentração da solução, reduzem a pressão de vapor, elevando a condensação de vapor d'água formada nos poros, perto da superfície da alvenaria. Com a continuação da evaporação, os depósitos de sais originam-se em forma de anel, ao redor dos poros, que continua crescendo exteriormente, na forma de um tubo (Anderegg, 1952).

O confinamento de depósitos de sais nos poros de alvenarias e concretos desenvolve pressões que danificam a estrutura (FIGURAS 2.03). A desintegração ocorre apenas quando um estado de equilíbrio é estabelecido entre velocidade de difusão de vapor d'água, através da espessura da camada seca (δ) sob a qual ocorre a cristalização, e a velocidade de reabastecimento da solução aquosa para aquele local. Matematicamente esta evaporação pode ser descrita por (Lewin, 1981):

$$J = \frac{D(P_a - P_s)(M/RT)}{\delta} \quad (2.12)$$

onde:

- J é a velocidade de difusão do vapor d'água;
- D é o coeficiente de difusão;
- M é o peso molecular;
- δ é a espessura da camada de difusão;
- P_a é a pressão do vapor d'água no ar ambiente;
- P_s é a pressão de vapor d'água na superfície da solução.
- R é a constante de gases;
- T é a temperatura ambiente;

A FIGURA 2.04 mostra graficamente este mecanismo de deterioração.

A quantidade de sais depositados sob a camada seca é função da concentração original da solução aquosa de sal e também, do número de ciclos de molhagem-secagem, aos quais a estrutura é submetida. Maiores quantidades

de sais são obtidas em maiores concentrações e números de ciclos (Binda e Baronio, 1983).



FIGURA 2.03 – Ilustração da perda de massa de alvenaria ocasionada pela formação de depósitos de sais.

A umidade relativa e o tempo de secagem contribuem para a formação da espessura da zona seca (δ). Finas camadas são obtidas em umidades elevadas e pequenos tempos de secagem, enquanto que camadas mais espessas são formadas em umidades baixas e elevados tempos de secagem (Binda e Baronio, 1986).

Binda e Baronio (1986) também afirmaram que δ é função da porosidade do material. A resistência mecânica de alvenarias aparentemente é proporcional a densidade e inversamente proporcional aos espaços porosos. Logo, materiais de baixa porosidade ou que apresentam poros descontínuos, resistem melhor ao mecanismo de desintegração por formação de depósitos de sais, haja vista que estes dificultam mais a movimentação da água através da estrutura (Anderegg, 1952).

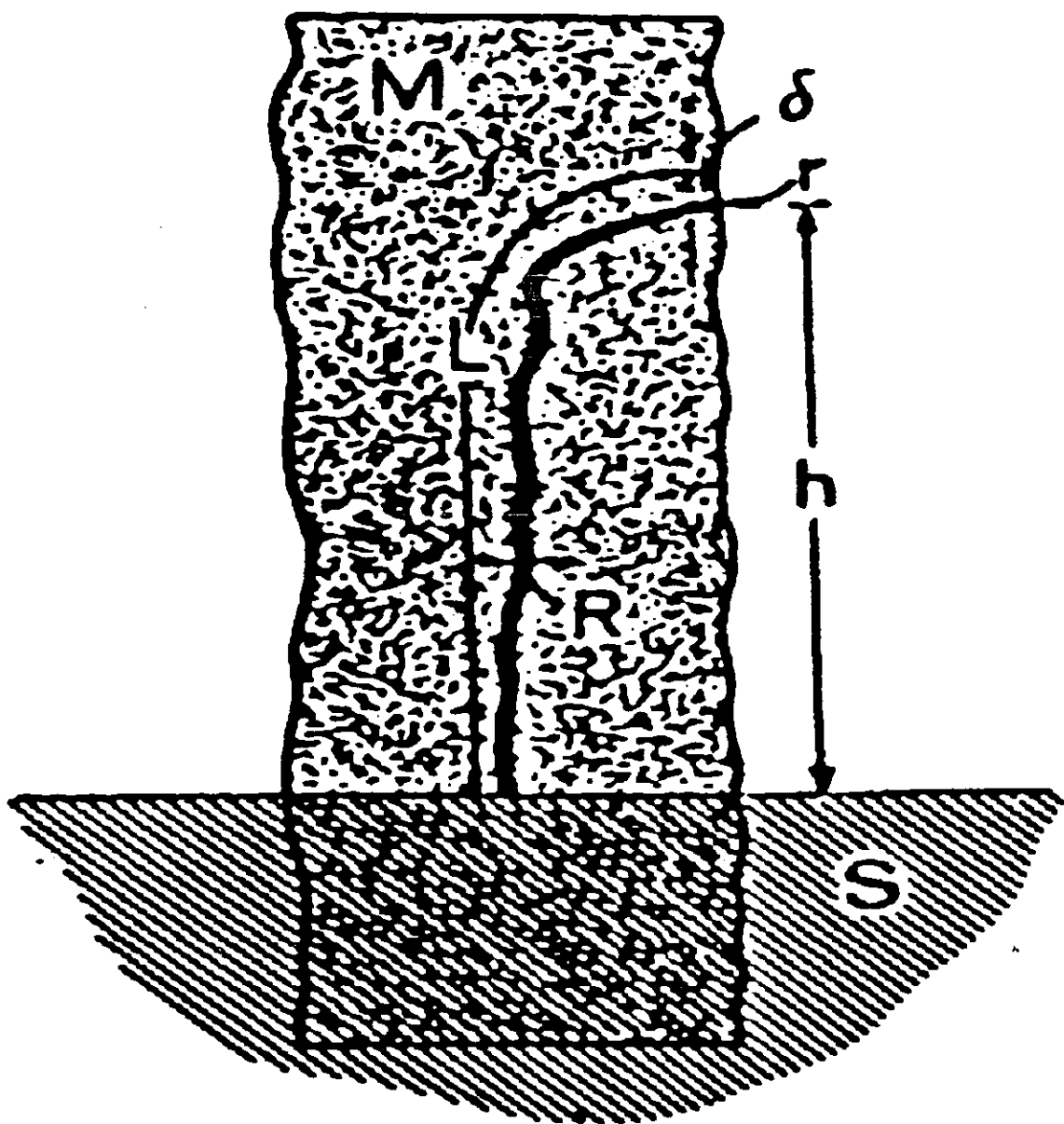


FIGURA 2.04 – Parâmetros envolvidos no mecanismo proposto para a desintegração de alvenarias, devido a formação de depósitos de sais, onde a alvenaria M, está em contato com um reservatório de solução aquosa S* (Lewin, 1981).

* Sais solúveis são depositados a uma distância δ , no interior da rocha, a uma altura h acima do reservatório. O raio do poro aberto no local do depósito é r , enquanto que o raio do canal pelo qual se procede a migração da solução é R . O comprimento do caminho percorrido pela solução é L .

A desintegração do material ocorre através do mecanismo de delaminação da superfície externa, que pode se manifestar diferentemente como escamações, rachas (fissuras) ou lascas, dependendo da espessura da zona seca (δ) formada (FIGURA 2.05). De qualquer maneira, a desintegração é provocada pela fadiga que a cristalização cíclica de sal, em uma mesma região, causa no material (Binda e Baronio, 1986 e Jackson, 1925).

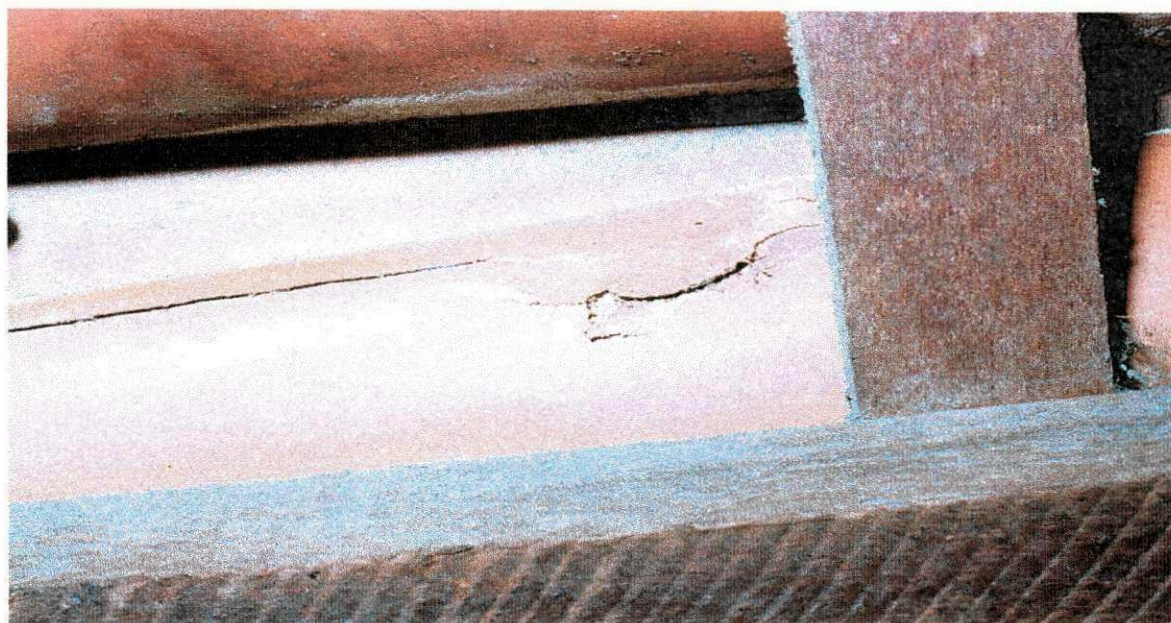


FIGURA 2.05 – Ilustração dos mecanismos de delaminações superficiais ocasionados pela formação de depósitos de sais em cerâmica vermelha.

Dos conceitos de “scum”, eflorescências e subeflorescências, vistos anteriormente, pode-se dizer então, que as subeflorescências são as manifestações da cristalização de sais solúveis que mais podem causar danos de ordem mecânica em alvenarias e concretos, pois estão localizadas em regiões internas da estrutura, próximas à superfície.

O confinamento dos depósitos de sais em alvenarias pode também ocorrer por:

- a) aplicação de camadas repelentes como tintas, ou revestimentos cerâmicos vítreos (FIGURAS 2.06, 2.07 e 2.08), que impedem a “respiração” das alvenarias (Chin e Petry, 1993 e Anderegg, 1952);
- b) colocação de revestimentos tais como tapetes, tacos e vinis, que produzirão depósitos de sais sob estes revestimentos, danificando o concreto, além de produzir deformações, odores e mofos no revestimento (Day, 1992).



FIGURA 2.06 – Ilustração da desintegração de alvenaria causada pelo confinamento de depósitos de sais devido à aplicação de revestimentos cerâmicos vítreos.

A elevação da pressão osmótica, quando ocorre a formação dos depósitos de sais, tende a arrancar do corpo físico, qualquer tipo de revestimento que forme uma crosta, que aprisione estes depósitos.

No caso de tintas pode ocorrer a formação de bolhas osmóticas, sobretudo em concretos utilizados em serviços com imersão. Sob estas condições, existe um forte potencial para formação de bolhas osmóticas porque

além da água ser um solvente muito móvel, toda camada orgânica transmite vapor d'água até certo ponto (Dively III, 1994).

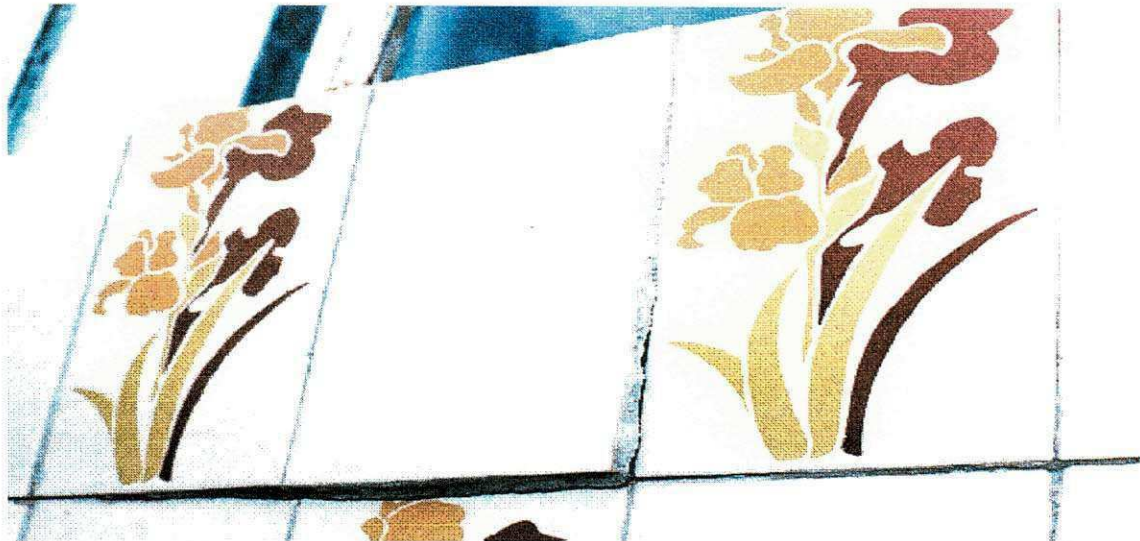


FIGURA 2.07 – Ilustração da desintegração de alvenaria causada pelo confinamento de depósitos de sais devido à aplicação de revestimentos cerâmicos vítreos.



FIGURA 2.08 – Ilustração da desintegração de alvenaria causada pelo confinamento de depósitos de sais devido à aplicação de revestimentos cerâmicos vítreos.

Entretanto, segundo Anderegg (1952), quando os depósitos são confinados por vidrados cerâmicos, desintegrações fortes podem ocorrer. Esta deterioração pode também existir quando cristais de sais, expostos nas faces de alvenarias (eflorescências), estão abrigados da água da chuva de modo que estes depósitos não são lixiviados facilmente, produzindo também efeito de confinamento.

A distribuição inicial dos sais solúveis e a maneira pela qual a alvenaria sofre o processo de molhagem-secagem, influi significativamente na formação dos depósitos de sais solúveis. Quando a água adentra na estrutura pela superfície, onde posteriormente ocorrerá a evaporação, depósitos de sais são menos prováveis de serem formados porque os sais solúveis, são conduzidos para regiões distantes da superfície, pelas primeiras porções de água que penetram na estrutura.

A presença de discontinuidades na construção, como fendas e fissuras, pode também abrigar sais cristalizados, que aumentam estes espaços devido às pressões cristalinas, produzindo o mesmo efeito de desintegração (Day, 1992). Por isto apesar de tijolos ásperos disfarçarem os efeitos de "scum", como afirmou Reynolds (1925), é desejável que estas unidades cerâmicas apresentem estrutura interna uniforme, de modo que os sais não se acumulem em suas discontinuidades, como afirmaram Binda e Baronio (1983).

2.1.2.6 – Outros mecanismos de deterioração

Como foi visto, o mecanismo de desintegração de alvenarias e concretos é atribuído, pela maioria dos autores pesquisados, ao fenômeno de cristalização de constituintes solúveis, que geram forças consideráveis de pressão que atuam nas paredes dos poros desintegrando-os. Todavia, outros pesquisadores investigaram a atuação de substâncias solúveis e água, em

alvenarias e concretos, concluindo que outros mecanismos estão envolvidos na degradação destas estruturas.

A importância de listar-se outros meios de degradação, reside no fato de que estes processos não ocorrem de forma isolada. A ação conjunta de todos os meios de desintegração é que leva a estrutura ao colapso.

A presença de água e ácidos nos poros, promove no material o que se chama de dissolução química. Um dos principais agentes da dissolução é o S_2O/H_2SO_4 . Neste mecanismo, os íons são rapidamente arrancados da estrutura cristalina sendo que os cristais menores dissolver-se-ão mais rapidamente do que os cristais maiores (Knöfel et al., 1987).

Gradiente de umidade, temperatura ou de sais solúveis, em materiais porosos, ocasiona um aumento das forças cisalhantes entre a superfície e o interior, geradas pela expansão térmica e higroscópica que pode produzir lascas superficiais no material. Variação de umidade pode levar o material a expandir-se em virtude da adsorção de vapor d'água e a contrair-se em virtude da desorção. Expansão por umidade é observada, sobretudo, em materiais que apresentam elevada condensação capilar. Segundo Metha (1994), os efeitos da umidade e a cristalização de sais são os fatores mais destrutivos na degradação de monumentos históricos de pedra.

A presença de sais solúveis em materiais porosos afeta significativamente a sua expansão térmica. Isto foi concluído por Larsen e Nielsen (1990), quando verificaram que tijolos impregnados com NaCl, apresentaram um coeficiente de expansão térmica de $6,8 \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, contra um coeficiente de $5,8 \pm 0,1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, após a lavagem deste sal. Eles afirmaram que a porosidade não afeta a expansão térmica, apenas se o tijolo não está impregnado com sal. Entretanto, se sais solúveis estão presentes, uma maior porosidade contribuirá para um acúmulo maior de sais, pelo efeito de capilaridade, e como consequência, o coeficiente de expansão térmica aumenta, haja vista que a expansão térmica do cristal de NaCl foi determinada como sendo seis vezes maior do que o coeficiente de expansão térmica do tijolo isento de sais. Eles ainda verificaram que a presença de 2% em peso de NaCl, aumenta a expansão térmica do tijolo em 16%. O efeito da porosidade em tijolos isentos de cloreto de sódio e em tijolos impregnados, está demonstrado na FIGURA 2.09.

Larsen e Nielsen (1990) propuseram um modelo matemático para determinar o coeficiente de expansão térmica de tijolos, dado por:

$$\frac{\alpha^*}{\alpha_t} = 1 + \frac{2cn(m-1)}{(A+n)(1+c)} \quad (2.13)$$

Sendo,

$$A = \frac{1-c}{1+c} \quad (2.14)$$

$$m = \frac{\alpha_s}{\alpha_t} \quad (2.15)$$

$$n = \frac{E_s (1-c')}{E_t (1+c')} \quad (2.16)$$

$$c' = 1 - C \frac{(1-c)\rho_t}{c\rho_s} \quad (2.17)$$

onde:

- c é a porosidade do tijolo;
- α_s é o coeficiente de expansão térmica do sal;
- α_t é o coeficiente de expansão térmica do tijolo;
- E_s é o módulo de Young do sal;
- E_t é o módulo de Young do tijolo;
- C é a concentração do sal em peso;
- ρ_s é a densidade do sal;

- ρ_t é a densidade do tijolo.

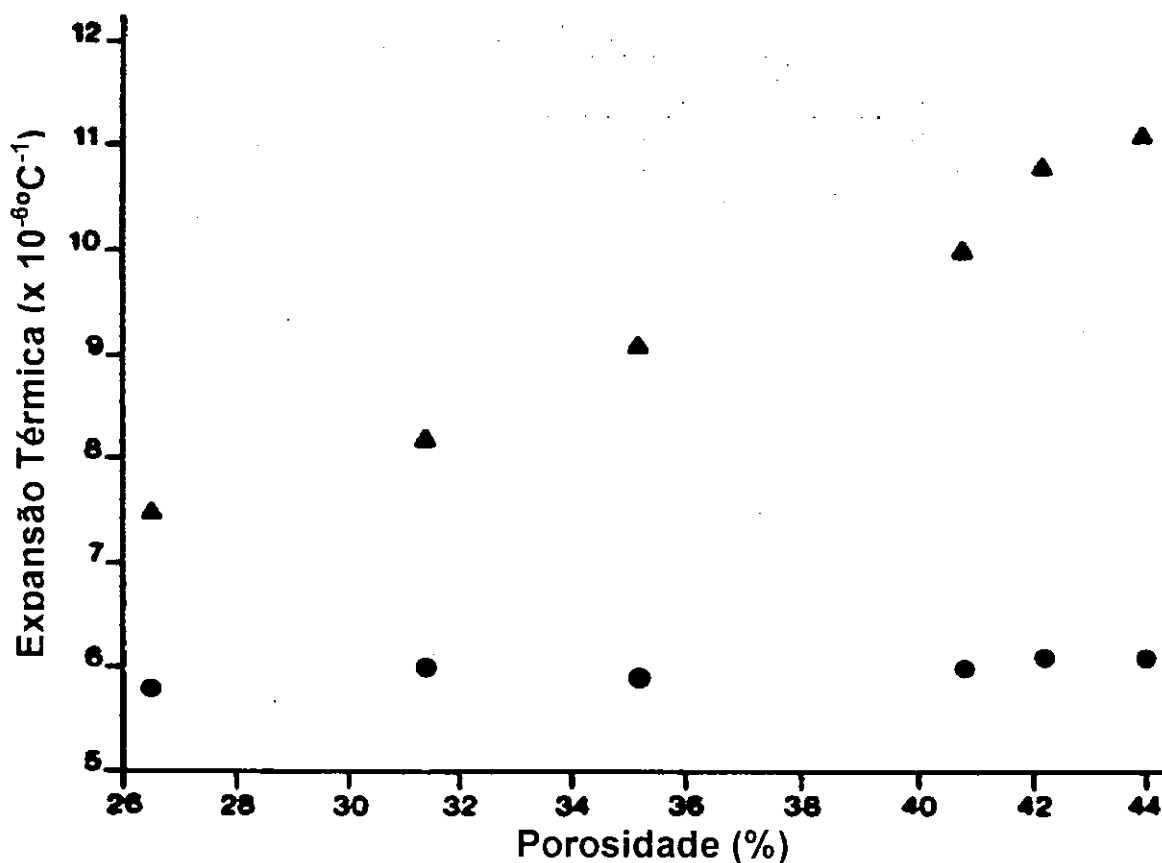


FIGURA 2.09 – Coeficiente de expansão térmica em função da porosidade de: (●) tijolos sem sal e (▲) tijolos com sal (Larsen e Nielsen, 1990).

2.2 – REDUÇÃO DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS DE SAIS

A coexistência de água e sais solúveis, no interior de alvenarias e concretos, é o fator vital para que depósitos de sais sejam formados. A eliminação de um destes componentes é impraticável, entretanto pode-se reduzir o potencial de formação destes depósitos tomando alguns cuidados que tendem a reduzir um

ou ambos constituintes, que vão desde a escolha adequada de matérias-primas a detalhes de projeto.

A formação de depósitos de sais em produtos de cerâmica vermelha, pode ser minimizada como segue:

- a) a temperatura de queima deve ser tão alta quanto possível, não sendo inferior a 1037°C, pois assim, os sulfatos presentes na matéria-prima reagem com silicatos. Para garantir total reação entre estes dois compostos, a queima deve ser prolongada (Brownell 1958-a e Reynolds, 1925);
- b) gás sulfuroso deve ser carregado para fora do forno, pois sua presença desenvolve potencial para formação de depósitos de sais (Brownell 1958-a e Grimshaw, 1971);
- c) compostos de bário, sobretudo o carbonato de bário por ser apenas levemente solúvel, deve ser adicionado de modo que transforme o sulfato de cálcio solúvel, em sulfato de bário insolúvel (Reynolds, 1925);
- d) adição de cloreto de amônio para reagir com o ferro da pirita e formar cloreto de ferro que combinado com enxofre resulta no sulfeto de hidrogênio. Esta reação ocorre em torno de 350°C, sendo todos os seus produtos da reação voláteis (Brownell, 1950);
- e) a secagem dos produtos úmidos (a verde) deve ser realizada tão rápida quanto possível para reter o sulfato dentro do material, pois secagem lenta facilita a formação de "scum" de secador (Reynolds, 1925);
- f) o aquecimento do forno até 680°C, deve ser realizada com outro combustível que não contenha enxofre, de modo que não ocorra a formação do ácido sulfúrico. Deve ser realizado também sob condições oxidantes, para dificultar a liberação do enxofre da pirita (Reynolds, 1925).

Em alvenarias a formação de depósitos de sais pode ser reduzida da seguinte maneira:

- a) detalhes de construção que minimizam a penetração de água na alvenaria como uso de argamassas compatíveis com os tijolos, juntas completamente

cheias entre o tijolo e argamassa produzindo uma boa ligação entre estes constituintes (Chin e Petry, 1993);

- b) sistema de coleta e drenagem de água, de modo que este solvente seja retirado da estrutura, tão rápido quanto possível (Chin e Petry, 1993 e Anderegg, 1952);
- c) depósitos de sais instalados até cerca de um metro acima do nível do solo, podem ser removidos das estruturas, pela remoção do reboco e lavagem dos sais solúveis dos tijolos com água quente ou com água oxigenada, com posterior aplicação de um novo reboco, após secagem da água (Stahmann, 1955);
- d) não impedir a “respiração” da alvenaria com a colocação de revestimentos, onde sistema de drenagem não foi implantado (Anderegg, 1952).

CAPÍTULO III

3.0 – MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia e os materiais utilizados nesta pesquisa, estão apresentados neste capítulo.

Com o intuito de estudar as argilas destinadas a fabricação de produtos cerâmicos do estado da Paraíba, foi realizado um levantamento das indústrias oleiras deste estado, para auxiliar na coleta de matérias-primas. As fontes de pesquisas utilizadas foram os catálogos da Federação das Indústrias do Estado da Paraíba – FIEP (1994), catálogos telefônicos do Sistema de Telecomunicações da Paraíba S/A – TELPA (1994), além de informações obtidas de terceiros.

3.1 – MATERIAIS

3.1.1 – Argilas

Aproximadamente 50 kg de argila, destinadas à fabricação de unidades cerâmicas (tijolos furados), foram coletadas de 25 olarias do estado da Paraíba, durante o segundo semestre de 1994 e o primeiro semestre de 1995, por

Ribeiro (1996). Naquele momento, estas indústrias cerâmicas consistiam em aproximadamente 80,60% das indústrias que foram contatadas pela autora. Preservando a numeração dada por Ribeiro (1996) 15 argilas foram escolhidas, dentre as 25 coletadas, pertencendo estas amostras às seguintes olarias:

04 – Cerâmica Espírito Santo Ltda.

Proprietário: Newton Luiz Gonçalves da Silva Júnior.

Localização: Rodovia Pb 04

Telefone: (083) 241-3744

58.337-000 - Cruz do Espírito Santo - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Paraíba

06 – Cerâmica CAIONGO

Proprietário: Piragibe Paiva Barbosa

Localização: Rodovia BR 101 - km 78

Telefone: (083) 229-1333

58.000-000 - Santa Rita - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Paraíba

07 – Cerâmica CEMAL

Proprietário: Genésio Martins da Silva

Localização: Fazenda Engenho Novo ou

Rua Senador Cunha de Vasconcelos, 354

58.290.000 - Mamanguape - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Mamanguape

08 – Cerâmica SALEMA

Proprietário: Francisco Xavier Andrade

Localização: Fazenda Salema

Telefone: (083) 292-2344

58.297-000 - Rio Tinto - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Mamanguape

09 – Cerâmica Irmãos Borges

Proprietários: Manoel de Andrade Borges e Cláudio Borges de Andrade

Localização: Fazenda Veloso

Telefone: (083) 291-2444

58.297-000 - Rio Tinto - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Mamanguape

11 – Cerâmica Ney de Arruda

Proprietário: Ney de Arruda Câmara

Localização: Rua Vera Cruz, s/nº - Centro

58.388-000 - Alagoa Grande - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Mamanguape

12 – Cerâmica Jardim

Proprietário: Valdevino José Cosme

Localização: Sítio Jardim

Telefone: (083) 288-1028

Bacia Hidrográfica: Rio Mamanguape

15 – Cerâmica Soledade

Proprietário: Raimundo

Localização: Próximo ao Cemitério

58.155-000 - Soledade - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Paraíba

16 – Cerâmica São José

Proprietário: Expedito Francisco dos Santos

Localização: Rodovia BR 230 - km 55

58.155-000 - Soledade - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Paraíba

17 – Cerâmica Arlindo

Proprietário: Arlindo Franco Borborema

Localização: Parte Sul da Cidade

58.155-000 - Soledade - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Paraíba

18 – Cerâmica Zé Pascoal

Proprietário: José Robério Ramos Pascoal

Localização: Rua Quintino Bocaiúva, s/nº- Centro

58.660-000 - Juazeirinho - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Paraíba

22 – Cerâmica Tanques

Proprietário: Manoel Júlio

Localização: Fone: 349-1085

58.000-000 - Pedra Lavrada - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Seridó

23 – Cerâmica Palmeirense

Proprietário: Aluizio Gomes de Medeiros

Localização: Rua Almeida Rosa, 62

Telefones: (083) 349-1117 e 349-1118

58.184-000 - Nova Palmeira - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Seridó

24 – Cerâmica Casa de Pedra

Proprietário: José Antonio

58.187-000 - Picuí - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Seridó

25 – Cerâmica Barbadim

Proprietário: Paulo César Araújo.Ribeiro

Localização: Distrito Industrial

Telefones: (083) 331-4250 e 331-4251

58.100-000 - Campina Grande - Paraíba

Bacia Hidrográfica: Rio Paraíba

3.1.2 – Água

Três tipos de água foram utilizados:

- a) água destilada;
- b) água coletada de um poço artesiano, denominada de água altamente salina S, localizado na cidade de Juazeirinho no estado da Paraíba, com elevado teor de sais solúveis, mais precisamente 28800,00 mg/l.
- c) água obtida pela diluição da água altamente salina S, utilizando água destilada, cujo teor de sais solúveis estimado foi de 12503,42 mg/l, sendo denominada de água moderadamente salina M.

3.2 – MÉTODOS

3.2.1 - Beneficiamento das Amostras

Com o objetivo de uniformizar ao máximo as características físicas das amostras, as argilas, coletadas nas olarias, foram desagregadas e passadas

em peneira ABNT nº 80 (0,18 mm). Esta granulometria corresponde a granulometria usual de prensagem de massa semi-seca, utilizada na produção industrial de cerâmicas vermelhas (Souza Santos, 1990).

Após o beneficiamento, com o intuito de evitar contaminações com outros agentes e manter as características naturais, como umidade, as amostras foram armazenadas e mantidas em sacos plásticos, até a sua utilização.

3.2.2 – Preparação dos Corpos de Prova

Três tipos de massas foram preparadas para a prensagem. Em todos os tipos, a umidade de prensagem aproximou-se da umidade natural da argila, de acordo como Souza Santos (1990). A obtenção dos corpos de provas foi realizada da seguinte maneira:

- a) a argila foi umedecida com água (água destilada A, água moderadamente salina M ou água altamente salina S) por tentativa. Em seguida, a massa umedecida foi passada em peneira ABNT nº 20 (0,833 mm) e deixada em repouso por um período de 24 horas. O recipiente foi mantido coberto com pano úmido, para manter a umidade da massa;
- b) a massa foi prensada utilizando uma pressão de 20 MPa, onde o corpo de prova adquiriu as dimensões de 7,5 cm x 5,0 cm x 0,5 cm e formato como mostra a FIGURA 3.01. Este tipo de corpo de prova foi utilizado por Richie (1955) e Rogers (1959) para determinar a quantidade de material solúvel das argamassas;
- c) os corpos de provas foram secos a 110°C, durante 24 horas;
- d) a queima dos corpos de provas foi realizada em atmosfera oxidante, com velocidade constante de elevação de temperatura, em um ciclo de queima de dez horas, onde os corpos de provas permaneceram em temperatura máxima durante três horas. As temperaturas de queima foram de 700°C, 800°C e

900°C. Após o ciclo de queima, o forno foi desligado e os corpos de provas permaneceram no seu interior, durante a noite, sendo resfriados lentamente até a temperatura ambiente.

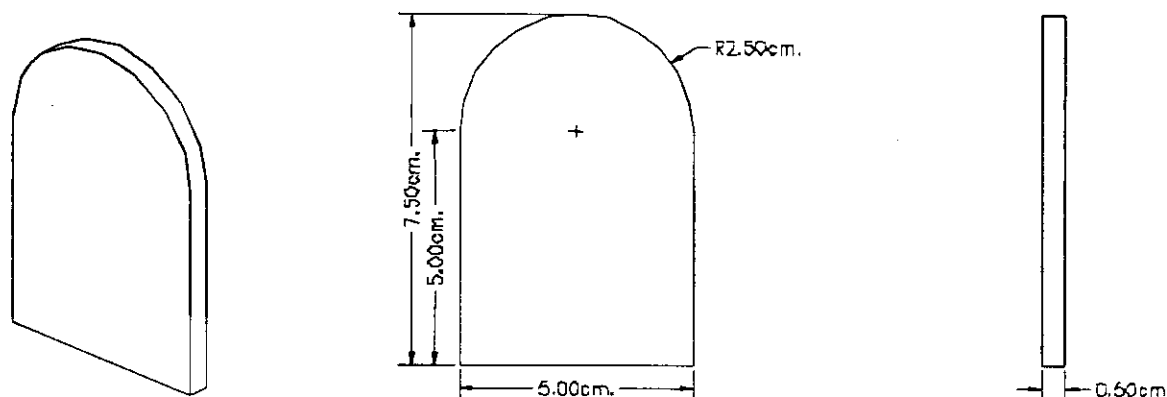


FIGURA 3.01 – Modelo de corpo de prova utilizado no ensaio de efluorescência.

3.2.3 – Ensaio Cerâmicos

Após a moldagem e secagem, os corpos de provas foram submetidos aos ensaios de umidade de prensagem e retração linear de secagem. Depois da queima, as unidades cerâmicas foram submetidas aos ensaios de retração linear de queima, porosidade aparente, absorção de água, massa específica aparente e tensão de ruptura à flexão.

3.2.3.1 – Umidade de prensagem

Refere-se à quantidade de água, calculada em porcentagem, necessária para desenvolver uma plasticidade suficiente para que o processo de

moldagem seja executado. Segundo Souza Santos (1990), são necessárias duas pesagens: uma após a prensagem e a outra após a secagem dos corpos de provas. A umidade de prensagem é calculada como segue:

$$UP = \frac{P_u - P_s}{P_s} \cdot 100 \quad (3.01)$$

onde:

- UP é a umidade de prensagem (%);
- P_u é o peso do corpo de prova úmido após a prensagem (g);
- P_s é o peso do corpo de prova a secagem a 110°C (g).

O resultado da umidade de prensagem, para cada amostra, em cada um dos três tipos de água de amassamento, bem como, em cada temperatura de queima, foi obtido através da média dos valores individuais de setenta e cinco corpos de prova, calculados através da Equação (3.01).

3.2.3.2 – Retração linear de secagem

Corresponde à variação das dimensões lineares, determinadas em porcentagem, após secagem a 110°C. Quando ocorre retração a variação é positiva, entretanto na expansão, a variação é negativa. Segundo Souza Santos (1990), a retração linear de secagem é calculada como segue:

$$RS = \frac{L_0 - L_1}{L_1} \cdot 100 \quad (3.02)$$

onde:

- RS é a retração linear após a secagem do corpo de prova a 110°C (%);
- L₀ é o comprimento inicial do corpo de prova (cm);
- L₁ é o comprimento do corpo de prova após a secagem a 110°C (cm).

O resultado da retração linear de secagem, para cada amostra, em cada um dos três tipos de água de amassamento, foi obtido através da média dos valores individuais de setenta e cinco corpos de prova, calculados através da Equação (3.02).

3.2.3.3 – Retração linear de queima

Corresponde a variação das dimensões lineares, calculada em porcentagem, após a queima dos corpos de prova. Segundo Souza Santos (1990), a variação é positiva quando ocorre a retração e negativa, quando ocorre a expansão. A retração linear de queima é calculada como segue:

$$RQ = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \cdot 100 \quad (3.03)$$

onde:

- RQ é a retração linear de queima do corpo de prova (%);
- L₁ é o comprimento do corpo de prova após a secagem a 110°C (cm).
- L₂ é o comprimento do corpo de prova após a queima (cm).

O resultado da retração linear de queima, para cada amostra, em cada um dos três tipos de água de amassamento, obtido através da média dos

3.2.3.4 – Porosidade aparente

Normalmente é expressa como porcentagem de volume de vazios de um corpo de prova e representa o volume aparente do corpo de prova, incluindo os próprios vazios. Segundo Souza Santos (1990), a porosidade aparente é calculada como segue:

$$PA = \frac{P_{sa} - P_s}{P_{sa} - P_i} \cdot 100 \quad (3.04)$$

onde:

- PA é a porosidade aparente (%);
- P_{sa} é o peso do corpo de prova saturado de água (g);
- P_s é o peso do corpo de prova após secagem a 110°C (g);
- P_i é o peso do corpo de prova imerso em água em água destilada (g).

O resultado da porosidade aparente, para cada amostra, em cada um dos três tipos de água de amassamento, bem como, em cada temperatura de queima, foi obtido através da média dos valores individuais de vinte e cinco corpos de prova, calculados através da Equação (3.04).

3.2.3.5 – Absorção de água

De extrema importância, pois representa um parâmetro fundamental para que ocorra a ascensão capilar, este ensaio foi realizado baseado na norma da ABNT, NBR 8947 (1985). A absorção de água representa o quociente entre a

massa de água absorvida pelos poros abertos do corpo de prova e sua massa, quando seco. Segundo Souza Santos (1990), a absorção de água é calculada em percentual através da expressão matemática:

$$AA = \frac{P_{sa} - P_s}{P_s} \cdot 100 \quad (3.05)$$

onde:

- AA é a absorção de água (%);
- P_{sa} é o peso do corpo de prova saturado de água (g);
- P_s é o peso do corpo de prova após secagem a 110°C (g).

O resultado da absorção de água, para cada amostra, em cada um dos três tipos de água de amassamento, bem como, em cada temperatura de queima, foi obtido através da média dos valores individuais de vinte e cinco corpos de prova, calculados através da Equação (3.05).

3.2.3.6 – Massa específica aparente

Compreende a relação entre a massa seca do corpo de prova e o seu volume aparente. Segundo Souza Santos (1990), determina-se a massa específica aparente como segue:

$$MEA = \frac{P_s}{P_{sa} - P_i} \quad (3.06)$$

onde:

- MEA é a massa específica aparente (g/cm³);

- Ps é o peso do corpo de prova após secagem a 110°C (g);
- Psa é o peso do corpo de prova saturado de água (g);
- Pi é o peso do corpo de prova imerso em água (g).

O resultado da massa específica aparente, para cada amostra, em cada um dos três tipos de água de amassamento, bem como, em cada temperatura de queima, foi obtido através da média dos valores individuais de vinte e cinco corpos de prova, calculados através da Equação (3.06).

3.2.3.7 – Tensão de ruptura à flexão

Também conhecida como módulo de ruptura à flexão, corresponde à resistência que o material oferece quando submetido à ruptura por flexão em três pontos.

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados em máquina universal de ensaios Testometric Micro 350, modelo Goodbrand, operando a uma velocidade de 0,4 mm/min, segundo o método proposto pela ASTM D – 790/1986, calculada como segue:

$$TR = \frac{3P_R L}{2bh_p^2} \quad (3.07)$$

onde:

- TR é a tensão de ruptura à flexão (MPa);
- P_R é a carga de rompimento (kgf);
- L é a distância entre os apoios da máquina (5 cm);
- b é a largura do corpo de prova (cm);

- h_p é a altura do corpo de prova (cm).

O resultado da tensão de ruptura à flexão, para cada amostra, em cada um dos três tipos de água de amassamento, bem como, em cada temperatura de queima, foi obtido através da média dos valores individuais de 5 corpos de prova, calculados através da Equação (3.07).

3.2.4 – Determinação dos Teores de Sais Solúveis em Argilas e em Corpos de Provas de Cerâmica Vermelha

Para se fazer uma avaliação sobre o teor de sais nas argilas e nos corpos de provas, é necessário a execução de um conjunto de análises.

3.2.4.1 – Determinação da condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação da argila

A determinação da condutividade elétrica foi realizado no extrato da pasta de saturação da argila, obtido pelo Método 2.32 da EMBRAPA (1979) (Anexo 1), utilizando a argila beneficiada pelo Método 3.2.1.

As leituras foram efetuadas pelo método 3.33 da EMBRAPA (1979) (Anexo 1), utilizando-se um condutímetro E 527 Metrohm Herisau, de leitura direta com precisão de duas casas decimais. Os valores registrados, nas respectivas temperaturas, foram recalculados através do fator de ajuste de temperatura, determinado por Richards (1954).

3.2.4.2 – Determinação do resíduo sólido seco como sais solúveis no extrato da pasta de saturação da argila

Uma alíquota de 20 ml do extrato de cada argila, foi colocada em um béquer, previamente tarado, e levado para secar em “banho maria” a uma temperatura de $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Depois os recipientes foram levados para a estufa (100°C), onde permaneceram cerca de 2 horas. Posteriormente, nova pesagem foi efetuada e a diferença de massa calculada. Os resíduos sólidos secos foram obtidos através da Equação (3.08), sendo efetuadas duas medidas para cada amostra.

$$RS = \frac{P_1 - P_0}{V_A} \quad (3.08)$$

onde:

- RS é o resíduo sólido seco ou sais no extrato de saturação (mg/l);
- P_0 é o peso do béquer (mg);
- P_1 é o peso do béquer depois que a alíquota do extrato foi secada em “banho maria” e na estufa (g);
- V_A é o volume da alíquota do extrato da argila (l).

3.2.4.3 – Regressão Linear para Determinação da Porcentagem de Sais Solúveis

Um ajustamento matemático, utilizando uma regressão linear

simples com Equação $y = b + ax$, foi realizado, com o intuito de verificar a interdependência entre as variáveis condutividade elétrica e resíduos sólidos como sais solúveis, obtidos através da Equação (3.08), ambos do extrato da pasta de saturação da argila. A análise estatística foi processada em computador, utilizando o programa da Microsoft Excel, versão 95.

A Equação $y = b + ax$ relaciona o tipo de ajustamento, onde:

- x é a variável independente (condutividade elétrica);
- y é a variável dependente (resíduo sólido seco);
- a é o coeficiente de inclinação da reta;
- b é o valor de interseção da reta com o eixo y .

A significância da relação foi verificada pelo coeficiente de correlação (R) e o nível de significância (α). Um resultado é significativo se a probabilidade calculada for menor do que 0,05 ou 5,00%. Entretanto, é altamente significativa se a probabilidade calculada for menor do que 0,01 ou 1,00% (Spigel, 1980).

3.2.4.4 – Porcentagem de sais solúveis no extrato da pasta de saturação da argila

Com o resultado da regressão linear, obtida através do método 3.2.4.3, e os valores da condutividade elétrica medida nos extratos de saturação das argilas, obtidos através do método 3.2.4.1, calculou-se as porcentagens de sais totais presentes nas argilas, através da seguinte expressão matemática:

$$\% \text{ Sais} = \frac{y \cdot PS}{10^3 \cdot 10^3} \quad (3.09)$$

Sendo,

$$y = b + ax \quad (3.10)$$

onde:

- CE é a condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação da argila (dS/m);
- PS é a porcentagem de saturação da argila, que representa o volume de água destilada necessário para saturar uma determinada quantidade de amostra (%);
- y é a Equação da reta de regressão linear, obtida através do método 3.2.4.3.

A Equação (3.09) pode ser escrita também como:

$$\% \text{ Sais} = \frac{CE \cdot a \cdot PS}{10^3 \times 10^3} \quad (3.11)$$

Onde a é o coeficiente angular da reta de regressão linear.

3.2.4.5 – Determinação da condutividade elétrica no extrato dos corpos de provas

A condutividade elétrica foi determinada no extrato retirado dos corpos de prova, produzidos de acordo com o Método 3.2.2, consistindo em imergir cinco unidades em 500 ml de água destilada a uma temperatura de $90^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, em recipientes plásticos de altura suficiente para permitir total imersão das amostras. Os corpos de provas foram mantidos em água destilada, em condições ambientes, durante 24 horas, sendo posteriormente removidos. Nos extratos foram efetuadas as leituras da condutividade elétrica, através do método 3.33 da

EMBRAPA (1979) (Anexo 1), utilizando-se um condutivímetro E 527 Metrohm Herisau, de leitura direta com precisão de duas casas decimais. Os valores registrados, nas respectivas temperaturas, foram recalculados através do fator de ajuste de temperatura, determinado por Richards (1954).

3.2.4.6 – Porcentagem de sais solúveis no extrato dos corpos de provas

Com o resultado da regressão linear, obtida através do método 3.2.4.3 e os valores da condutividade elétrica medida no extrato retirado dos corpos de provas, obtidos através do método 3.2.4.5, calculou-se as porcentagens de sais totais contidos nos corpos de provas. A conversão foi efetuada através da seguinte expressão matemática:

$$\% \text{ Sais} = \frac{y \cdot V_p \cdot 100}{10^3 \cdot P_t} \quad (3.12)$$

Sendo,

$$y = b + ax \quad (3.13)$$

onde:

- CE é a condutividade elétrica no extrato retirado de corpos de prova (dS/m);
- V_p é o volume de água destilada utilizado para retirar o extrato dos corpos de prova (l);
- P_t é o peso médio dos corpos de prova (g);
- y é a Equação da reta de regressão linear, obtida através do método 3.2.4.3.

A Equação (3.12) pode ser escrita também como:

$$\% \text{ Sais} = \frac{CE \cdot a \cdot V_p \cdot 100}{10^3 \cdot P_i} \quad (3.14)$$

Onde a é o coeficiente angular da reta de regressão linear.

3.2.5 – Ensaio de Eflorescência

O ensaio de eflorescência é um ensaio qualitativo, onde as amostras são classificadas em eflorescente e não eflorescente. Porém, com o objetivo de torná-lo semiquantitativo, uma adaptação do método da ASTM C 67(1992) (Anexo 1), foi realizada. Assim, o ensaio foi executado, para cada amostra, em cada tipo de água de amassamento, bem como em cada temperatura de queima, da seguinte maneira:

- a) cinco corpos de prova foram colocados em contato capilar com água destilada, a uma altura de $0,5 \pm 0,1$ cm, sob três diferentes condições de umidade e temperatura:
- condições ambientes, onde permaneceram durante sete dias. Neste período a temperatura registrada variou entre 24°C e 28°C , enquanto a umidade relativa apresentou uma faixa de variação de 37,00% a 97,00%;
 - condições padronizadas de temperatura e umidade, onde permaneceram durante três dias. Sob estas condições os pares de umidade e temperatura utilizados foram $51,00\% \pm 2,00\%$ com

75°C ± 5°C e 70,00% ± 3,00% com 90°C ± 2°C, respectivamente;

b) em seguida, foram secos a 110°C, durante 24 horas, sendo posteriormente classificados de acordo com a seguinte escala:

- 0 – não ocorre eflorescência;
- 2 – leves eflorescências;
- 4 – médias eflorescências;
- 6 – consideráveis eflorescências;
- 8 – abundantes eflorescências.

3.2.6 – Análise Química

A análise química consistiu da determinação dos íons cálcio, magnésio, sódio, potássio, carbonato, bicarbonato, cloretos e sulfatos da água moderadamente salina M e altamente salina S. Foram utilizados os métodos 2.34 a 2.40 da EMBRAPA (1979) (Anexo 1), exceto para os sulfatos que foram determinados pelo método da APHA (1989).

Segundo Richards (1954), o total de cátions solúveis deve ser aproximadamente igual ao total de ânions solúveis. Quando a condutividade varia de 0 a 5 dS/m, as concentrações, expressas em meq/l, devem ser aproximadamente iguais à condutividade elétrica, em dS/m, multiplicada por dez. Desta forma, para verificar os resultados obtidos, as porcentagens de precisão são calculadas pela expressão:

$$\% \text{ Precisão} = \frac{|\text{Total de Cátions} - \text{Total de Ânions}|}{|\text{Total de Cátions} + \text{Total de Ânions}|} \cdot 100 \quad (3.15)$$

De acordo com Richards (1954), os resultados são classificados como:

- a) de excelentes precisão, se são valores inferiores a 5,00%;
- b) aceitáveis, se estão entre 5,00% e 10,00%;
- c) devem ser reavaliados, se estão acima de 10,00%.

CAPÍTULO IV

4.0 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios cerâmicos e ensaios para determinação dos teores e efeitos dos sais solúveis, em argilas e produtos cerâmicos, realizados em corpos de provas obtidos com argilas destinadas à fabricação de produtos de cerâmica vermelha e conformados com águas de amassamento de diferentes concentrações de sais.

4.1 – ENSAIOS CERÂMICOS

Os resultados dos ensaios cerâmicos estão apresentados nas TABELAS 4.01 e 4.02. A discussão desses resultados foi efetuada observando-se o comportamento das quinze amostras quando moldadas com água destilada A, água moderadamente salina M e água altamente salina S, em cada temperatura de queima. Entretanto, devido à grande quantidade de dados, uma média dos valores de todas as amostras bem como os respectivos desvios padrões, para cada propriedade, foram calculados com o objetivo de generalizar o comportamento da referida característica cerâmica, como mostra a TABELA 4.03. Os valores médios também foram representados graficamente, para melhor visualização. Todavia, os desvios padrões não foram registrados nos gráficos, devido a sobreposição dos mesmos, nas temperaturas de queima, o que dificultaria o entendimento geral.

TABELA 4.01 – Resultados dos ensaios cerâmicos (Parte I).

Amostras	Água de Amass.	Umidade de Prensagem (%)	Retr. Linear de Secagem (%)	Retração de Queima-RQ (%)		
				Temperaturas de Queima (°C)		
				700	800	900
4	A	6,86	0,49	-0,049	-0,381	-0,053
	M	8,57	0,65	-0,029	-0,102	0,033
	S	8,46	0,81	-0,066	-0,069	0,057
6	A	11,55	1,61	0,050	0,277	1,816
	M	12,42	2,01	-0,243	0,363	0,735
	S	12,77	1,95	0,178	0,360	0,876
7	A	15,99	1,65	0,592	1,353	1,692
	M	16,17	1,74	0,680	1,028	2,173
	S	16,53	2,09	1,287	1,308	3,043
8	A	7,17	0,29	0,383	-0,366	-0,039
	M	8,33	0,29	-0,256	-0,369	-0,313
	S	9,34	0,40	-0,248	-0,305	-0,126
9	A	13,74	1,20	0,075	0,275	0,875
	M	12,68	0,64	1,609	0,283	1,427
	S	12,15	1,32	0,041	0,222	0,612
11	A	14,10	1,47	0,418	0,878	1,860
	M	14,62	1,72	0,646	0,801	1,435
	S	15,62	1,63	0,483	1,851	1,517
12	A	7,89	0,48	-0,163	-0,082	0,057
	M	9,41	0,82	-0,135	-0,034	0,016
	S	9,72	1,02	-0,168	-0,143	-0,024
15	A	10,80	1,15	0,303	0,053	0,668
	M	12,01	1,63	-0,197	0,164	0,797
	S	12,49	1,49	-0,008	0,095	0,740
16	A	11,54	0,60	0,147	0,608	0,212
	M	9,05	0,60	0,187	0,321	1,078
	S	14,06	1,37	0,184	0,284	1,845
17	A	8,68	0,11	-0,122	-0,285	-0,196
	M	7,44	0,41	-0,196	-0,228	-0,073
	S	9,95	0,67	-0,159	-0,179	-0,008
18	A	10,97	1,63	-0,079	-0,049	0,231
	M	10,24	1,31	0,049	0,115	0,496
	S	12,99	2,58	-0,013	0,233	0,807
22	A	8,00	0,42	-0,171	-0,081	-0,053
	M	8,82	0,62	-0,126	0,570	0,106
	S	9,60	0,79	-0,090	-0,029	0,256
23	A	8,05	0,50	0,126	0,216	0,536
	M	11,33	1,01	0,020	0,155	0,863
	S	11,88	1,20	-0,086	0,193	0,586
24	A	6,59	0,15	-0,174	-0,020	-0,024
	M	9,36	1,34	-0,676	-0,061	0,302
	S	10,72	0,36	-0,207	-0,053	0,073
25	A	11,02	0,25	0,658	0,499	1,480
	M	13,74	0,41	0,443	0,579	1,138
	S	14,27	0,68	0,644	0,709	1,415

TABELA 4.02 – Resultados dos ensaios cerâmicos (Parte II).

Amostra	Água de Amass.	Porosidade Aparente-PA (%)			Absorção de Água-AA (%)			Massa Específica Aparente-MEA (g/cm ³)			Tensão de Ruptura à Flexão (MPa)		
		Temperaturas de Queima (°C)									700	800	900
		700	800	900	700	800	900	700	800	900	700	800	900
4	A	33,25	23,02	25,79	18,59	11,40	13,04	1,91	2,02	1,98	4,79	3,62	4,46
	M	25,58	27,69	28,11	12,00	13,25	13,27	2,13	2,09	2,12	3,47	4,24	4,51
	S	23,28	23,65	25,27	11,50	11,73	12,71	2,02	2,02	1,99	3,76	4,83	5,09
6	A	23,86	22,73	24,69	11,95	11,25	12,34	2,00	2,02	2,00	5,74	7,21	9,84
	M	26,16	28,03	29,33	12,42	13,49	14,16	2,11	2,08	2,07	6,25	6,85	8,13
	S	23,40	24,64	25,40	11,72	12,71	12,77	2,00	1,94	1,99	6,60	6,65	7,88
7	A	30,05	31,53	31,20	16,29	17,51	17,22	1,84	1,80	1,81	7,04	13,72	13,59
	M	33,11	33,26	33,68	17,37	17,42	17,11	1,91	1,91	1,97	7,95	9,62	15,04
	S	29,17	25,39	30,47	16,08	13,91	16,37	1,81	1,93	1,86	8,40	9,70	14,47
8	A	29,42	25,13	30,21	15,97	13,57	16,24	1,84	1,89	1,86	1,65	1,62	1,79
	M	30,14	30,41	33,00	15,12	15,42	16,34	1,99	1,97	2,02	1,05	1,17	1,62
	S	27,03	28,11	28,63	14,25	14,92	15,49	1,90	1,88	1,85	1,78	2,10	2,64
9	A	27,30	29,03	28,74	14,47	15,49	15,15	1,89	1,87	1,90	4,51	4,54	2,08
	M	28,99	31,28	31,92	14,50	15,74	15,99	2,00	1,99	2,00	4,28	5,24	8,52
	S	26,15	27,45	28,84	13,69	14,51	15,18	1,91	1,89	1,90	3,89	4,89	6,19
11	A	30,35	31,01	34,39	16,74	16,83	18,95	1,81	1,84	1,83	4,74	9,46	11,91
	M	32,16	33,31	33,56	16,55	17,20	17,08	1,94	1,94	1,97	7,35	7,69	10,30
	S	34,47	29,19	29,67	14,99	15,64	15,68	2,30	1,87	1,89	6,27	10,21	9,98
12	A	24,21	25,97	26,50	12,25	13,15	13,56	1,98	1,97	1,95	3,45	4,62	4,49
	M	25,87	26,81	28,63	12,36	12,90	13,88	2,09	2,08	2,06	3,47	3,85	4,12
	S	22,04	24,20	25,66	11,35	12,16	12,96	1,94	1,99	1,98	3,30	3,69	3,94
15	A	30,05	30,96	29,61	16,00	16,64	15,66	1,88	1,86	1,89	6,23	4,44	6,62
	M	36,55	33,38	32,84	21,59	16,58	16,15	1,87	2,01	2,03	4,77	6,03	7,22
	S	27,69	28,88	29,09	14,42	15,17	15,16	1,92	1,90	1,92	4,29	5,45	7,64
16	A	26,79	33,63	32,83	14,58	18,58	18,33	1,88	1,81	1,79	5,43	7,91	6,38
	M	34,36	37,89	38,87	17,60	20,43	20,90	1,95	1,85	1,86	4,53	3,08	6,01
	S	32,17	32,25	29,54	17,72	17,60	15,30	1,82	1,83	1,93	4,60	7,17	9,46
17	A	31,97	33,63	34,19	18,23	19,44	19,82	1,75	1,73	1,73	1,51	1,54	7,63
	M	37,71	37,23	37,18	20,86	20,20	20,54	1,81	1,84	1,81	1,16	1,88	2,78
	S	32,40	33,18	34,45	18,44	19,03	19,87	1,76	1,74	1,73	1,30	2,00	2,54
18	A	25,38	26,73	27,12	13,01	13,82	14,05	1,95	1,93	1,93	3,37	4,55	4,59
	M	27,38	29,67	29,76	13,14	14,46	14,51	2,08	2,05	2,05	4,04	4,72	5,12
	S	22,79	30,77	25,02	11,36	18,40	12,55	2,01	1,86	1,99	5,58	7,29	9,15
22	A	26,82	27,05	28,26	13,76	13,76	14,56	1,95	1,97	1,94	3,19	3,21	3,73
	M	30,65	30,87	30,43	14,69	15,00	14,69	2,09	2,06	2,07	3,33	4,21	4,76
	S	26,40	27,25	27,76	13,48	13,94	14,21	1,96	1,95	1,95	3,09	4,43	4,88
23	A	30,33	29,68	31,50	16,33	15,62	16,84	1,86	1,90	1,87	2,95	3,33	6,58
	M	30,19	27,79	31,88	14,51	13,35	15,29	2,08	2,11	2,08	5,19	5,50	9,75
	S	23,51	27,96	29,01	11,84	14,47	15,00	2,04	1,93	1,93	5,16	6,27	8,16
24	A	32,30	33,19	31,88	17,66	18,25	17,12	1,83	1,82	1,86	1,93	3,71	2,77
	M	33,23	36,68	34,67	16,45	18,65	17,17	2,02	1,97	2,02	2,74	3,23	6,60
	S	29,81	30,73	36,31	15,88	16,38	23,22	1,88	1,88	1,73	2,12	3,78	5,75
25	A	33,75	34,25	36,12	19,32	19,54	20,60	1,75	1,75	1,75	3,89	3,96	6,82
	M	35,76	35,49	39,31	19,00	18,79	21,06	1,88	1,89	1,87	4,02	3,27	5,13
	S	32,45	33,04	34,49	18,20	18,59	19,15	1,78	1,78	1,80	4,52	5,09	6,54

TABELA 4.03 – Valores médios das propriedades cerâmicas e seus respectivos desvios padrões.

Propriedade Cerâmica	Água de Amassamento								
	Água Destilada A			Água Mod. Salina M			Água Alt. Salina S		
	Temperaturas de Queima (°C)								
	700	800	900	700	800	900	700	800	900
RQ (%)	0,13	0,19	0,60	0,12	0,24	0,68	0,12	0,30	0,78
Des. Padrão	0,28	0,48	0,75	0,55	0,38	0,69	0,41	0,59	0,87
PA (%)	29,05	29,17	30,20	31,19	31,99	32,88	27,52	28,44	29,30
Des. Padrão	3,18	3,88	3,38	3,94	3,68	3,50	4,08	3,13	3,49
AA (%)	15,68	15,66	16,23	15,88	16,19	16,54	14,33	15,28	15,71
Des. Padrão	2,29	2,75	2,50	2,99	2,53	2,53	2,52	2,32	2,98
MEA (g/cm ³)	1,87	1,88	1,87	2,00	1,99	2,00	1,94	1,89	1,90
Des. Padrão	0,07	0,09	0,08	0,10	0,09	0,09	0,13	0,07	0,09
TR (MPa)	4,03	5,16	6,22	4,24	4,71	6,64	4,31	5,57	5,95
Des. Padrão	1,67	3,20	3,44	1,94	2,22	3,37	1,92	2,39	3,12
UP (%)		10,20			10,95			12,04	
Des. Padrão		2,89			2,58			2,41	
RS (%)		0,80			1,01			1,22	
Des. Padrão		0,58			0,56			0,64	

RQ – Retração linear de queima;

AA – Absorção de água;

MEA – Massa específica aparente;

PA – Porosidade aparente;

TR – Tensão de ruptura à flexão;

RS – Retração linear de secagem;

UP – Umidade de prensagem.

4.1.1 – Umidade de Prensagem

Os resultados da umidade de prensagem, contidos na TABELA 4.01, estão representados nas FIGURAS A2.01 a A2.15 (Anexo 2), onde se pode observar que:

- dez amostras (6, 7, 8, 11, 12, 15, 22, 23, 24 e 25) apresentaram valores crescentes da umidade de prensagem com a elevação da concentração de sais na água de amassamento;
- onze amostras (4, 6, 7, 8, 11, 12, 15, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da umidade de prensagem maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- quatorze amostras (4, 6, 7, 8, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da umidade de prensagem maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- treze amostras (6, 7, 8, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da umidade de prensagem maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

Os valores da umidade de prensagem variaram de 6,59% (amostra 24, moldada com água destilada A) a 16,53% (amostra 7, moldada com água altamente salina S).

O comportamento das amostras, em relação à umidade de prensagem indica que, de um modo geral, os valores desta propriedade aumentaram com a elevação da concentração de sais na água de amassamento, haja vista que:

- 73,33% das amostras apresentaram os valores da umidade de prensagem maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 93,33% das amostras apresentaram os valores da umidade de prensagem maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 86,67% das amostras apresentaram os valores da retração linear de secagem maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

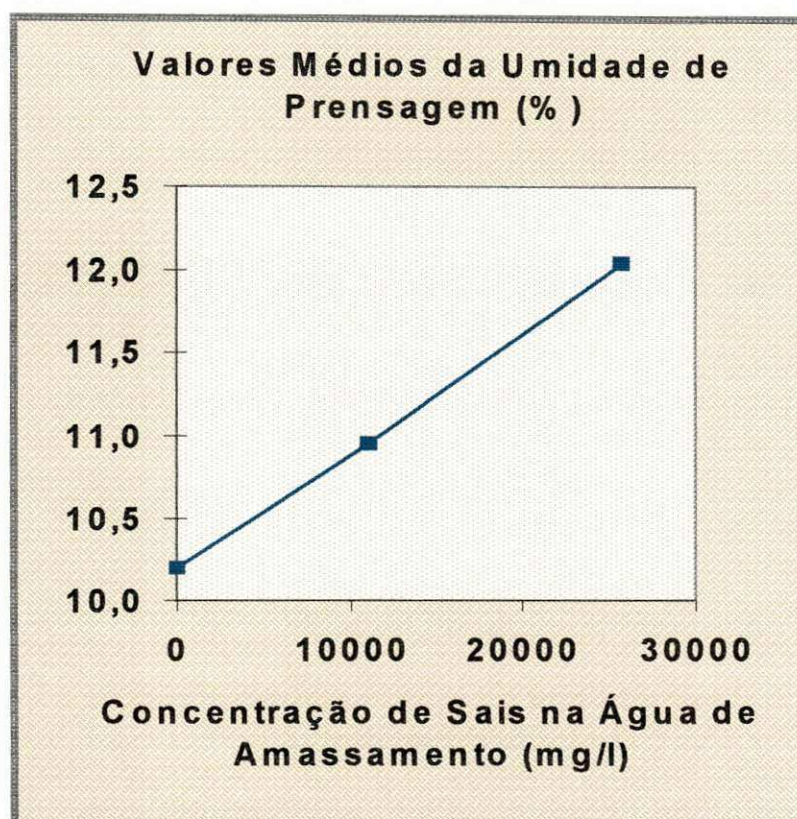


FIGURA 4.01 – Valores médios da umidade de prensagem.

Os valores médios da umidade de prensagem, contidos na TABELA 4.03, estão representados na FIGURA 4.01, onde, da mesma forma que na análise individual das argilas, observa-se claramente que esta propriedade depende significativamente da concentração de sais na água de amassamento, sendo evidenciado que valores maiores da umidade de prensagem são obtidos em concentrações de sais maiores na água, sobretudo para a água de amassamento altamente salina S. Este comportamento reside no fato de que a composição química da água de amassamento apresenta elevados teores de cálcio, magnésio, sódio e sulfato, havendo provavelmente uma preponderação da ação flocculante no sistema argila/água, o que implica em umidade de prensagem mais elevada, com o aumento da concentração de sais solúveis na água de amassamento.

4.1.2 – Retração Linear de Secagem

Os resultados da retração linear de secagem contidos na TABELA 4.01, estão representados nas FIGURAS A2.16 a A2.30 (Anexo 2), onde se pode observar que:

- sete amostras (4, 7, 12, 17, 22, 23 e 25) apresentaram valores crescentes da retração linear de secagem com a elevação da concentração de sais solúveis na água de amassamento;
- onze amostras (4, 6, 7, 11, 12, 15, 17, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da retração linear de secagem maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A, enquanto duas amostras (8 e 16) apresentaram estes valores iguais nos dois tipos de corpos de provas;
- todas as amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da retração linear de secagem maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- onze amostras (4, 7, 8, 9, 12, 16, 17, 18, 22, 23 e 25) apresentaram os valores da retração linear de secagem maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

Os valores da retração linear de secagem variaram de 0,11% (amostra 17, moldada com água destilada A) a 2,58% (amostra 18, moldada com água moderadamente salina M).

O comportamento das amostras, em relação à retração linear de secagem indica que, de um modo geral, os valores desta propriedade aumentaram com a elevação da concentração de sais na água de amassamento, haja vista que:

- 73,33% das amostras apresentaram os valores da retração linear de secagem maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 100% das amostras apresentaram os valores da retração linear de secagem maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 73,33% das amostras apresentaram os valores da retração linear de secagem maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

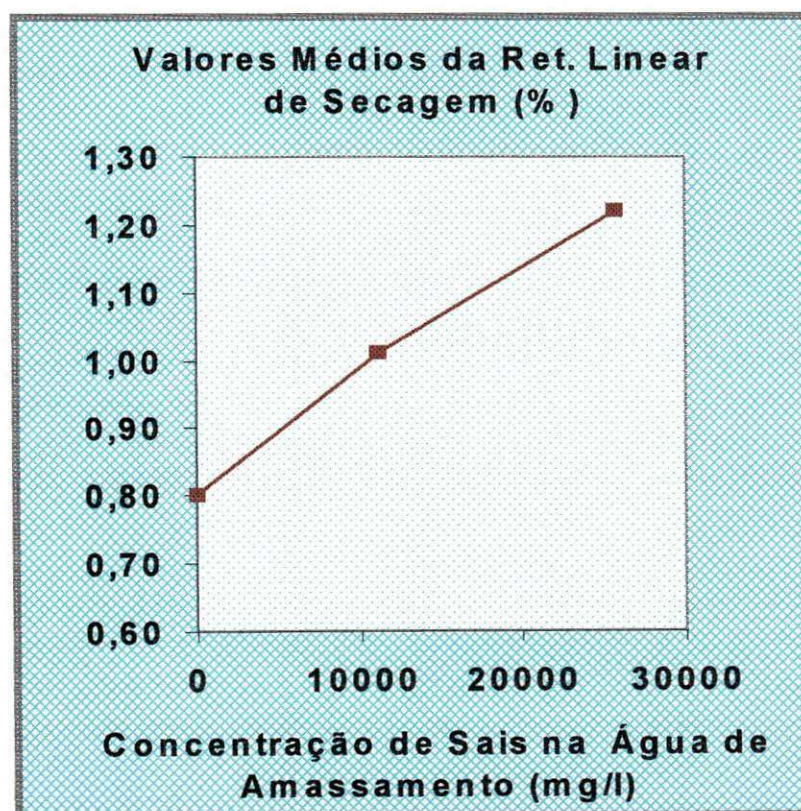


FIGURA 4.02 – Valores médios da retração linear de secagem.

Os valores médios da retração linear de secagem, contidos na TABELA 4.03, estão mostrados na FIGURA 4.02, onde se observa claramente que esta propriedade depende significativamente da concentração de sais na água de amassamento, sendo evidenciado que valores maiores da retração linear

de secagem são obtidos em concentrações maiores de sais na água de amassamento. Este comportamento é uma consequência direta da umidade de prensagem, pois quanto maior a quantidade de água adicionada na argila, no processo de fabricação, maior será a sua retração de secagem, o que apenas confirmou a tendência apresentada pelas amostras na propriedade cerâmica de umidade de prensagem.

4.1.3 – Retração Linear de Queima

Os valores da retração linear de queima estão contidos na TABELA 4.01. Analisando o comportamento das amostras, através das FIGURAS A2.31 a A2.45 (Anexo 2), tem-se que:

a) temperatura de queima de 700°C

- cinco amostras (7, 9, 11, 16 e 25) apresentaram fenômeno de retração em corpos de provas moldados com água destilada A, água moderadamente salina M e água altamente salina S;
- duas amostras apresentaram fenômeno de retração em apenas dois tipos de água de amassamento, distribuídas como segue:
 - em uma amostra (6) a retração foi observada em corpos de provas moldados com água destilada A e água altamente salina S;
 - em uma amostra (23) a retração foi observada em corpos de provas moldados com água destilada A e água moderadamente salina M.

- cinco amostras (4, 12, 17, 22 e 24) apresentaram fenômeno de expansão em corpos de provas moldados com água destilada A, água moderadamente salina M e água altamente salina S;
- três amostras apresentaram fenômeno de expansão em apenas dois tipos de água de amassamento, distribuídas como segue:
 - em duas amostras (8 e 15) a expansão foi observada em corpos de provas moldados com água moderadamente salina M e água altamente salina S;
 - em uma amostra (18) a expansão foi observada em corpos de provas moldados com água destilada A e água altamente salina S.

De uma forma geral, 51,11% dos tipos de amostras apresentaram fenômeno de expansão linear de queima, enquanto que 48,89% apresentaram fenômeno de retração linear de queima.

b) temperatura de queima de 800°C

- oito amostras (6, 7, 9, 11, 15, 16, 23 e 25) apresentaram fenômeno de retração em corpos de provas moldados com água destilada A, água moderadamente salina M e água altamente salina S;
- em uma amostra (18) o fenômeno de retração foi observado em corpos de provas moldados com água moderadamente salina M e água altamente salina S;
- cinco amostras (4, 8, 12, 17 e 24) apresentaram fenômeno de expansão em corpos de provas moldados com água destilada A, água moderadamente salina M e água altamente salina S;
- em uma amostra (22) a expansão foi observada em corpos de provas moldados com água destilada a e água altamente salina S;

De uma forma geral, 40,00% dos tipos de amostras apresentaram fenômeno de expansão linear de queima, enquanto que 60,00% apresentaram fenômeno de retração linear de queima.

c) temperatura de queima de 900°C

- nove amostras (6, 7, 9, 11, 15, 16, 18, 23 e 25) apresentaram fenômeno de retração em corpos de provas moldados com água destilada A, água moderadamente salina M e água altamente salina S;
- quatro amostras apresentaram fenômeno de retração em apenas dois tipos de água de amassamento, distribuídas como segue:
 - em uma amostra (12) a retração foi observada em corpos de provas moldados com água destilada A e água moderadamente salina M;
 - em três amostras (4, 22 e 24) a retração foi observada em corpos de provas moldados com água moderadamente salina M e água altamente salina S.
- duas amostras (8 e 17) apresentaram fenômeno de expansão em corpos de provas moldados com água destilada A, água moderadamente salina M e água altamente salina S;

De uma forma geral, 22,22% dos tipos de amostras apresentaram fenômeno de expansão linear de queima, enquanto que 77,78% apresentaram fenômeno de retração linear de queima.

Analisando simultaneamente as amostras queimadas nas temperaturas de 700°C, 800°C e 900°C, em relação ao fenômeno de retração linear de queima, tem-se que:

- em vinte e sete tipos de amostras (60,00%) foram observadas retrações em corpos de provas moldados com água destilada A, distribuídos como segue:

- em nove amostras (60,00%) a retração foi observada em corpos de provas queimados a 700°C;
 - em oito amostras (53,33%) a retração foi observada em corpos de provas queimados a 800°C;
 - em dez amostras (66,67%) a retração foi observada em corpos de provas queimados a 900°C.
- em trinta tipos de amostras (66,67%) foram observadas retrações em corpos de provas moldados com água destilada M, distribuídos como segue:
 - em sete amostras (46,67%) a retração foi observada em corpos de provas queimados a 700°C;
 - em dez amostras (66,67%) a retração foi observada em corpos de provas queimados a 800°C;
 - em treze amostras (86,67%) a retração foi observada em corpos de provas queimados a 900°C.
 - em vinte e sete tipos de amostras (60,00%) foram observadas retrações em corpos de provas moldados com água destilada S, distribuídos como segue:
 - em seis amostras (40,00%) a retração foi observada em corpos de provas queimados a 700°C;
 - em nove amostras (60,00%) a retração foi observada em corpos de provas queimados a 800°C;
 - em doze amostras (80,00%) a retração foi observada em corpos de provas queimados a 900°C.

Os valores da retração linear de queima variaram entre:

- 0,020% (amostra 23, moldada com água moderadamente salina M) e 1,609% (amostra 9, moldada com água moderadamente salina M), na temperatura de queima de 700°C;

- 0,053% (amostra 15, moldada com água destilada A) e 1,851% (amostra 11, moldada com água altamente salina S), na temperatura de queima de 800°C;
- 0,016% (amostra 12, moldada com água moderadamente salina M) e 3,043% (amostra 7, moldada com água altamente salina S), na temperatura de 900°C.

De uma forma geral, foi observado, nos três tipos de água de amassamento, um aumento no número de amostras que apresentou fenômeno de retração, com a elevação da temperatura de queima. Entretanto, esta característica foi mais pronunciada nas amostras moldadas com água moderadamente salina M e água altamente salina S.

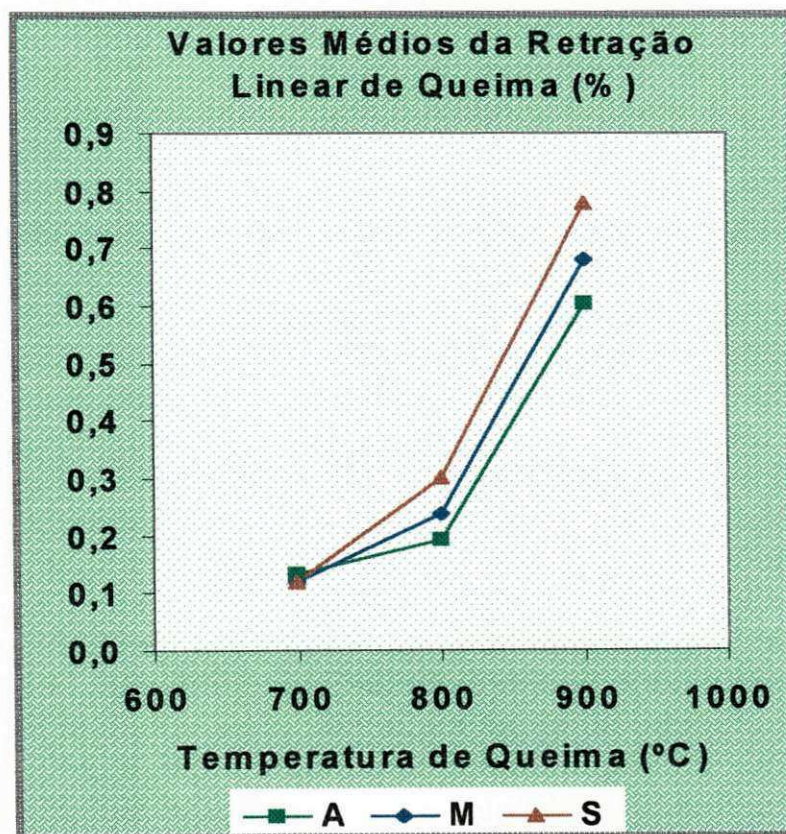


FIGURA 4.03 – Valores médios da retração linear de queima.

Os valores médios da retração linear de queima, contidos na TABELA 4.03, estão representados na FIGURA 4.03. Observa-se então, que na

temperatura de queima de 700°C, a concentração de sais na água de amassamento não interfere na propriedade cerâmica de retração linear de queima. Todavia, uma influência significativa é observada nas temperaturas de 800°C e 900°C, sendo evidenciado em ambas, que a elevação da concentração de sais na água de amassamento, produz maiores valores da retração linear de queima. É notório também, que a elevação da temperatura de queima ocasiona índices ainda maiores da retração linear, em todas os tipos de água de amassamento, sobretudo na temperatura de 900°C. O fenômeno de retração, que foi observado nas amostras, é decorrente da sinterização incipiente dos corpos de provas. Todavia, a diferença entre os níveis de retração das amostras moldadas com os três tipos de água de amassamento, é devido, possivelmente, a presença de sais solúveis, contidos na água moderadamente salina M e água altamente salina S, que proporcionaram um início de sinterização mais acentuada, em temperaturas superiores a 700°C, nas amostras moldadas com estas águas de amassamento. Como a concentração de sais na água altamente salina S é superior à concentração de sais na água moderadamente salina M, o fenômeno de retração é mais pronunciado nas amostras moldadas com água altamente salina S, nas temperaturas de queima de 800°C e 900°C.

De acordo com a TABELA 4.03, observa-se que todos os valores dos desvios padrões calculados sempre foram superiores às médias calculadas. Estatisticamente, isto significa que estes valores médios não são representativos para descreverem este fenômeno nas amostras. Todavia, considerando-se que as argilas são mineralogicamente semelhantes, como determinado por Campos et al. (1998), considerando-se que o comportamento geral é o que apresenta relativa importância neste trabalho, estando os valores médios calculados com importância secundária, e sobretudo, observando-se o desempenho por amostra, apresentado anteriormente, vale enfatizar que o comportamento das amostras, descrito através dos valores médios calculados, poderão ser utilizados para generalizar o desempenho das argilas em relação a propriedade cerâmica de retração linear de queima, nas temperaturas de 700°C, 800°C e 900°C.

4.1.4 – Porosidade Aparente

Os valores da porosidade aparente estão contidos na TABELA 4.02. Analisando o comportamento das amostras representados nas FIGURAS A2.46 a A2.60 (Anexo2), tem-se que:

a) temperatura de queima de 700°C

- duas amostras (4 e 23) apresentaram valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- doze amostras (6, 7, 8, 9, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 24 e 25) apresentaram valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, do que nas demais águas de amassamento;
- uma amostra (11) apresentou o valor da porosidade aparente maior nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- treze amostras (6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 24 e 25) apresentaram valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- comparando-se os valores da porosidade aparente entre os corpos de provas moldados com água destilada A e aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - doze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 12, 15, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - três amostras (11, 16 e 17) apresentaram valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.

- quatorze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na propriedade de porosidade aparente, haja vista que:

- 86,67% das amostras apresentaram maiores valores da porosidade aparente nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 80,00% das amostras apresentaram maiores valores da porosidade aparente nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S;
- 93,33% das amostras apresentaram maiores valores da porosidade aparente nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

Os valores da porosidade aparente variaram entre 22,04% (amostra 12, moldada com água altamente salina S) até 37,71% (amostra 17, moldada com água moderadamente salina M).

b) temperatura de queima de 800°C

- uma amostra (23) apresentou o valor da porosidade aparente maior nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- treze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 22, 24 e 25) apresentaram valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M;
- uma amostra (18) apresentou o valor da porosidade aparente maior nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;

- quatorze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 24 e 25) apresentaram valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- comparando-se os valores da porosidade aparente entre os corpos de provas moldados com água destilada A e aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - dez amostras (7, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 23, 24 e 25) apresentaram valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - cinco amostras (4, 6, 8, 18 e 22) apresentaram valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.
- doze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 12, 15, 16, 17, 22, 24 e 25) apresentaram os valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na propriedade de porosidade aparente, haja vista que:

- 93,33% das amostras apresentaram maiores valores da porosidade aparente nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 66,67% das amostras apresentaram maiores valores da porosidade aparente nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S;
- 80,00% das amostras apresentaram maiores valores da porosidade aparente nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

Os valores da porosidade aparente variaram entre 22,73% (amostra 6, moldada com água destilada A) até 37,89% (amostra 16, moldada com água moderadamente salina M).

c) temperatura de queima de 900°C

- uma amostra (11) apresentou o valor da porosidade aparente maior nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- treze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 23 e 25) apresentaram valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M;
- uma amostra (24) apresentou o valor da porosidade aparente maior nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- quatorze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- comparando-se os valores da porosidade aparente entre os corpos de provas moldados com água destilada A e aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - doze amostras (4, 6, 7, 8, 11, 12, 15, 16, 18, 22, 23, e 25) apresentaram valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - três amostras (9, 17 e 24) apresentaram valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.
- quatorze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 23 e 25) apresentaram os valores da porosidade aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na propriedade de porosidade aparente, haja vista que:

- 93,33% das amostras apresentaram maiores valores da porosidade aparente nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 80,00% das amostras apresentaram maiores valores da porosidade aparente nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S;
- 93,33% das amostras apresentaram maiores valores da porosidade aparente nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

Os valores da porosidade aparente variaram entre 24,69% (amostra 6, moldada com água destilada A) até 39,31% (amostra 25, moldada com água moderadamente salina M).

Os valores médios da porosidade aparente, contidos na TABELA 4.03, estão representados na FIGURA 4.04. Observa-se que em todos os tipos de água de amassamento, as amostras apresentaram valores crescentes da porosidade aparente com a elevação da temperatura de queima dos corpos de provas. Também é evidente, em todas as temperaturas, que a concentração de sais na água de amassamento influencia significativamente nos valores dessa característica cerâmica, apresentando um comportamento onde as amostras moldadas com água altamente salina S, desenvolveram os menores valores de porosidade aparente e aquelas moldadas com água moderadamente salina M, apresentaram os maiores valores. Possivelmente, a quantidade de sais solúveis presentes na água altamente salina S, proporcionou a redução do número de poros abertos nas amostras moldadas com esta água de amassamento, em todas as temperaturas de queima, devido a reações químicas que ocorreram entre os íons dissolvidos na água e os componentes da argila, gerando uma sinterização incipiente nos corpos de provas. Todavia, inexplicavelmente, os valores médios da porosidade aparente calculados para os corpos de provas moldados com água

destilada A foram inferiores, em todas as temperaturas de queima, aos valores médios calculados para os corpos de provas moldados com água moderadamente salina M. A explicação para este comportamento é objetivo para pesquisas futuras.

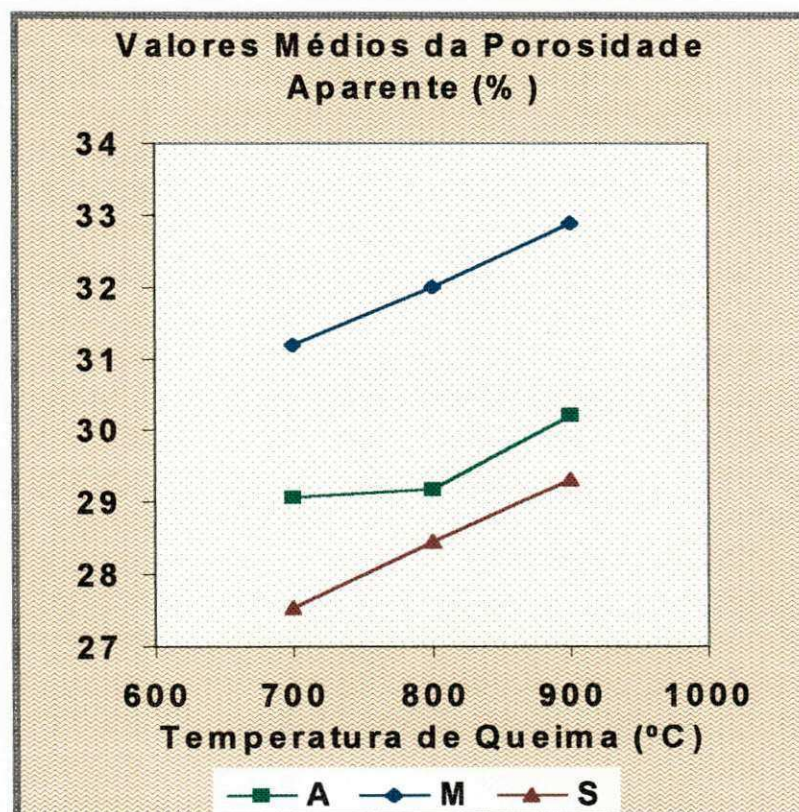


FIGURA 4.04 – Valores médios da porosidade aparente.

4.1.5 – Absorção de Água

Os resultados da absorção de água estão contidos na TABELA 4.02. Observando-se o comportamento das amostras nas FIGURAS A2.61 a A2.75 (Anexo 2), em cada temperatura de queima, tem-se:

a) temperatura de queima de 700°C

- seis amostras (4, 8, 11, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da absorção de água diminuindo com o aumento da concentração de sais na água de amassamento;
- nove amostras (6, 7, 9, 12, 15, 16, 17, 18 e 22) apresentaram os valores da absorção de água maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- comparando os valores da absorção de água entre as amostras moldadas com água destilada A e aquelas moldadas com água altamente salina S, pode-se observar que:
 - treze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram valores da absorção de água maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - duas amostras (16 e 17) apresentaram maiores valores de absorção de água em corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- quatorze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da absorção de água maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou significativamente a propriedade de absorção de água, haja vista que:

- 60,00% das amostras apresentaram maiores valores da absorção de água nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparado aqueles moldados com água destilada A;

- 86,67% das amostras apresentaram maiores valores da absorção de água nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S;
- 93,33% das amostras apresentaram maiores valores da absorção de água nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

Os valores da absorção de água variaram entre 11,35% (amostra 12, moldada com água altamente salina S) e 21,59% (amostra 15, moldada com água moderadamente salina M).

b) temperatura de queima de 800°C

- quatro amostras (7, 12, 15 e 25) apresentaram os valores da absorção de água diminuindo com o aumento da concentração de sais na água de amassamento;
- dez amostras (4, 6, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 22 e 24) apresentaram os valores da absorção de água maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- comparando os valores da absorção de água entre as amostras moldadas com água destilada A e aquelas moldadas com água altamente salina S, pode-se observar que:
 - dez amostras (7, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 23, 24 e 25) apresentaram valores da absorção de água maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - cinco amostras (4, 6, 8, 18 e 22) apresentaram maiores valores de absorção de água em corpos de provas moldados com água altamente salina S;

- treze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 22, 24 e 25) apresentaram os valores da absorção de água maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na propriedade de absorção de água, haja vista que:

- 66,67% das amostras apresentaram maiores valores da absorção de água nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 66,67% das amostras apresentaram maiores valores da absorção de água nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S;
- 86,67% das amostras apresentaram maiores valores da absorção de água nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

Os valores da absorção de água variaram entre 11,25% (amostra 6, moldada com água destilada A) e 20,43% (amostra 16, moldada com água moderadamente salina M).

c) temperatura de queima de 900°C

- três amostras (7, 11 e 23) apresentaram os valores da absorção de água diminuindo com o aumento da concentração de sais na água de amassamento;
- doze amostras (4, 6, 8, 9, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 22 e 25) apresentaram os valores da absorção de água maiores nas amostras moldadas com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;

- comparando os valores da absorção de água entre as amostras moldadas com água destilada A e aquelas moldadas com água altamente salina S, pode-se observar que:
 - onze amostras (4, 7, 8, 11, 12, 15, 16, 18, 22, 23 e 25) apresentaram valores da absorção de água maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - quatro amostras (6, 9, 17 e 24) apresentaram maiores valores de absorção de água nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.
- todas as amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da absorção de água maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na propriedade de absorção de água, haja vista que:

- 80% das amostras apresentaram maiores valores da absorção de água nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 73,33% das amostras apresentaram maiores valores da absorção de água nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S;
- 100% das amostras apresentaram os valores da absorção de água maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

Os valores da absorção de água variaram entre 12,34% (amostra 6, moldada com água destilada A) e 23,22% (amostra 24, moldada com água altamente salina S).

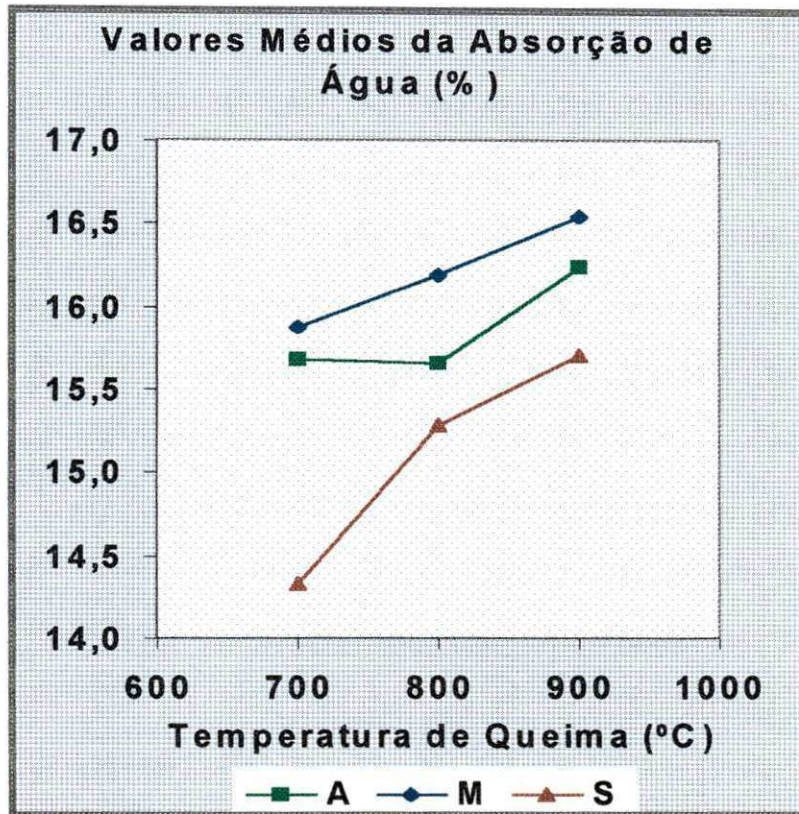


FIGURA 4.05 – Valores médios de absorção de água.

Os valores médios da absorção de água, contidos na TABELA 4.03, estão representados na FIGURA 4.05. Observa-se, com exceção da água destilada A, na temperatura de queima de 800°C, que em todos os tipos de água, os valores da absorção aumentaram com a elevação da temperatura de queima dos corpos de provas. Também é evidente, em todas as temperaturas, que a concentração de sais na água de amassamento influencia significativamente nos valores dessa característica cerâmica, apresentando um comportamento onde as amostras moldadas com água altamente salina S, desenvolveram os menores valores de absorção de água e aquelas moldadas com água moderadamente salina M, apresentaram os maiores valores. Este comportamento é consequência direta das características apresentadas na propriedade cerâmica de porosidade aparente. Logo, também, inexplicavelmente, os valores médios da absorção de água calculados para os corpos de provas moldados com água destilada A foram inferiores, em todas as temperaturas de queima, aos valores médios calculados

para os corpos de provas moldados com água moderadamente salina M. A explicação para este comportamento é objetivo para pesquisas futuras.

4.1.6 – Massa Específica Aparente

Os resultados da massa específica aparente estão contidos na TABELA 4.02. O comportamento das amostras representados nas FIGURAS A2.76 a A2.90 (Anexo 2), queimadas nas temperaturas de 700°C, 800°C e 900°C, mostra que:

a) temperatura de queima de 700°C

- nenhuma amostra apresentou o valor da massa específica aparente maior nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- treze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 12, 16, 17, 18, 22, 23 24 e 25) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, do que nas demais águas de amassamento;
- duas amostras (11 e 15) apresentaram os valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- quatorze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 16, 17, 18, 22, 23 24 e 25) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- comparando-se os valores da massa específica aparente entre os corpos de provas moldados com água destilada A e aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:

- três amostras (7, 12 e 16) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - onze amostras (4, 8, 9, 11, 15, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
 - uma amostra (6) apresentaram valores da massa específica aparente iguais nos corpos de provas moldados com os dois tipos de água de amassamento.
- treze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 12, 16, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparado aqueles moldados com água altamente salina S.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na propriedade de massa específica aparente, haja vista que:

- 93,33% das amostras apresentaram maiores valores da massa específica aparente nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 73,33% das amostras apresentaram maiores valores da massa específica aparente nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 86,67% das amostras apresentaram maiores valores da massa específica aparente nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

Os valores da massa específica aparente variaram entre $1,75 \text{ g/cm}^3$ (amostra 17, moldada com água destilada A e amostra 25, moldada com água destilada A) a $2,30 \text{ g/cm}^3$ (amostra 11, moldada com água altamente salina S).

b) temperatura de queima de 800°C

- nenhuma amostra apresentou o valor da massa específica aparente maior nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- quatorze amostras (4, 6, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 24 e 25) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, do que nas demais águas de amassamento;
- uma amostra (7), apresentou o valor da massa específica aparente maior nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- todas as amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- comparando-se os valores da massa específica aparente entre os corpos de provas moldados com água destilada A e aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - quatro amostras (6, 8, 18 e 22) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - dez amostras (7; 9, 11, 12, 15, 16, 17, 23, 24 e 25)) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.
 - uma amostra (4) apresentou valor igual nos corpos de provas moldados com água destilada A e água altamente salina S.
- quatorze amostras (4, 6, 8, 9, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparado aqueles moldados com água altamente salina S.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na propriedade de massa específica aparente, haja vista que:

- 100% das amostras apresentaram maiores valores da massa específica aparente nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 66,67% das amostras apresentaram maiores valores da massa específica aparente nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 93,33% das amostras apresentaram maiores valores da massa específica aparente nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

Os valores da massa específica aparente variaram entre $1,73 \text{ g/cm}^3$ (amostra 17, moldada com água destilada A) a $2,11 \text{ g/cm}^3$ (amostra 23, moldada com água moderadamente salina M).

c) temperatura de queima de 900°C

- nenhuma amostra apresentou o valor da massa específica aparente maior nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- quatorze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, do que nas demais águas de amassamento;
- uma amostra (16) apresentou o valor da massa específica aparente maior nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- todas as amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;

- comparando-se os valores da massa específica aparente entre os corpos de provas moldados com água destilada A e aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - duas amostras (6 e 8) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - onze amostras (4, 7, 11, 12, 15, 16, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
 - duas amostras (9 e 17) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.

- quatorze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 12, 15, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram valores da massa específica aparente maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparado aqueles moldados com água altamente salina S.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na propriedade de massa específica aparente, haja vista que:

- 100% das amostras apresentaram maiores valores da massa específica aparente nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 73,33% das amostras apresentaram maiores valores da massa específica aparente nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 93,33% das amostras apresentaram maiores valores da massa específica aparente nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S.

Os valores da massa específica aparente variaram entre $1,73 \text{ g/cm}^3$ (amostra 17, moldada com água destilada A e água altamente salina S, e amostra 24 moldada com água altamente salina S) a $2,12 \text{ g/cm}^3$ (amostra 4, moldada com água moderadamente salina M).

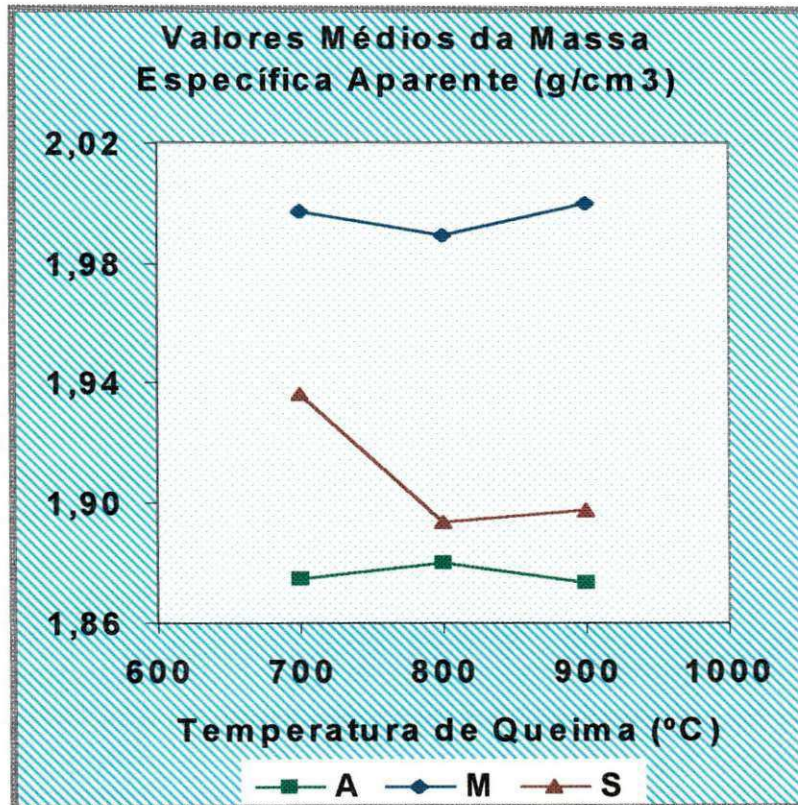


FIGURA 4.06 – Valores médios da massa específica aparente.

Os valores médios da massa específica aparente contidos na TABELA 4.03, estão representados na FIGURA 4.06, onde se observa que a concentração de sais na água de amassamento influencia nesta característica cerâmica, contribuindo para que as amostras moldadas com água moderadamente salina M apresentassem os maiores valores da massa específica aparente, em todas as temperaturas de queima. Todavia, apesar das amostras, nos três tipos de água de amassamento, não apresentarem um comportamento que se possa generalizar, observa-se que as médias das amostras moldadas com água destilada A e água altamente salina S, foram constantes nas temperaturas

de 700°C e 900°C. Os dados obtidos variaram em uma faixa muito estreita e são fortemente influenciados pela metodologia do ensaio, logo pequenas variações nas medições de absorção de água e porosidade aparente, influenciam fortemente os valores da massa específica aparente, não permitindo que generalizações possam ser efetuadas. Para que dados significativos sejam obtidos, existe a necessidade de que os dados de absorção de água e porosidade aparente sejam determinados com maiores números de algarismos significativos.

4.1.7 – Tensão de Ruptura à Flexão

Os valores da tensão de ruptura à flexão estão contidos na TABELA 4.02. Analisando o comportamento das amostras representado nas FIGURAS A2.91 a A2.105 (Anexo2), tem-se que:

b) temperatura de queima de 700°C

- cinco amostras (4, 9, 15, 16 e 17) apresentaram valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- cinco amostras (11, 12, 22, 22 e 24) apresentaram valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, do que nas demais águas de amassamento;
- cinco amostras (6, 7, 8, 18 e 25) apresentaram os valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- nove amostras (6, 7, 11, 12, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;

- comparando-se os valores da tensão de ruptura à flexão entre os corpos de provas moldados com água destilada A e aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - sete amostras (4, 9, 12, 15, 16, 17 e 22) apresentaram valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - oito amostras (6, 7, 8, 11, 18, 23, 24 e 25) apresentaram valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.
- oito amostras (4, 6, 7, 8, 16, 17, 18 e 25) apresentaram os valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento não influenciou de forma significativa a propriedade de tensão de ruptura à flexão, haja vista que:

- 60,00% das amostras apresentaram maiores valores da tensão de ruptura à flexão nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparado aqueles moldados com água destilada A;
- 53,33% das amostras apresentaram maiores valores da tensão de ruptura à flexão nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 53,33% das amostras apresentaram maiores valores da tensão de ruptura à flexão nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

Os valores da tensão de ruptura à flexão variaram entre 1,05 MPa (amostra 8, moldada com água moderadamente salina M) até 8,40 (amostra 7, moldada com água altamente salina S).

b) temperatura de queima de 800°C

- quatro amostras (6, 7, 12 e 16) apresentaram os valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- duas amostras (9 e 15) apresentaram valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M;
- nove amostras (4, 8, 11, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- sete amostras (4, 9, 15, 17, 18, 22 e 23) apresentaram os valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- comparando-se os valores da tensão de ruptura à flexão entre os corpos de provas moldados com água destilada A e aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - quatro amostras (6, 7, 12 e 16) apresentaram valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - onze amostras (4, 8, 9, 11, 15, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.
- onze amostras (4, 7, 8, 11, 16, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na propriedade de tensão de ruptura à flexão, haja vista que:

- 46,67% das amostras apresentaram maiores valores da tensão de ruptura à flexão nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparado aqueles moldados com água destilada A;
- 73,33% das amostras apresentaram maiores valores da tensão de ruptura à flexão nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 73,33% das amostras apresentaram maiores valores da tensão de ruptura à flexão nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

Os valores da tensão de ruptura à flexão variaram entre 1,17 MPa (amostra 8, moldada com água moderadamente salina M) e 13,72 MPa (amostra 7, moldada com água destilada A).

c) temperatura de queima de 900°C

- cinco amostras (6, 11, 12, 17 e 25) apresentaram os valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- quatro amostras (7, 9, 23 e 24) apresentaram valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M;
- seis amostras (4, 8, 15, 16, 18 e 22) apresentaram os valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- nove amostras (4, 7, 9, 15, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- comparando-se os valores da tensão de ruptura à flexão entre os corpos de provas moldados com água destilada A e aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:

- cinco amostras (6, 11, 12, 17 e 25) apresentaram valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - dez amostras (4, 7, 8, 9, 15, 16, 18, 22, 23 e 24) apresentaram valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.
- sete amostras (4, 8, 15, 16, 18, 22 e 25) apresentaram os valores da tensão de ruptura à flexão maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na propriedade de tensão de ruptura à flexão, haja vista que:

- 60,00% das amostras apresentaram maiores valores da tensão de ruptura à flexão nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparado aqueles moldados com água destilada A;
- 66,67% das amostras apresentaram maiores valores da tensão de ruptura à flexão nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 46,67% das amostras apresentaram maiores valores da tensão de ruptura à flexão nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

Os valores da tensão de ruptura à flexão variaram entre 1,62 MPa (amostra 8, moldada com água moderadamente salina M) e 15,04 MPa (amostra 7, moldada com água moderadamente salina M).

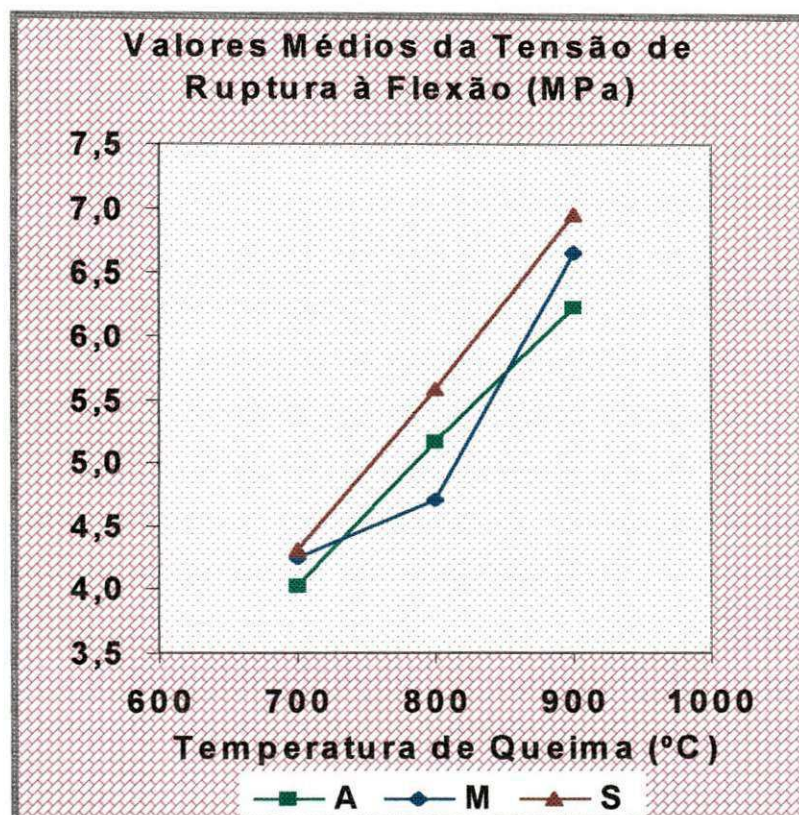


FIGURA 4.07 – Valores médios da tensão de ruptura à flexão.

Os valores médios da tensão de ruptura à flexão contidos na TABELA 4.03, estão representados na FIGURA 4.07, onde se observa que a concentração de sais na água de amassamento influenciou nesta característica cerâmica, contribuindo para que as amostras moldadas com água altamente salina S apresentassem os maiores valores da tensão de ruptura à flexão, em todas as temperaturas de queima. Através dos valores médios verifica-se também, com exceção das amostras moldadas com água moderadamente salina M e queimadas na temperatura de 800°C, que quanto maior for a concentração de sais na água de amassamento, maior será a tensão de ruptura à flexão desenvolvida pelo corpo de prova. As maiores diferenças entre os valores da tensão de ruptura à flexão dos corpos de provas moldados com os três tipos de água de amassamento, são observadas sobretudo na temperatura de queima de 900°C, entre os corpos de provas moldados com água destilada A e água altamente salina S, e são menos evidentes na temperatura de queima de 700°C.

Conseqüência direta das características apresentadas na propriedade cerâmica de porosidade aparente, pois quanto maior for a quantidade de poros presentes em uma estrutura, menor será o módulo de tensão de ruptura à flexão, neste comportamento. Entretanto, apesar das amostras moldadas com água moderadamente salina M terem apresentado os maiores índices da propriedade de porosidade aparente, com acentuada diferença em relação aos índices das amostras moldadas com água altamente salina S, na característica cerâmica de tensão de ruptura à flexão o comportamento entre os corpos de provas moldados com as duas águas de amassamento, foram praticamente iguais, diferenciando significativamente apenas nas amostras que foram queimadas na temperatura de 800°C.

4.2 – RESULTADO DOS TEORES DE SAIS SOLÚVEIS EM ARGILAS E EM CORPOS DE PROVAS DE CERÂMICA VERMELHA

4.2.1 – Resultado da Condutividade Elétrica no Extrato da Pasta de Saturação da Argila

O resultado da determinação da condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação da argila está contido na TABELA 4.04. Os valores variaram de 0,39 dS/m (amostra 24) a 11,70 dS/m (amostra 18). Os índices obtidos por Ribeiro (1996), nas mesmas amostras, variaram de 0,38 dS/m (amostra 24) a 13,49 dS/m (amostra 18).

4.2.2 – Resultado do Resíduo Sólido Seco como Sais Solúveis no Extrato da Pasta de Saturação da Argila

O resultado da determinação do resíduo sólido seco como sais solúveis no extrato da pasta de saturação da argila está contido na TABELA 4.04. Os valores variaram de 253,33 mg/l (amostra 24) a 10370,00 mg/l (amostra 18).

4.2.3 – Regressão Linear para Determinação da Porcentagem de Sais Solúveis

Um resumo da análise estatística desenvolvida através de regressão linear simples entre a condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação da argila e os sais presentes como resíduos sólidos, está representado na FIGURA 4.08. Os parâmetros correlacionados nesse procedimento, apresentaram coeficiente de correlação (R) de 0,985 e nível de significância (α) de $1,99 \times 10^{-11}$, mostrando que a correlação obtida é altamente significativa.

Através da Figura 4.08 observa-se que quando x (condutividade elétrica) for igual a zero, o fator y (concentração da solução) será igual a 30,28 mg/l. Entretanto, quando a condutividade é nula significa dizer que não existem íons uniformemente distribuídos no solvente, indicando que a concentração deve ser igual a zero. Todavia, os solos em estudo são argilas, cujos extratos devem apresentar partículas coloidais, que permaneceram na solução mesmo depois da filtração, interferindo assim nos resultados medidos da condutividade elétrica.

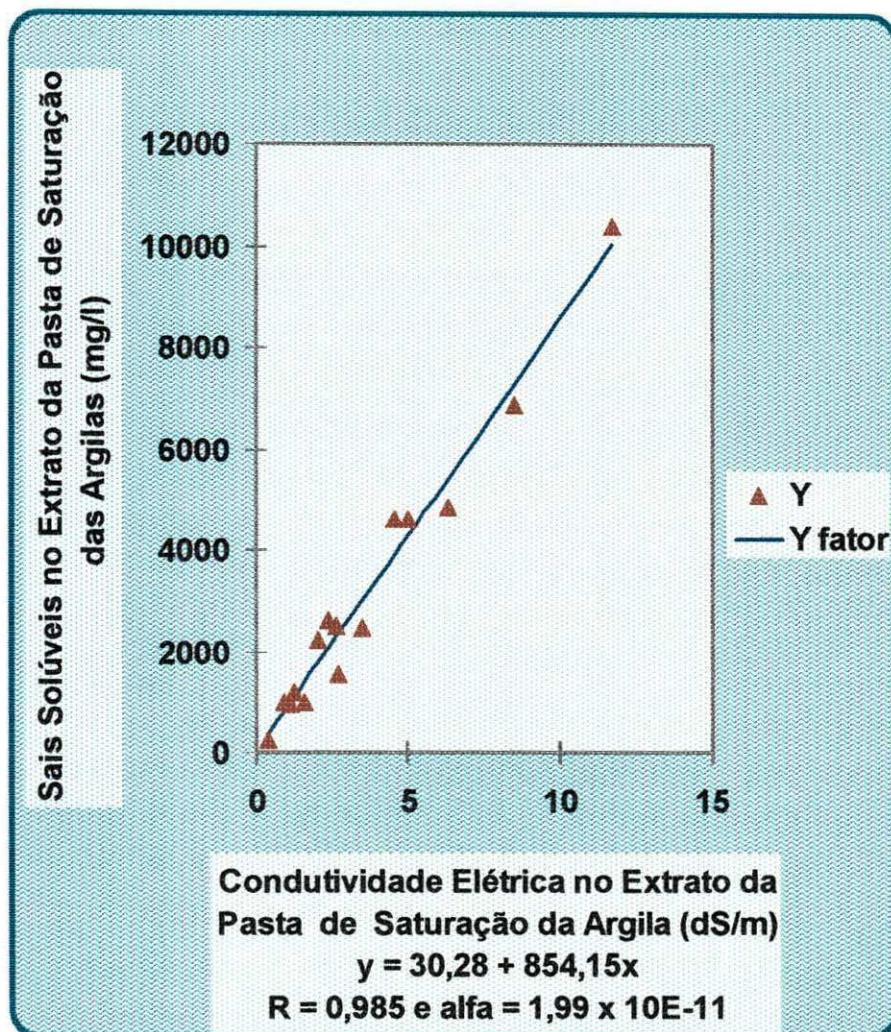


FIGURA 4.08 – Correlação estatística entre a condutividade elétrica e os sais solúveis no extrato da pasta de saturação das argilas provenientes do estado da Paraíba.

4.2.4 – Porcentagem de Sais Solúveis no Extrato da Pasta de Saturação da Argila

A constante 640 da Equação (2.02), sugerida por Richards (1954), foi substituída pela equação da reta de regressão linear, da correlação estatística, tornando-a de uso mais específico na determinação da porcentagem de sais

presentes em solos do estado da Paraíba, através de medidas da condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação destes solos. Então, substituindo-se os dados na expressão matemática (3.09), tem-se:

$$\% \text{ Sais} = \frac{(30,28 + 854,15x) \cdot PS}{10^3 \cdot 10^3} \quad (3.09)$$

Sendo,

$$y = 30,28 + 854,15x \quad (3.10)$$

onde:

- % Sais é a porcentagem de sais presentes no extrato da pasta de saturação da argila;
- PS é a porcentagem de saturação da argila, que representa o volume de água necessário para saturar uma determinada quantidade de amostra;
- y é a equação da reta da regressão linear, obtida entre os sais contidos no extrato da argila, como resíduo sólido seco, e a condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação da argila;
- x é a condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação da argila (dS/m).

A composição química dos extratos da pasta de saturação das argilas, foi a responsável pela elevação do fator de transformação de 640 para 854,15, haja vista que para uma mesma concentração de sais no extrato da pasta de saturação do solo, dependendo de sua composição iônica, pode-se obter medidas de condutividade elétrica diferentes, uma vez que os solos foram formados sob diferentes condições pedogenéticas.

Resultados podem ser estimados, com razoável precisão, sem que a constante do intercepto seja levada em consideração, logo:

$$\% \text{ Sais} = \frac{CE \cdot 854,15 \cdot PS}{10^3 \cdot 10^3} \quad (3.11)$$

onde:

- CE é a condutividade elétrica (dS/m);
- 854,15 é o coeficiente angular da reta de regressão linear, determinado para argilas do estado da Paraíba.

TABELA 4.04 – Resultados obtidos com a condutividade elétrica e percentual de sais total no extrato da pasta de saturação da argila.

<u>Resumo dos Resultados</u>					
Argilas	Condutividade Elétrica (x) [dS/m]	Sais no Extrato (Y) (mg/l)	PS (%)	% Sais Total Eq (3.09) [%]	% Sais Total Eq. (3.11) [%]
24	0,39	253,33	48,00	0,02	0,02
8	0,89	993,33	36,00	0,03	0,03
7	1,14	953,33	60,00	0,06	0,06
16	1,21	1180,00	70,00	0,07	0,07
4	1,57	993,33	50,00	0,07	0,07
9	2,05	2226,60	50,00	0,09	0,09
23	2,39	2626,60	60,00	0,12	0,12
6	2,63	2513,30	60,00	0,14	0,14
25	2,71	1533,30	60,00	0,14	0,14
22	3,46	2446,60	62,00	0,19	0,18
17	4,52	4590,00	37,33	0,15	0,14
15	4,98	4613,30	60,00	0,26	0,26
11	6,29	4820,00	60,00	0,32	0,32
12	8,46	6846,60	60,00	0,44	0,43
18	11,70	10370,00	53,33	0,53	0,53

Os resultados da porcentagem de sais calculados através das Equações (3.09) e (3.11), estão contidos na TABELA 4.04. A porcentagem de sais solúveis variou de 0,02% a 0,53%, tanto para os resultados obtidos com a Equação (3.09), como para aqueles encontrados através da Equação (3.11).

Logo, ambas as Equações (3.09) e (3.11), podem ser utilizadas indistintamente para estimar a porcentagem de sais solúveis no extrato da pasta de saturação de argilas, do estado da Paraíba, destinadas a fabricação de produtos de cerâmica vermelha. A faixa de variação obtida por Ribeiro (1996) foi de 0,01% a 0,40%.

4.2.5 – Resultado da Condutividade Elétrica no Extrato dos Corpos de Provas

Os valores da condutividade elétrica estão apresentados na TABELA 4.05. Observando-se o comportamento das amostras nas FIGURAS A2.106 a A2.120 (Anexo 2), queimadas nas temperaturas de 700°C, 800°C e 900°C, em termos de condutividade elétrica nos extratos dos corpos de provas, tem-se que:

a) temperatura de queima 700°C

- três amostras (8, 23 e 24) apresentaram os valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- duas amostras (12 e 15) apresentaram os valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M;
- nove amostras (4, 6, 7, 9, 11, 16, 17, 22 e 25) apresentaram os valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- sete amostras (6, 7, 9, 11, 12, 15 e 16) apresentaram os valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados com aqueles moldados com água destilada A, sendo encontrado também três amostras (18, 22 e 25) de valores iguais;

TABELA 4.05 – Resultados da condutividade elétrica no extrato dos corpos de provas.

Amostras	Água de Amassamento	Condutividade Elétrica (dS/m)		
		Temperatura de Queima (°C)		
		700	800	900
4	A	0,34	0,44	0,14
	M	0,31	0,33	0,08
	S	0,42	0,49	0,08
6	A	0,85	0,83	0,34
	M	1,07	0,93	0,51
	S	1,13	0,94	0,43
7	A	0,13	0,07	0,09
	M	0,15	0,09	0,08
	S	0,29	0,12	0,08
8	A	0,56	0,51	0,13
	M	0,34	0,33	0,09
	S	0,53	0,41	0,12
9	A	0,66	0,29	0,23
	M	0,70	0,23	0,12
	S	0,87	0,44	0,16
11	A	0,86	0,76	0,48
	M	0,92	0,76	0,48
	S	0,97	0,77	0,52
12	A	0,27	0,18	0,15
	M	0,39	0,37	0,14
	S	0,32	0,31	0,14
15	A	0,30	0,47	0,12
	M	0,72	0,49	0,12
	S	0,71	0,58	0,13
16	A	0,29	0,21	0,33
	M	0,32	0,32	0,14
	S	0,44	0,33	0,08
17	A	0,85	0,72	0,34
	M	0,54	0,57	0,16
	S	0,97	0,88	0,28
18	A	1,25	1,21	0,74
	M	1,25	1,04	0,60
	S	1,19	1,02	0,56
22	A	0,49	0,54	0,24
	M	0,49	0,57	0,19
	S	0,62	0,59	0,26
23	A	0,82	0,56	0,33
	M	0,50	0,55	0,12
	S	0,50	0,44	0,16
24	A	0,36	0,21	0,17
	M	0,29	0,18	0,08
	S	0,30	0,23	0,10
25	A	0,10	0,06	0,11
	M	0,10	0,04	0,04
	S	0,13	0,08	0,07

- comparando-se os valores da condutividade elétrica entre os corpos de provas moldados com água destilada A com aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - quatro amostras (8, 18, 23 e 24) apresentaram valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - onze amostras (4, 6, 7, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 22 e 25) apresentaram valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.
- onze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 16, 17, 22, 24 e 25) apresentaram os valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na condutividade elétrica, haja vista que:

- 46,67% das amostras apresentaram maiores valores da condutividade elétrica nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A, apresentando também 20,00% das amostras valores iguais ;
- 73,33% das amostras apresentaram maiores valores da condutividade elétrica nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 73,33% das amostras apresentaram maiores valores da condutividade elétrica nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

Os valores da condutividade elétrica variaram entre 0,10 dS/m (amostra 25, moldada com água destilada A e água moderadamente salina M) e

1,25 dS/m (amostra 18, moldada com água destilada A e água moderadamente salina M).

b) temperatura de queima 800°C

- três amostras (8, 18 e 23) apresentaram os valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- uma amostra (12) apresentou o valor da condutividade elétrica maior nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M;
- onze amostras (4, 6, 7, 9, 11, 15, 16, 17, 22, 24 e 25) apresentaram os valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- oito amostras (4, 8, 9, 17, 18, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da condutividade elétrica maiores nas amostras moldadas com água destilada A quando comparados aos valores das amostras moldadas com água moderadamente salina M;
- comparando-se os valores da condutividade elétrica entre os corpos de provas moldados com água destilada A com aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - três amostras (8, 18 e 23) apresentaram valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - doze amostras (4, 6, 7, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 22, 24 e 25) apresentaram valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.
- doze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 15, 16, 17, 22, 24 e 25) apresentaram os valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na condutividade elétrica, haja vista que:

- 53,33% das amostras apresentaram maiores valores da condutividade elétrica nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 80,00% das amostras apresentaram maiores valores da condutividade elétrica nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 80,00% das amostras apresentaram maiores valores da condutividade elétrica nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

Os valores da condutividade elétrica variaram entre 0,04 dS/m (amostra 25, moldada com água moderadamente salina M) e 1,21 dS/m (amostra 18, moldada com água destilada A).

c) temperatura de queima 900°C

- onze amostras (4, 7, 8, 9, 12, 16, 17, 18, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- uma amostra (6) apresentou o valor da condutividade elétrica maior nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M;
- três amostras (11, 15 e 22) apresentaram os valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- quatro amostras (4, 12, 16 e 18) apresentaram os valores da condutividade elétrica menores nos corpos de provas moldados com água destilada S;
- doze amostras (4, 7, 8, 9, 12, 16, 17, 18, 23, 22, 24 e 25) apresentaram os valores da condutividade elétrica maiores nas amostras moldadas com água destilada A quando comparados aos valores das amostras moldadas com água moderadamente salina M;

- comparando-se os valores da condutividade elétrica entre os corpos de provas moldados com água destilada A com aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - onze amostras (4, 7, 8, 9, 12, 16, 17, 18, 23, 24 e 25) apresentaram valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - quatro amostras (6, 11, 15 e 22) apresentaram valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.
- nove amostras (8, 9, 11, 15, 17, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da condutividade elétrica maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, apresentando também três amostras (4, 7 e 12) com valores iguais.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na condutividade elétrica, haja vista que:

- 80,00% das amostras apresentaram maiores valores da condutividade elétrica nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M, quando comparados aqueles moldados com água destilada A, apresentando também 20,00% das amostras valores iguais ;
- 73,33% das amostras apresentaram maiores valores da condutividade elétrica nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S;
- 60,00% das amostras apresentaram maiores valores da condutividade elétrica nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M.

Os valores da condutividade elétrica variaram entre 0,04 dS/m (amostra 25, moldada com água moderadamente salina M) e 0,74 dS/m (amostra 18, moldada com água destilada A).

Comparando-se simultaneamente o comportamento elétrico nas três temperaturas de queima, observa-se que 80,00% das amostras (4, 6, 8, 9, 11, 12, 15, 17, 18, 22, 23 e 24) apresentaram, nos três tipos de água de amassamento, valores da condutividade elétrica menores na temperatura de queima de 900°C, caracterizando a influência que este parâmetro exerce na condutividade elétrica do extrato dos corpos de provas.

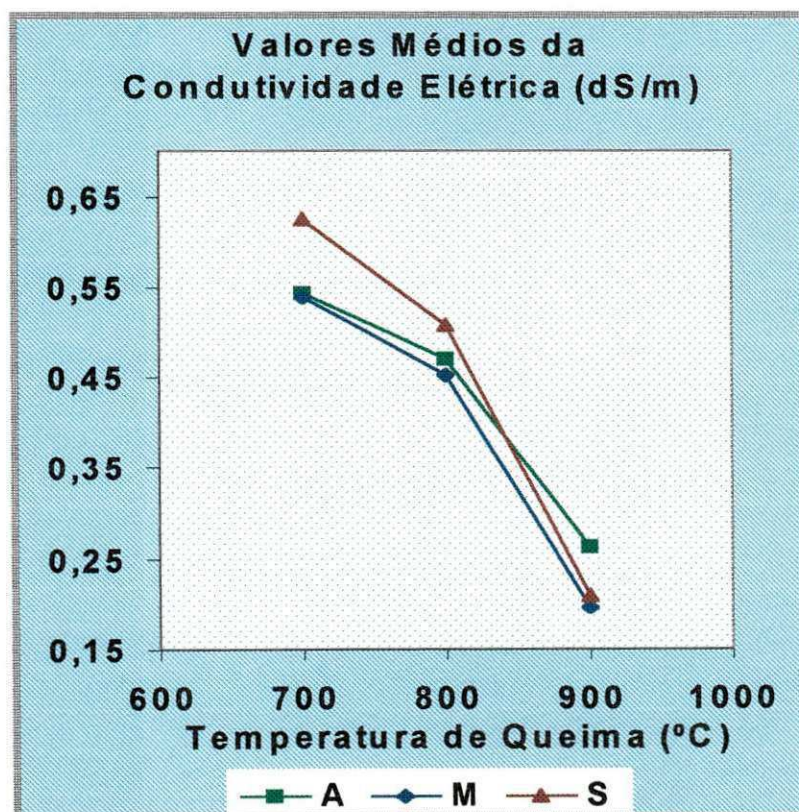


FIGURA 4.09 – Valores médios da condutividade elétrica no extrato dos corpos de provas.

Os valores médios da condutividade elétrica, bem como os respectivos desvios padrões, contidos na TABELA 4.05, estão representados na FIGURA 4.09. Observa-se que em todos os tipos de água de amassamento, os

valores da condutividade elétrica diminuíram com a elevação da temperatura de queima dos corpos de provas, evidenciando a influência que a temperatura exerce nesta característica elétrica. Verifica-se também, que nas três temperaturas de queima, os valores médios da condutividade elétrica das amostras moldadas com água altamente salina S foram inferiores aqueles valores das amostras moldadas com água destilada A, sendo que a diferença entre estes valores é mais acentuada na temperatura de queima de 700°C e quase inexistente na temperatura de queima de 900°C.

TABELA 4.05 – Valores médios da condutividade elétrica e respectivo desvios padrões no extrato retirado dos corpos de provas.

Característica	Água de Amassamento	Temperatura de queima (°C)		
		700	800	900
Condutividade Elétrica (dS/m)	A	0,54	0,47	0,26
	Desvio Padrão	0,33	0,32	0,17
	M	0,54	0,45	0,20
	Desvio Padrão	0,33	0,29	0,18
	S	0,63	0,51	0,21
	Desvio Padrão	0,33	0,29	0,16

As características apresentadas, possivelmente, são decorrentes de reações químicas que ocorrem a medida que se eleva a temperatura de queima, cuja sinterização incipiente promove a insolubilização de parte dos sais presentes nos corpos de provas. Na temperatura de queima de 700°C, praticamente os sais não foram insolubilizados fazendo com que as amostras moldadas com água destilada A e amostras moldadas com água moderadamente salina M, apresentassem valores semelhantes enquanto que, os corpos de provas moldados com água altamente salina S apresentassem os maiores valores. Todavia, na temperatura de queima de 800°C, reações químicas entre os

constituintes da matéria-prima e a água de amassamento, nas amostras moldadas com água moderadamente salina M e água altamente salina S, ocorrem fazendo com que o comportamento das amostras diferencie daquele apresentado na temperatura de queima de 700°C. Reações químicas nestas amostras, possivelmente, são mais intensas na temperatura de queima de 900°C, fazendo com que as amostras moldadas com água moderadamente salina M e água altamente salina S, apresentassem comportamento semelhante.

4.2.6 – Porcentagem de Sais Solúveis no Extrato dos Corpos de Provas

A porcentagem de sais estimada pela Equação (3.12), através da substituição dos valores da reta de regressão linear, é dada como segue:

$$\% \text{ Sais} = \frac{(30,28 + 854,15x) \cdot V \cdot 100}{10^3 \cdot P_t} \quad (3.12)$$

Sendo,

$$y = 30,28 + 854,15x \quad (3.10)$$

onde:

- % Sais é a quantidade de sais contidos no extrato retirado dos corpos de provas;
- V é o volume de água destilada utilizado para retirar o extrato dos corpos de prova (l);
- P_t é a massa dos corpos de prova (g);
- y é a equação da reta da regressão linear, obtida entre os sais contidos no

extrato da argila, como resíduo sólido seco, e a condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação da argila;

- x é a condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação da argila (dS/m).

De forma semelhante, como foi determinado para as argilas, a equação da reta de regressão linear pode ser substituída pelo coeficiente angular da reta, para que resultados aproximados sejam estimados. Logo, o teor de sais solúveis pode ser também encontrado através da Equação (3.14), assim:

$$\% \text{ Sais} = \frac{CE \cdot 854,15 \cdot V \cdot 100}{10^3 \cdot P_i} \quad (3.14)$$

onde:

- CE é a condutividade elétrica no extrato dos corpos de provas (dS/m);
- 854,15 é o coeficiente angular da reta de regressão linear.

Os valores da porcentagem de sais, obtidos através da Equação (3.12) estão apresentados na TABELA 4.06. Observando-se o comportamento das amostras através das FIGURAS A2.121 a A2.135 (Anexo 2), nas três temperaturas de queima, em termos de estimativas de porcentagem de sais, tem-se que:

a) temperatura de queima 700°C

- três amostras (8, 23 e 24) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- uma amostra (12) apresentou os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M;

- dez amostras (4, 6, 7, 9, 11, 15, 16, 17, 22 e 25) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- seis amostras (4, 8, 17, 18, 23 e 24) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nas amostras moldadas com água destilada A, quando comparados aos valores das amostras moldadas com água moderadamente salina M, enquanto quatro amostras (7, 11, 16 e 25) apresentaram valores iguais nas duas águas de amassamento;
- comparando-se os valores da porcentagem de sais entre os corpos de provas moldados com água destilada A com aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - três amostras (8, 23 e 24) apresentaram valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - onze amostras (4, 6, 7, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 22 e 25) apresentaram valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.
- doze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 15, 16, 17, 18, 22 e 25) amostras apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentaram duas amostras (23 e 24) com valores iguais.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na porcentagem de sais, haja vista que:

- 40,00% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem 26,67% das amostras com valores iguais;

- 73,33% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 80,00% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem 13,33% das amostras com valores iguais.

Os valores da porcentagem de sais variaram entre 0,03% (amostra 25, moldada com água destilada A e água moderadamente salina M) e 0,31% (amostra 18, moldada com água destilada A e água moderadamente salina M). Segundo Stahmann (1955), valores próximos de 0,50% de sais, ou menos, são suficientes para produzirem eflorescências.

b) temperatura de queima 800°C

- duas amostras (11 e 18) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- duas amostras (12 e 23) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M;
- nove amostras (4, 6, 7, 9, 15, 16, 17, 22 e 24) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- sete amostras (4, 8, 9, 11, 17, 18 e 25) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nas amostras moldadas com água destilada A quando comparados aos valores das amostras moldadas com água moderadamente salina M, enquanto três amostras (7, 22 e 24) apresentaram valores iguais;
- comparando-se os valores da porcentagem de sais entre os corpos de provas moldados com água destilada A com aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:

- quatro amostras (8, 11, 18 e 23) apresentaram valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - dez amostras (4, 6, 7, 9, 12, 15, 16, 17, 22 e 24) apresentaram valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.
- doze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 22, 24 e 25) amostras apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentaram cinco amostras (4, 7, 8, 9 e 12) com valores iguais.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na porcentagem de sais, haja vista que:

- 46,67% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem 20,00% das amostras com valores iguais;
- 66,67% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 80,00% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem 33,33% das amostras com valores iguais.

Os valores da porcentagem de sais variaram entre 0,02% (amostra 25, moldada com água moderadamente salina M) e 0,29 (amostra 18, moldada com água destilada A). Segundo Stahmann (1955), valores próximos de 0,50% de sais, ou menos, são suficientes para produzirem eflorescências.

TABELA 4.06 – Resultados da porcentagem de sais no extrato dos corpos de provas.

Amostras	Água de Amassamento	Porcentagem de Sais (%) Equação (3.12)			Porcentagem de Sais (%) Equação (3.13)		
		Temperatura de Queima (°C)					
		700	800	900	700	800	900
4	A	0,08	0,10	0,03	0,09	0,10	0,04
	M	0,07	0,08	0,02	0,08	0,08	0,03
	S	0,09	0,11	0,02	0,10	0,12	0,02
6	A	0,22	0,19	0,08	0,23	0,20	0,09
	M	0,25	0,21	0,12	0,26	0,22	0,13
	S	0,27	0,23	0,11	0,28	0,24	0,12
7	A	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03
	M	0,04	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03
	S	0,07	0,03	0,02	0,08	0,04	0,03
8	A	0,13	0,10	0,03	0,14	0,10	0,04
	M	0,08	0,07	0,02	0,09	0,07	0,03
	S	0,11	0,09	0,02	0,12	0,09	0,03
9	A	0,14	0,06	0,05	0,15	0,07	0,06
	M	0,15	0,05	0,03	0,16	0,06	0,03
	S	0,18	0,10	0,03	0,18	0,10	0,04
11	A	0,22	0,20	0,12	0,23	0,21	0,13
	M	0,22	0,19	0,11	0,23	0,20	0,12
	S	0,24	0,19	0,13	0,25	0,20	0,14
12	A	0,05	0,04	0,03	0,06	0,04	0,04
	M	0,08	0,08	0,03	0,08	0,08	0,04
	S	0,07	0,07	0,03	0,07	0,07	0,04
15	A	0,08	0,12	0,03	0,09	0,13	0,04
	M	0,18	0,13	0,03	0,19	0,14	0,04
	S	0,19	0,16	0,04	0,20	0,17	0,04
16	A	0,08	0,06	0,11	0,09	0,07	0,12
	M	0,08	0,08	0,03	0,09	0,08	0,04
	S	0,12	0,10	0,02	0,12	0,11	0,03
17	A	0,21	0,18	0,08	0,22	0,19	0,09
	M	0,12	0,15	0,04	0,13	0,16	0,04
	S	0,25	0,22	0,07	0,26	0,23	0,08
18	A	0,30	0,29	0,18	0,31	0,29	0,18
	M	0,28	0,23	0,13	0,29	0,24	0,14
	S	0,30	0,26	0,14	0,31	0,27	0,15
22	A	0,13	0,13	0,06	0,13	0,14	0,07
	M	0,14	0,14	0,04	0,15	0,14	0,05
	S	0,16	0,15	0,06	0,17	0,16	0,07
23	A	0,18	0,12	0,07	0,18	0,13	0,08
	M	0,13	0,14	0,03	0,14	0,15	0,04
	S	0,13	0,12	0,04	0,14	0,12	0,05
24	A	0,10	0,05	0,05	0,11	0,06	0,06
	M	0,08	0,05	0,02	0,09	0,06	0,03
	S	0,08	0,07	0,03	0,09	0,08	0,04
25	A	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04
	M	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02
	S	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03

c) temperatura de queima 900°C

- nove amostras (4, 8, 9, 16, 17, 18, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- uma amostra (6) apresentou o valor da porcentagem de sais maior nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M;
- uma amostra (11) apresentou o valor da porcentagem de sais maior nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- onze amostras (4, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nas amostras moldadas com água destilada A quando comparados aos valores das amostras moldadas com água moderadamente salina M, enquanto três amostras (7, 12 e 15) apresentaram valores iguais;
- comparando-se os valores da porcentagem de sais entre os corpos de provas moldados com água destilada A com aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - nove amostras (4, 8, 9, 16, 17, 18, 23, 24 e 25) apresentaram valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - duas amostras (6 e 11) apresentaram valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
 - quatro amostras (7, 12, 15 e 22) apresentaram valores da porcentagem de sais iguais nos dois tipos de água de amassamento.
- nove amostras (6, 9, 11, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) amostras apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentaram quatro amostras (7, 8, 12 e 15) com valores iguais.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na porcentagem de sais, haja vista que:

- 73,33% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem 20,00% das amostras com valores iguais;
- 60,00% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S, além de apresentarem 26,67% das amostras com valores iguais;
- 60,00% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem 26,67% das amostras com valores iguais.

Os valores da porcentagem de sais variaram entre 0,02% (amostra 4, moldada com água altamente salina S e amostra 25, moldada com água moderadamente salina M) e 0,18% (amostra 18, moldada com água destilada A). Segundo Stahmann (1955), valores próximos de 0,50% de sais, ou menos, são suficientes para produzirem eflorescências.

Comparando-se simultaneamente o comportamento dos corpos de provas, nas três temperaturas de queima, observa-se que 66,67% das amostras (4, 6, 8, 9, 11, 15, 17, 18, 22 e 23) apresentaram, nos três tipos de água de amassamento, valores da porcentagem de sais menores na temperatura de queima de 900°C, caracterizando a influência que este parâmetro exerce na porcentagem de sais do extrato dos corpos de provas, como foi verificado também na análise dos dados estimados através da Equação (3.12).

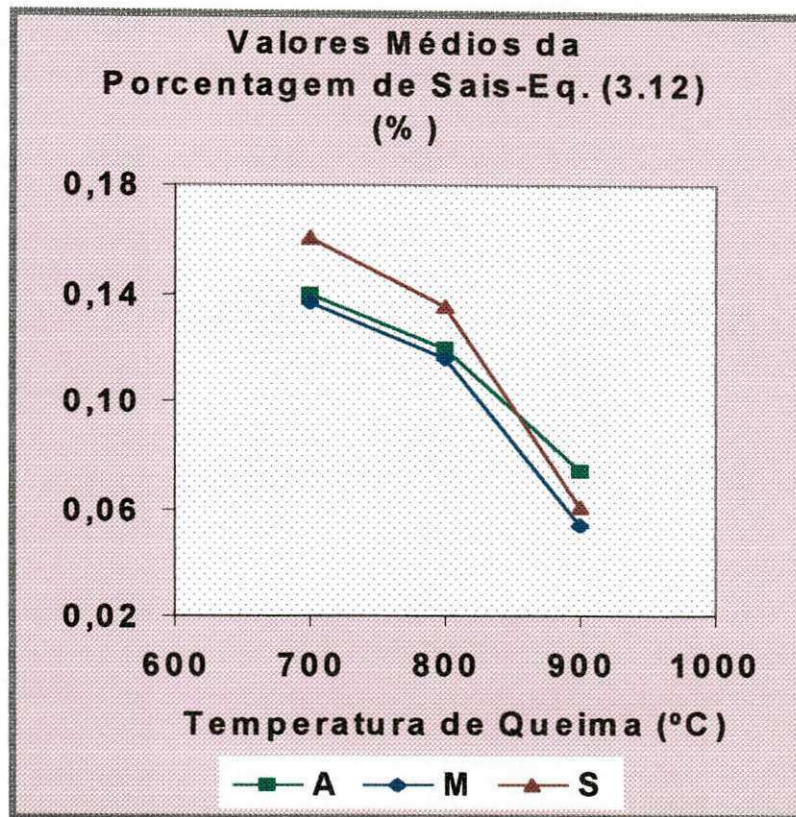


FIGURA 4.10 – Valores médios da porcentagem de sais nos extratos dos corpos de provas, estimados através da Equação (3.12).

Os valores médios da porcentagem de sais e os respectivos desvios padrões, obtidos através da Equação (3.12), estão contidos na TABELA 4.07 e representados na FIGURA 4.10. Observa-se que em todos os tipos de água de amassamento, os valores da porcentagem de sais diminuíram com a elevação da temperatura de queima dos corpos de provas, evidenciando a influência que a temperatura exerce nesta característica. Através das médias verifica-se também que nas temperaturas de queima de 700°C e 800°C, o comportamento das amostras moldadas com água destilada A e água moderadamente salina M são semelhantes e distanciam-se do comportamento apresentado pelas amostras moldadas com água altamente salina S. Todavia, ocorrem mudanças nesta característica na temperatura de 900°C, onde os comportamentos das amostras moldadas com água moderadamente salina M e S são semelhantes,

distanciando-se do comportamento apresentado pelas amostras moldadas com água destilada A.

TABELA 4.07 – Valores médios da porcentagem de sais e respectivos desvios padrões, contidos no extrato dos corpos de provas.

Porcentagem de Sais (%)	Água de Amassamento	Temperatura de queima (°C)		
		700	800	900
Equação (3.12)	A	0,13	0,11	0,06
	Desvio Padrão	0,08	0,08	0,04
	M	0,13	0,11	0,05
	Desvio Padrão	0,08	0,07	0,04
	S	0,15	0,13	0,05
	Desvio Padrão	0,08	0,07	0,04
Equação (3.13)	A	0,14	0,12	0,07
	Desvio Padrão	0,08	0,08	0,04
	M	0,14	0,12	0,05
	Desvio Padrão	0,08	0,07	0,04
	S	0,16	0,14	0,06
	Desvio Padrão	0,08	0,07	0,04

Nas temperaturas de queima de 700°C e 800°C os maiores valores médios da porcentagem de sais são observados nas amostras moldadas com água altamente salina S e os menores valores registrados pertencem às amostras moldadas com água moderadamente salina M, entretanto, na temperatura de 900°C, os índices de porcentagem de sais das amostras moldadas com água moderadamente salina M ainda são os menores, enquanto os valores da porcentagem de sais apresentados pelas amostras moldadas com água altamente salina S são iguais a estes índices, fazendo com que os números registrados para as amostras moldadas com água destilada A, sejam os mais elevados valores. As características apresentadas são consequência do

comportamento das amostras em relação às medidas de condutividade elétrica nos corpos de provas, pois são propriedades diretamente proporcionais, como pode ser observado através da Equação (3.12).

Os valores da porcentagem de sais, obtidos através da Equação (3.14) estão apresentados na TABELA 4.06. Observando-se o comportamento das amostras através das FIGURAS A2.136 a A2.150 (Anexo 2), nas três temperaturas de queima, em termos de porcentagem de sais, tem-se que:

a) temperatura de queima 700°C

- três amostras (8, 23 e 24) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- uma amostra (12) apresentou os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M;
- nove amostras (4, 6, 7, 9, 11, 15, 16, 17 e 22) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- seis amostras (4, 8, 17, 18, 23 e 24) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nas amostras moldadas com água destilada A, quando comparados aos valores das amostras moldadas com água moderadamente salina M, enquanto três amostras (11, 16 e 25) apresentaram valores iguais em nas duas águas de amassamento;
- comparando-se os valores da porcentagem de sais entre os corpos de provas moldados com água destilada A com aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - três amostras (8, 23 e 24) apresentaram valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;

- dez amostras (4, 6, 7, 9, 11, 12, 15, 16, 17 e 22) apresentaram valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S.
 - duas amostras (18 e 25) apresentaram valores da porcentagem de sais iguais nos dois tipos de água de amassamento.
- onze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 11, 15, 16, 17, 18 e 22) amostras apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem três amostras (23, 24 e 25) com valores iguais.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na porcentagem de sais, haja vista que:

- 40,00% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem 20,00% das amostras com valores iguais;
- 66,67% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A;
- 73,33% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem 20,00% das amostras com valores iguais.

Os valores da porcentagem de sais variaram entre 0,03% (amostra 7, moldada com água destilada A e amostra 25, nos três tipos de água de amassamento) e 0,31% (amostra 18, moldada com água destilada A e água altamente salina S). Segundo Stahmann (1955), valores próximos de 0,50% de sais, ou menos, são suficientes para produzir eflorescências.

b) temperatura de queima 800°C

- três amostras (8, 11 e 18) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- duas amostras (12 e 23) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M;
- nove amostras (4, 6, 7, 9, 15, 16, 17, 22 e 24) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- sete amostras (4, 8, 9, 11, 17, 18 e 25) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nas amostras moldadas com água destilada A quando comparados aos valores das amostras moldadas com água moderadamente salina M, enquanto duas amostras (7 e 24) apresentaram valores iguais;
- comparando-se os valores da porcentagem de sais entre os corpos de provas moldados com água destilada A com aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - três amostras (8, 11 e 18) apresentaram valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - onze amostras (4, 6, 8, 7, 9, 12, 15, 16, 17, 22 e 24) apresentaram valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
 - duas amostras (23 e 25) apresentaram valores da porcentagem de sais iguais nos dois tipos de água de amassamento.
- doze amostras (4, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 22, 24 e 25) amostras apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem uma amostra (11) com valores iguais.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na porcentagem de sais, haja vista que:

- 46,67% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem 13,33% das amostras com valores iguais;
- 73,33% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água destilada A, além de apresentarem 13,33% das amostras com valores iguais;
- 80,00% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem 20,00% das amostras com valores iguais.

Os valores da porcentagem de sais variaram entre 0,01% (amostra 25, moldada com água moderadamente salina M) e 0,29 (amostra 18, moldada com água destilada A). Segundo Stahmann (1955), valores próximos de 0,50% de sais, ou menos, são suficientes para produzirem eflorescências.

c) temperatura de queima 900°C

- dez amostras (4, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
- uma amostra (6) apresentou o valor da porcentagem de sais maior nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M;
- duas amostras (11 e 15) apresentaram valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
- onze amostras (4, 8, 9, 11, 16, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nas amostras moldadas com água

destilada A quando comparados aos valores das amostras moldadas com água moderadamente salina M, enquanto três amostras (7, 12 e 15) apresentaram valores iguais;

- comparando-se os valores da porcentagem de sais entre os corpos de provas moldados com água destilada A com aqueles moldados com água altamente salina S, tem-se que:
 - nove amostras (4, 8, 9, 16, 17, 18, 23, 24 e 25) apresentaram valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água destilada A;
 - três amostras (6, 11 e 15) apresentaram valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S;
 - três amostras (7, 12 e 22) apresentaram valores da porcentagem de sais iguais nos dois tipos de água de amassamento.
- oito amostras (11, 15, 17, 18, 22, 23, 24 e 25) amostras apresentaram os valores da porcentagem de sais maiores nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentaram cinco amostras (4, 7, 8, 9 e 12) com valores iguais.

De uma forma geral, nesta temperatura, a concentração de sais na água de amassamento influenciou na porcentagem de sais, haja vista que:

- 73,33% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem 20,00% das amostras com valores iguais;
- 60,00% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água destilada A, quando comparados aqueles moldados com água altamente salina S, além de apresentarem 20,00% das amostras com valores iguais;

- 53,33% das amostras apresentaram maiores valores da porcentagem de sais nos corpos de provas moldados com água altamente salina S, quando comparados aqueles moldados com água moderadamente salina M, além de apresentarem 33,33% das amostras com valores iguais.

Os valores da porcentagem de sais variaram entre 0,01% (amostra 25, moldada com água moderadamente salina M) e 0,18% (amostra 18, moldada com água destilada A). Segundo Stahmann (1955), valores próximos de 0,50% de sais, ou menos, são suficientes para produzirem eflorescências.

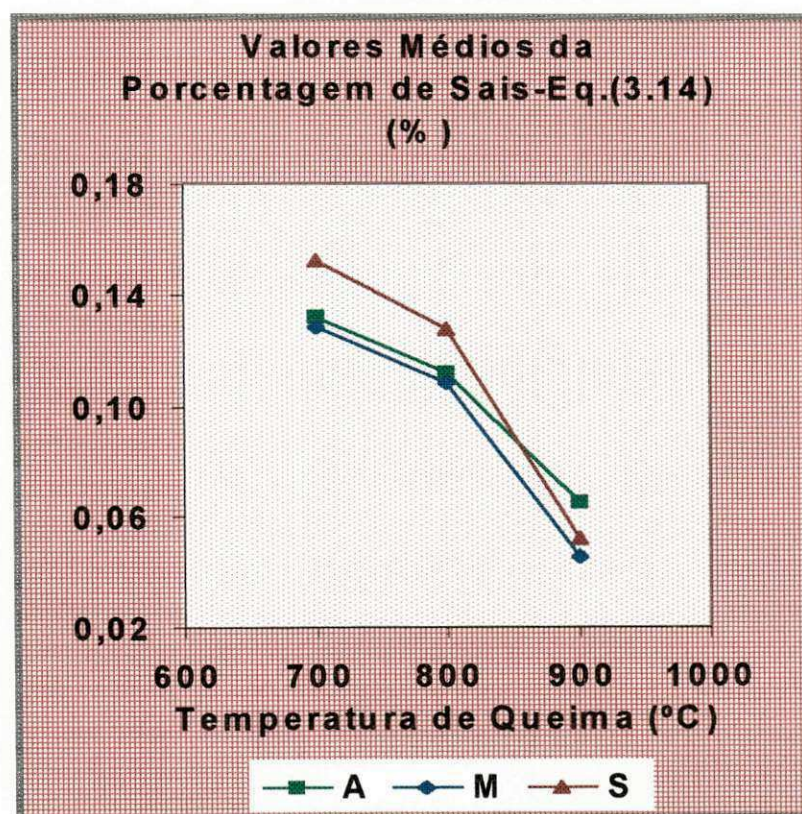


FIGURA 4.11 – Valores médios da porcentagem de sais das amostras, obtidos através da Equação (3.14).

Comparando-se simultaneamente o comportamento dos corpos de provas, nas três temperaturas de queima, observa-se que 73,33% das amostras (4, 6, 8, 9, 11, 12, 15, 17, 18, 22 e 23) apresentaram, nos três tipos de água de

amassamento, valores da porcentagem de sais menores na temperatura de queima de 900°C, caracterizando a influência que este parâmetro exerce na porcentagem de sais do extrato dos corpos de provas.

Os valores médios da porcentagem de sais, contidos na TABELA 4.07, estão representados na FIGURA 4.11. Observa-se que o comportamento geral das amostras é idêntico aquele apresentado pela média dos valores da porcentagem de sais, estimada através da Equação (3.12).

4.3 – ENSAIO DE EFLORESCÊNCIAS

Os testes de eflorescências foram realizados sob três condições denominadas de condição 1, condição 2 e condição 3. Os resultados obtidos nas três condições estão representados em termos de porcentagem de amostras, em cada nível de eflorescência, na TABELA 4.08.

4.3.1 – Condição 1 → temperatura de 24°C a 28°C e umidade relativa de 37,00% a 97,00%

Os resultados do ensaio de eflorescência realizado sob a condição 1, estão contidos na TABELA 4.09 e representados nas FIGURAS A2.151 a A2.165, onde através de uma análise, em cada temperatura de queima, pode-se fazer as seguintes observações:

TABELA 4.08 – Porcentagem de amostra em cada nível de eflorescência.

Cond.	Ensaio	Nível de Eflores.	Temperatura de Queima (°C)								
			700			800			900		
			Número de Amostras em cada Tipo de Água de Amassamento (%)								
			A	M	S	A	M	S	A	M	S
Condição 1		0	0,00	6,67	0,00	0,00	0,00	6,67	0,00	0,00	0,00
		2	13,33	26,67	60,00	13,33	26,67	53,33	13,33	20,00	66,67
		4	20,00	20,00	20,00	13,33	20,00	20,00	6,67	20,00	13,33
		6	33,33	33,33	6,67	40,00	33,33	20,00	33,33	26,67	13,33
		8	33,33	13,33	13,33	33,33	20,00	0,00	46,67	33,33	6,67
Condição 2		0	0,00	6,67	0,00	6,67	0,00	0,00	6,67	6,67	0,00
		2	13,33	13,33	13,33	26,67	40,00	26,67	53,33	66,67	66,67
		4	13,33	26,67	13,33	26,67	33,33	26,67	33,33	13,33	20,00
		6	53,33	26,67	53,33	40,00	13,33	26,67	0,00	6,67	6,67
		8	20,00	26,67	20,00	0,00	13,33	20,00	6,67	6,67	6,67
Condição 3		0	0,00	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	0,00	6,67	0,00
		2	13,33	6,67	6,67	33,33	26,67	20,00	53,33	66,67	60,00
		4	26,67	20,00	20,00	20,00	40,00	26,67	33,33	13,33	20,00
		6	40,00	20,00	46,67	33,33	20,00	46,67	13,33	6,67	20,00
		8	20,00	53,33	20,00	6,67	6,67	0,00	0,00	6,67	0,00

a) temperatura de queima de 700°C

As amostras foram distribuídas por níveis de eflorescências, para cada tipo de água de amassamento, como segue:

- água destilada A
 - nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (7 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (15, 16 e 24) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 33,33% das amostras (4, 8, 9, 12 e 22) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 33,33% das amostras (6, 11, 17, 18 e 23) apresentaram nível oito de eflorescências.

- água moderadamente salina M
 - nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (7 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (12 e 24) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 40,00% das amostras (4, 8, 16, 17, 22 e 23) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 33,33% das amostras (6, 9, 11, 15 e 18) apresentaram nível oito de eflorescências.

- água altamente salina S
 - nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (7 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 6,67% das amostras (24) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 33,33% das amostras (4, 8, 12, 16 e 23) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 46,67% das amostras (6, 9, 11, 15, 17, 18 e 22) apresentaram nível oito de eflorescências.

Ao serem somados os valores do número de amostras, na TABELA 4.08, que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, em cada tipo de água de amassamento, tem-se:

- água destilada A – 66,66%;
- água moderadamente salina M – 46,66%;
- água altamente salina S – 20,00%.

TABELA 4.09 – Resultados do ensaio de eflorescência realizado sob a condição 1*.

Amostra	Condição 1* de Realização do Ensaio de Eflorescência								
	Amostras Moldadas com Água Destilada A			Amostras Moldadas com Água Mod. Salina M			Amostras Moldadas com Água Alt. Salina S		
	Temperatura de Queima dos Corpos de Prova (°C)								
	700	800	900	700	800	900	700	800	900
4	6 b	6 b	4 b-p	6 b	6 b	6 b-p	6 b	6 b	2 b-v
6	8 b	8 b	2 a-b	8 b	8 b	6 a-b	8 b	8 b	6 a-b
7	2 b	0	2 b	2 b	2 p-v	2 b	2 b	2 b	2 a-b-p
8	6 b	4 b	2 b-p	6 b	4 b	2 b-p	6 b	6 b	2 b-p
9	6 b	4 b	2 b-p	8 b	2 b	2 b-p	8 b	6 b	2 b
11	8 b	6 b	4 b	8 b	6 b	4 b	8 b	8 b	6 a-b
12	6 b	2 a-b	2 b	4 b	6 b	2 a-b-p	6 b	4 b	2 b-p
15	4 a-b	6 b	2 a-b-p	8 b	6 b	2 b-p	8 b	8 b	4 a-b-p
16	4 b	2 a-b	2 b	6 b	4 b	4 b	6 b	4 b	2 a-b-v-p
17	8 b	6 a-b	8 b	6 a-b	8 a	4 b	8 b	8 b	4 b
18	8 b	8 b	8 a-b-v	8 b	8 b	6 b-v	8 b	8 b	8 b
22	6 b	6 b	6 b	6 b	6 b	2 a-b-p	8 b	6 b	2 b-p
23	8 b	4 b	4 a-b-p	6 b	4 b	2 a-b-p	6 b	4 b	2 a-b-p
24	4 b	2 a-b	2 b-p	4 b	2 b	2 b	4 b	2 b	2 a-b-p
25	2 b	2 b	2 b-p	2 b	2 a-b	0	2 b	2 b	2 b

* Temperatura → 24°C a 28°C e Umidade Relativa → 37,00% a 97,00%.
Cores das eflorescências: a – amarela; b – branca; p – preta; v – verde.

Comparando-se os valores obtidos observa-se que em todos os tipos de águas de amassamento, os índices do somatório diminuíram com a elevação da concentração de sais solúveis na água de amassamento, indicando que o tipo de água utilizada no processo de prensagem influencia nos níveis de eflorescências desenvolvidos em corpos de provas cerâmicos.

b) temperatura de queima de 800°C

- água destilada A

- 6,67% das amostras (7) apresentaram nível zero de eflorescências;
- 26,67% das amostras (12, 15, 16 e 24) apresentaram nível dois de eflorescências;
- 20,00% das amostras (8, 9 e 23) apresentaram nível quatro de eflorescências;
- 33,33% das amostras (4, 11, 15, 17 e 22) apresentaram nível seis de eflorescências;
- 13,33% das amostras (6 e 18) apresentaram nível oito de eflorescências.

- água moderadamente salina M

- nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
- 26,67% das amostras (7, 9, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
- 20,00% das amostras (8, 16 e 23) apresentaram nível quatro de eflorescências;
- 33,33% das amostras (4, 11, 12, 15 e 22) apresentaram nível seis de eflorescências;
- 20,00% das amostras (6, 17 e 18) apresentaram nível oito de eflorescências.

- água altamente salina S
 - nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (7, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (12, 16 e 23) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 26,67% das amostras (4, 8, 9 e 22) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 33,33% das amostras (6, 11, 15, 17 e 18) apresentaram nível oito de eflorescências.

Ao serem somados os valores do número de amostras, na TABELA 4.08, que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, em cada tipo água de amassamento, tem-se que:

- água destilada A – 73,33%;
- água moderadamente salina M – 53,33%;
- água altamente salina S – 40,00%.

Comparando-se os valores obtidos observa-se que em todos os tipos de águas de amassamento, os índices do somatório diminuíram com a elevação da concentração de sais solúveis na água de amassamento, indicando que o tipo de água utilizada no processo de prensagem influencia nos níveis de eflorescências desenvolvidos em corpos de provas cerâmicos.

c) temperatura de queima de 900°C

- água destilada A
 - nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;

- 60,00% das amostras (6, 7, 8, 9, 12, 15, 16, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
- 20,00% das amostras (4, 11 e 23) apresentaram nível quatro de eflorescências;
- 6,67% das amostras (22) apresentaram nível seis de eflorescências;
- 13,33% das amostras (17 e 18) apresentaram nível oito de eflorescências.

- água moderadamente salina M

- 6,67% das amostras (25) apresentaram nível zero de eflorescências;
- 53,33% das amostras (7, 8, 9, 12, 15, 22, 23 e 24) apresentaram nível dois de eflorescências;
- 20,00% das amostras (11, 16 e 17) apresentaram nível quatro de eflorescências;
- 20,00% das amostras (4, 6 e 18) apresentaram nível seis de eflorescências;
- nenhuma amostra apresentou nível oito de eflorescências.

- água altamente salina S

- nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
- 66,67% das amostras (4, 7, 8, 9, 12, 16, 22, 23, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
- 13,33% das amostras (15 e 17) apresentaram nível quatro de eflorescências;
- 13,33% das amostras (6 e 11) apresentaram nível seis de eflorescências;
- 6,67% das amostras (18) apresentaram nível oito de eflorescências.

Ao serem somados os valores do número de amostras, na TABELA 4.08, que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, em cada água de amassamento, tem-se:

- água destilada A – 80,00%;
- água moderadamente salina M – 60,00%;
- água altamente salina S – 20,00%.

Comparando-se os valores obtidos observa-se que em todos os tipos de águas de amassamento, os índices do somatório diminuíram com a elevação da concentração de sais solúveis na água de amassamento, indicando que o tipo de água utilizada no processo de prensagem influencia nos níveis de eflorescências desenvolvidos em corpos de provas cerâmicos.

Analisando-se os dados registrados observa-se que para a água destilada A e água moderadamente salina M, os índices do somatório do número de amostras que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, aumentaram com a elevação da temperatura de queima, enquanto que o índice das amostras moldadas com água altamente salina S permaneceu constante nas três temperaturas. Verifica-se também que os maiores índices em todas as temperaturas de queima foram obtidos em amostras moldadas com água destilada A e os menores valores, observados em amostras moldadas com água altamente salina S. Estas anotações permitem indicar que a temperatura de queima e as águas de amassamento destilada A e moderadamente salina M, interferem nos níveis de eflorescências desenvolvidos pelos corpos de provas.

4.3.2 – Condição 2 → temperatura de 75°C ± 5°C e umidade relativa de 51,00% ± 2,00%

Os resultados do ensaio de eflorescência realizado sob a condição 2, estão contidos na TABELA 4.10 e representados nas FIGURAS A2.166 a

A2.180, onde através de uma análise, em cada temperatura de queima, pode-se fazer as seguintes observações:

a) temperatura de queima de 700°C

As amostras foram distribuídas por níveis de eflorescências, para cada tipo de água de amassamento, como segue:

- água destilada A
 - nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (7 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (12 e 16) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 53,33% das amostras (4, 6, 8, 9, 15, 22, 23 e 24) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (11, 17 e 18) apresentaram nível oito de eflorescências.

- água moderadamente salina M
 - 6,67% das amostras (7) apresentaram nível zero de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 26,67% das amostras (8, 12, 16 e 22) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 26,67% das amostras (4, 15, 17 e 23) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 26,67% das amostras (6, 9, 11 e 18) apresentaram nível oito de eflorescências.

TABELA 4.10 – Resultado do ensaio de eflorescência realizado sob a condição 2*.

Amostra	Condição 2* de Realização do Ensaio de Eflorescência								
	Amostras Moldadas com Água Destilada A			Amostras Moldadas com Água Mod. Salina M			Amostras Moldadas com Água Alt. Salina S		
	Temperatura de Queima dos Corpos de Prova (°C)								
	700	800	900	700	800	900	700	800	900
4	6 b	4 b	4 b-p	6 b	4 b	2 b-p	4 b	6 b	2 b-p
6	6 b	6 b	4 a-b	8 b	8 b	6 a-b-p	8 b	8 b	6 a-b-p
7	2 b	0	0	0	2 b	2 p	2 b-v	2 b	2 p-v
8	6 b	4 b	2 b-p	4 b	2 b	2 b-p	6 b	4 b	2 b-p
9	6 b	2 b	2 b-p	8 b	2 b	2 b	8 b	6 b	2 a-b-p
11	8 b	4 b	2 b	8 b	6 b	4 b	6 b	6 b	4 a-b-p
12	4 b	2 a-b	2 b	4 b	4 b	2 b-p	6 b	4 b	2 b-v-p
15	6 a-b	6 b	2 b-p	6 b	4 b	2 b-p	6 a-b	6 b	2 b-p
16	4 b	4 a-b	4 b	4 b	2 b	2 b	6 b	4 b	2 b-p
17	8 b	6 a-b	4 b-p	6 a-b	6 a-b	2 b-p	6 b	8 b	4 b-p
18	8 b	6 b	8 b-p-v	8 a-b	8 b	8 b	8 b	8 b	8 a-b-p
22	6 b	6 b	4 b-p	4 b	4 a-b	4 b	6 b	4 b	4 b-p
23	6 b	6 b	2 a-b-p	6 b	4 b	2 b	6 b	2 b	2 b-p
24	6 b	2 a-b-p	2 b	2 b	2 b	2 p	4 b	2 b-p	2 b-p
25	2 b	2 b	2 b-p	2 b	2 b	0	2 b	2 b	2 b-p

* Temperatura → 75°C ± 5°C e Umidade Relativa → 51,00% ± 2,00%.
Cores das eflorescências: a – amarela; b – branca; p – preta; v – verde.

- água altamente salina S
 - nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (7 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (4 e 24) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 53,33% das amostras (8, 11, 12, 15, 16, 17, 22 e 23) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (6, 9 e 18) apresentaram nível oito de eflorescências.

Ao serem somados os valores do número de amostras, na TABELA 4.08, que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, em cada água de amassamento, tem-se:

- água destilada A – 73,33%;
- água moderadamente salina M – 53,33%;
- água altamente salina S – 73,33%.

Comparando-se os valores obtidos observa-se que os índices do somatório foram iguais nas amostras moldadas com água destilada A e amostras moldadas com água altamente salina S, indicando que a quantidade de sais presentes na água de amassamento não influencia nos níveis de eflorescências desenvolvidos em corpos de provas cerâmicos, nesta temperatura.

b) temperatura de queima de 800°C

- água destilada A
 - 6,67% das amostras (7) apresentaram nível zero de eflorescências;

- 26,67% das amostras (9, 12, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 26,67% das amostras (4, 8, 11 e 16) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 40,00% das amostras (6, 15, 17, 18, 22 e 23) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - nenhuma amostra apresentou nível oito de eflorescências.
- água moderadamente salina M
 - nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
 - 40,00% das amostras (7, 8, 9, 16, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 33,33% das amostras (4, 12, 15, 22 e 23) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (11 e 17) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (6 e 18) apresentaram nível oito de eflorescências.
- água altamente salina S
 - nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
 - 26,67% das amostras (7, 23, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 26,67% das amostras (8, 12, 16 e 22) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 26,67% das amostras (4, 9, 11 e 15) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (6, 17 e 18) apresentaram nível oito de eflorescências.

Ao serem somados os valores do número de amostras, na TABELA 4.08, que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, em cada água de amassamento, tem-se:

- água destilada A – 40,00%;
- água moderadamente salina M – 26,66%;
- água altamente salina S – 46,67%.

Comparando-se os valores obtidos observa-se que os índices do somatório foram aproximados nas amostras moldadas com água destilada A e amostras moldadas com água altamente salina S, indicando que o tipo de água de amassamento não influencia nos níveis de eflorescências desenvolvidos em corpos de provas cerâmicos, nesta temperatura.

c) temperatura de queima de 900°C

- água destilada A
 - 6,67% das amostras (7) apresentaram nível zero de eflorescências;
 - 53,33% das amostras (8, 9, 11, 12, 15, 23, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 33,33% das amostras (4, 6, 16, 17 e 22) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - nenhuma amostra apresentou nível seis de eflorescências;
 - 6,67% das amostras (18) apresentaram nível oito de eflorescências.

- água moderadamente salina M
 - 6,67% das mostras (25) apresentaram nível zero de eflorescências;

- 66,67% das amostras (4, 7, 8, 9, 12, 15, 16, 17, 23 e 24) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (11 e 22) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 6,67% das amostras (6) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 6,67% das amostras (18) apresentaram nível oito de eflorescências;
- água altamente salina S
 - nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
 - 66,67% das amostras (4, 7, 8, 9, 12, 15, 16, 23, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (11, 17 e 22) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 6,67% das amostras (6) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 6,67% das amostras (18) apresentaram nível oito de eflorescências.

Ao serem somados os valores do número de amostras, na TABELA 4.08, que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, em cada água de amassamento, tem-se:

- água destilada A – 6,67%;
- água moderadamente salina M – 13,34%;
- água altamente salina S – 13,34%.

Comparando-se os valores obtidos observa-se que os índices do somatório foram iguais nas amostras moldadas com água moderadamente salina M e amostras moldadas com água altamente salina S, indicando que o tipo de

água de amassamento não influencia nos níveis de eflorescências desenvolvidos em corpos de provas cerâmicos, nesta temperatura.

Em uma análise simultânea dos índices dos somatórios do número de amostras que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, nas três temperaturas de queima, observa-se que em todas as águas de amassamento, os maiores valores ocorrem na temperatura de 700°C e decrescem com a elevação da temperatura de queima, comprovando a sua influência nos níveis de eflorescências desenvolvidos em corpos de provas. Entretanto, o tipo de água de amassamento não interfere nesta característica.

4.3.3 – Condição 3 → temperatura de 90°C ± 2°C e umidade relativa de 70,00% ± 3,00%

Os resultados do ensaio de eflorescência realizado sob a condição 3, estão contidos na TABELA 4.11 e representados nas FIGURAS A2.180 a A2.195, onde através de uma análise, em cada temperatura de queima, pode-se fazer as seguintes observações:

a) temperatura de queima de 700°C

As amostras foram distribuídas por níveis de eflorescências, para cada tipo de água de amassamento, como segue:

- água destilada A
 - nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (7 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;

- 26,67% das amostras (9, 12, 16 e 24) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 40,00% das amostras (4, 8, 11, 15, 22 e 23) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (6, 17 e 18) apresentaram nível oito de eflorescências.
- água moderadamente salina M
 - 6,67% das amostras (7) apresentaram nível zero de eflorescências;
 - 6,67% das amostras (25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (12, 16 e 24) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 53,33% das amostras (4, 8, 9, 11, 15, 17, 22 e 23) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 13,33% das amostras (6 e 18) apresentaram nível oito de eflorescências.
- água altamente salina S
 - 6,67% das amostras (7) apresentaram nível zero de eflorescências;
 - 6,67% das amostras (25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (4, 16 e 24) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 46,67% das amostras (8, 11, 12, 15, 17, 22 e 23) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (6, 9 e 18) apresentaram nível oito de eflorescências.

TABELA 4.11 – Resultado do ensaio de eflorescência realizado sob a condição 3*.

Amostra	Condição 3* de Realização do Ensaio de Eflorescência								
	Amostras Moldadas com Água Destilada A			Amostras Moldadas com Água Mod. Salina M			Amostras Moldadas com Água Alt. Salina S		
	Temperatura de Queima dos Corpos de Prova (°C)								
	700	800	900	700	800	900	700	800	900
4	6 b	4 b	4 a-b	6 b	4 b	2 b-p	4 b	4 b	2 b-p
6	8 b	6 b	4 a-b	8 b	6 a-b	6 a-b-p-v	8 b	6 b	6 a-b-p
7	2 b	0	2 v	0	0	0	0	0	2 p-v
8	6 b	6 b	2 b-p	6 b	4 b	2 b-p	6 b	4 b	2 b-p
9	4 b	2 b	2 b-p	6 b	2 b	2 a-b-p	8 b	6 b	2 b-p
11	6 b	4 b-p	4 b-p	6 b	6 b	4 b	6 b	6 b	4 b-p
12	4 b	2 b	2 a-b-p	4 b	4 b	2 b-p	6 b	4 b	2 b-p
15	6 b-p	6 b	2 b-p	6 b	4 b	2 b-p	6 b	6 b	4 b-p
16	4 b	2 a-b	2 b	4 b	2 b	2 p	4 a-b	2 b	2 b-p
17	8 b	6 a-b	4 b-p-v	6 b-p	6 b	2 b-p	6 b	6 b	4 b-p-v
18	8 b	8 b-p	6 b-p-v	8 b	8 b	8 b	8 b	6 b-p	6 b-p
22	6 b	6 a-b-p	6 b-v	6 b	4 b	4 b-v	6 b	6 b	6 b-p-v
23	6 b	4 b	4 a-b-p	6 b	4 b-p	2 b	6 b	4 b	2 b-p
24	4 b	2 b-p	2 b	4 b	2 a-b	2 b-p	4 b	2 b	2 b-p
25	2 b	2 b	2 b-p	2 b	2 b	2 b-p	2 b	2 b	2 b-p

Temperatura → 90°C ± 2°C e Umidade Relativa → 70,00% ± 3,00%.

Cores das eflorescências: a – amarela; b – branca; p – preta; v – verde.

Ao serem somados os valores do número de amostras, na TABELA 4.08, que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, em cada água de amassamento tem-se:

- água destilada A – 60,00%;
- água moderadamente salina M – 66,66%;
- água altamente salina S – 66,67%.

Comparando-se os valores obtidos observa-se que os índices do somatório foram praticamente iguais nas amostras moldadas com água destilada A, água moderadamente salina M e com água altamente salina S, indicando que o tipo de água de amassamento não influencia nos níveis de eflorescências desenvolvidos em corpos de provas cerâmicos, nesta temperatura.

b) temperatura de queima de 800°C

- água destilada A
 - 6,67% das amostras (9) apresentaram nível zero de eflorescências;
 - 33,33% das amostras (9, 12, 16 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (4, 11 e 23) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 33,33% das amostras (6, 8, 15, 17,e 22) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 6,67% das amostras (18) apresentaram nível oito de eflorescências.

- água moderadamente salina M
 - 6,67% das amostras (7) apresentaram nível zero de eflorescências;
 - 26,67% das amostras (9, 16, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 40,00% das amostras (4, 8, 12, 15, 22 e 23) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (6, 11 e 17) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - 6,67% das amostras (18) apresentaram nível oito de eflorescências.

- água altamente salina S
 - 6,67% das amostras (7) apresentaram nível zero de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (16, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 26,67% das amostras (4, 8, 12 e 23) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 46,67% das amostras (6, 9, 11, 15, 17, 18 e 22) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - nenhuma amostra apresentou nível oito de eflorescências.

Ao serem somados os valores do número de amostras, na TABELA 4.08, que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, em cada água de amassamento tem-se:

- água destilada A – 40,00%;
- água moderadamente salina M – 26,67%;
- água altamente salina S – 46,67%.

Comparando-se os valores obtidos observa-se que os índices do somatório foram praticamente iguais nas amostras moldadas com destilada A e água altamente salina S, indicando que o tipo de água de amassamento não influencia nos níveis de eflorescências desenvolvidos em corpos de provas cerâmicos, nesta temperatura.

c) temperatura de queima de 900°C

- água destilada A

- nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
- 53,33% das amostras (7, 8, 9, 12, 15, 16, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
- 33,33% das amostras (4, 6, 11, 17 e 23) apresentaram nível quatro de eflorescências;
- 13,33% das amostras (18 e 22) apresentaram nível seis de eflorescências;
- nenhuma amostra apresentou nível oito de eflorescências.

- água moderadamente salina M

- 6,67% das amostras (7) apresentaram nível zero de eflorescências;
- 66,67% das amostras (4, 8, 9, 12, 15, 16, 17, 23, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
- 13,33% das amostras (11 e 22) apresentaram nível quatro de eflorescências;
- 6,67% das amostras (6) apresentaram nível seis de eflorescências;
- 6,67% das amostras (18) apresentaram nível oito de eflorescências;

- água altamente salina S
 - nenhuma amostra apresentou nível zero de eflorescências;
 - 60,00% das amostras (4, 7, 8, 9, 12, 16, 23, 24 e 25) apresentaram nível dois de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (11, 15 e 17) apresentaram nível quatro de eflorescências;
 - 20,00% das amostras (6, 18 e 22) apresentaram nível seis de eflorescências;
 - nenhuma amostra apresentou nível oito de eflorescências.

Ao serem somados os valores do número de amostras, na TABELA 4.08, que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, em cada água de amassamento tem-se:

- água destilada A – 13,33%;
- água moderadamente salina M – 13,34%;
- água altamente salina S – 20,00%.

Comparando-se os valores obtidos observa-se que os índices do somatório foram praticamente iguais nas amostras moldadas com destilada A, água moderadamente salina M e água altamente salina S, indicando que o tipo de água de amassamento não influencia nos níveis de eflorescências desenvolvidos em corpos de provas cerâmicos, nesta temperatura.

Em uma análise simultânea dos índices dos somatórios do número de amostras que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, nas três temperaturas de queima, observa-se que em todas as águas de amassamento, os maiores valores ocorreram na temperatura de 700°C e decresceram com a elevação da temperatura de queima, comprovando a sua influência nos níveis de eflorescências desenvolvidos em corpos de provas

cerâmicos. Entretanto, o mesmo comportamento não pode ser observado para o tipo de água de amassamento.

Avaliando o desempenho dos somatórios do número de amostras que apresentaram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, através da TABELA 4.12, observa-se que o comportamento desenvolvido nas condições 2 e 3, são iguais em todos os tipos de água de amassamento, apresentando uma diminuição nos valores dos somatórios com a elevação da temperatura de queima. Todavia, este comportamento difere daquelas características apresentadas pelas amostras no ensaio de eflorescências realizado sob a condição 1, cujos valores dos somatórios aumentaram com a elevação da temperatura de queima, exceto nas amostras moldadas com água altamente salina S, onde os somatórios permaneceram constantes nas três temperaturas. Isto indica que enquanto no ensaio de eflorescência realizado sob a condição 1 em meio ambiente, o número de amostras moldadas com água destilada A e água moderadamente salina M, que apresentaram os níveis seis e oito de eflorescências, aumentaram com a elevação da temperatura de queima, nos ensaios de eflorescência realizado sob as condições 2 e 3 em câmara climatizada, o número de amostras que desenvolveram eflorescências fortes, diminuiram com a elevação da temperatura, em todos os tipos de água de amassamento. Através da Tabela 4.8 pode-se observar que o número de amostras que desenvolveram eflorescências seis e oito, para aquelas moldadas com água destilada A e água moderadamente salina M, nas condições 2 e 3, reduziram nas temperaturas de queima de 800°C e 900°C, principalmente o número de amostras que desenvolveram o nível oito. Os valores médios da absorção de água e porosidade aparente, como visto anteriormente, indicaram que estes índices, com exceção das amostras moldadas com água destilada A e queimadas na temperatura de 800°C na propriedade de absorção de água, aumentaram com a elevação da temperatura de queima e apresentaram as maiores médias nas amostras moldadas com água moderadamente salina M e menores índices nas amostras moldadas com água altamente salina S. Como um aumento nos valores da porosidade aparente e da absorção de água contribui, de acordo com a teoria, para uma formação maior de eflorescências o

comportamento desenvolvido pelas amostras no ensaio de efluorescência realizado sob a condição 1, é perfeitamente justificável pelas características apresentadas por estas propriedades cerâmicas. Todavia, não justifica o desempenho das amostras nos ensaios de efluorescências realizados sob as condições 2 e 3. Entretanto, estas condições são bem mais severas do que a condição 1, pois além das temperaturas serem bem mais elevadas, $75^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ e $91^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ respectivamente, na câmara climatizada dois tipos de transporte de massa estão envolvidos, difusão e convecção, enquanto que no meio ambiente apenas existe a difusão, pois o local de realização do ensaio de efluorescência (condição 1) era fechado, permitindo pouca circulação de ar de modo que o transporte de massa de água por convecção fosse desprezado, prevalecendo apenas o transporte de massa de água por difusão. Além destas considerações foram observados, durante os ensaios de efluorescências realizados sob as condições 2 e 3, que inúmeros corpos de provas não apresentaram umidade na parte superior que estava em contato com o ar da câmara climatizada. De acordo com a literatura, este comportamento ocorre quando a velocidade de migração da solução através dos poros da estrutura é mais baixa do que a velocidade de evaporação, de forma que na superfície não chegue solução. Logo, os íons solúveis são deixados em uma região próxima à superfície, onde uma zona seca de espessura δ é formada, decorrente da cristalização dos sais, sendo denominadas de subefluorescências. Por esta razão é que nas condições 2 e 3 de realização dos ensaios de efluorescências, foram observados sobretudo nas temperaturas de queima de 800°C e 900°C , em todos os tipos de água de amassamento, uma diminuição na quantidade de amostras que desenvolveram os níveis mais fortes de efluorescências, seis e oito, enquanto que na condição 1 ocorreu uma elevação no número de amostras que desenvolveram estes níveis nas mesmas temperaturas, nas amostras moldadas com água destilada A e água moderadamente salina M.

TABELA 4.12 – Somatório da porcentagem de amostras que desenvolveram os níveis de eflorescências mais fortes, seis e oito.

Condição do Ensaio	Água de Amassamento	Somatório dos níveis seis e oito (%)		
		Temperatura de Queima (°C)		
		700	800	900
Condição 1 T → 24°C a 28°C UR → 37% a 97%	Água Destilada A	66,66	73,33	80,00
	Água Mod. Salina M	46,66	53,33	60,00
	Água Alt. Salina S	20,00	20,00	20,00
Condição 2 T → 75°C ± 5°C UR → 51% ± 2%	Água Destilada A	73,33	40,00	6,67
	Água Mod. Salina M	53,34	26,66	13,34
	Água Alt. Salina S	73,33	46,67	13,34
Condição 3 T → 91°C ± 2°C UR → 70% ± 3%	Água Destilada A	60,00	40,00	13,33
	Água Mod. Salina M	66,66	26,67	13,34
	Água Alt. Salina S	66,67	46,67	20,00

Pelas razões anteriormente citadas, os ensaios de eflorescências devem ser realizados sob a condição 1, pois os ensaios de eflorescências desenvolvidos sob as condições 2 e 3, proporcionam a formação de subeflorescências que prejudicam os resultados finais.

As cores observadas nas eflorescências desenvolvidas nos corpos de provas, estão apresentadas na TABELA 4.13. A distribuição do número de amostras, em cada nível de eflorescência, mostra que a cor branca, com exceção das amostras moldadas com água altamente salina S, queimadas na temperatura de 900°C, sob as condições 2 e 3, é predominante em todas as situações. A outra cor bastante desenvolvida é a preta, observada sobretudo em amostras queimadas na temperatura de 900°C. Este comportamento é verificado nas três condições de realização do ensaio de eflorescências. Todavia um aumento no número de amostras que desenvolveram sais eflorescentes pretos, é conferido nas condições 2 e 3, principalmente naquelas amostras moldadas com água altamente salina S e queimadas na temperatura de 900°C. As cores amarela e verde são menos expressivas, mostrando uma distribuição quase que uniforme

nas temperaturas de queima. Entretanto, o número de amostras que apresentou sais eflorescentes amarelo foi superior, no ensaio de eflorescência realizado sob a condição 1.

TABELA 4.13 – Distribuição do número de amostras por cores de eflorescências.

Condição de Realização do Ensaio	Cores das Eflorescências	Tipos de Água de Amassamento								
		Água Destilada			Água Mod. Salina			Água Alt. Salina		
		A			M			S		
		Temperatura de Queima °C								
		700	800	900	700	800	900	700	800	900
Condição 1 T → 24 °C a 28°C UR → 31% a 97%	Amarela – a	1	4	4	1	2	4	0	0	7
	Branca – b	15	14	15	15	13	14	15	15	15
	Preta – p	0	0	7	0	1	7	0	0	8
	Verde – v	0	0	1	0	1	4	0	0	2
Condição 2 T → 75°C ± 5°C UR → 51% ± 2%	Amarela – a	1	4	2	2	2	1	1	0	4
	Branca – b	15	14	14	14	15	12	15	15	14
	Preta – p	0	1	9	0	0	8	0	1	15
	Verde – v	0	0	1	0	0	0	1	0	2
Condição 3 T → 90°C ± 2°C UR → 70% ± 3%	Amarela – a	0	3	4	0	2	2	1	0	1
	Branca – b	15	14	14	14	14	13	14	14	14
	Preta – p	1	4	9	1	1	10	0	1	15
	Verde – v	0	0	4	0	0	2	0	0	3

4.4 – ANÁLISE QUÍMICA

Os resultados obtidos no ensaio de análise química, efetuado na água moderadamente salina M e na água altamente salina S, estão contidos na TABELA 4.14. Estes resultados indicam que tanto na água moderadamente salina M, como na água altamente salina S, existe uma predominância dos cátions Ca^{2+} e Na^+ , e do ânion Cl^- .

TABELA 4.14 – Resultados da análise química da água moderadamente salina M e da água altamente salina S.

Tipo de Água de Amassamento	Cátions (meq/l)				
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Total
Moderadamente Salina M	64,60	38,60	150,00	0,90	254,10
Altamente Salina S	150,13	89,90	348,60	2,11	590,74
	Ânions (meq/l)				
	CO_3^{2-}	CO_3H^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Total
Moderadamente Salina M	0,00	2,20	401,02	0,13	403,35
Altamente Salina S	0,00	5,06	937,25	0,29	942,60
CE * (dS/m)					
Moderadamente Salina M	19,60				
Altamente Salina S	45,00				

* CE – Condutividade elétrica.

CAPÍTULO V

5.0 – CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas nos ensaios cerâmicos e de determinação dos teores e efeitos dos sais solúveis, em argilas e cerâmica vermelha, realizados em corpos de provas produzidos com argilas destinadas à fabricação de produtos de cerâmica vermelha, conformados com águas de amassamento com diferentes concentrações de sais.

5.1 – ENSAIOS CERÂMICOS

As conclusões obtidas nos ensaios cerâmicos são listadas de acordo com cada tipo de ensaio, dadas como segue.

5.1.1 – Umidade de Prensagem

Através das análises efetuadas pelo comportamento das amostras e dos valores médios calculados, pode-se concluir que a umidade de prensagem é

fortemente influenciada pela concentração de sais na água de amassamento, apresentando valores maiores a medida que se tem uma elevação da concentrações de sais solúveis.

5.1.2 – Retração Linear de Secagem

Através das análises efetuadas pelo comportamento das amostras e dos valores médios calculados, pode-se concluir que a retração linear de secagem é fortemente influenciada pela concentração de sais na água de amassamento, apresentando valores maiores a medida que se tem uma elevação da concentrações de sais solúveis.

5.1.3 – Retração Linear de Queima

Através das análises efetuadas pelo comportamento das amostras e valores médios calculados, em relação à retração linear de queima, pode-se concluir que nas temperaturas de queima de 800°C e 900°C a concentração de sais na água de amassamento exerceu influência sobre esta propriedade, sendo observado que a elevação da concentração de sais na água de amassamento, proporciona um aumento nos valores positivos da retração linear, em cada temperatura, ocasionando também, a medida em que a temperatura de queima de corpos de provas aumenta, uma elevação dos valores positivos da retração linear de queima, acentuando mais ainda o fenômeno de retração térmica. Contudo, na temperatura de queima de 700°C esta propriedade cerâmica não foi influenciada pela concentração de sais na água de amassamento.

5.1.4 – Porosidade Aparente

Através das análises efetuadas pelo comportamento das amostras e valores médios calculados, em relação à porosidade aparente, pode-se concluir que nas temperaturas de queima de 700°C, 800°C e 900°C a concentração de sais na água de amassamento, exerceu influência considerável nesta propriedade cerâmica, evidenciando que os valores mais elevados foram obtidos nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M e os menores valores foram registrados nas amostras moldadas com água altamente salina S.

Pode-se concluir também que a temperatura de queima apresentou influência considerável nesta propriedade cerâmica, pois os valores médios da porosidade aparente aumentaram com a elevação da temperatura, nas amostras moldadas com água destilada A, água moderadamente salina M e água altamente salina S.

5.1.5 – Absorção de Água

Através das análises efetuadas pelo comportamento das amostras e valores médios calculados, em relação à absorção de água, pode-se concluir que nas temperaturas de queima de 700°C, 800°C e 900°C a concentração de sais na água de amassamento exerceu influência considerável nesta propriedade cerâmica, sendo os maiores valores registrados nas amostras moldadas com água moderadamente salina M e os menores índices observados nas amostras moldadas com água altamente salina S.

A influência da temperatura de queima nesta propriedade cerâmica também é significativa podendo-se concluir que, com exceção das amostras moldadas com água destilada A e queimadas na temperatura de 800°C, a

elevação da temperatura de queima proporciona um aumento nos valores médios da absorção de água, em todas as águas de amassamento.

5.1.6 – Massa Específica Aparente

Através das análises efetuadas pelo comportamento das amostras e valores médios calculados, em relação à massa específica aparente, pode-se concluir que nas temperaturas de queima de 700°C, 800°C e 900°C a concentração de sais na água de amassamento, exerceu influência considerável na propriedade de massa específica aparente, evidenciando que os valores mais elevados foram obtidos nos corpos de provas moldados com água moderadamente salina M e os menores valores foram registrados nas amostras moldadas com água destilada A.

Pode-se concluir também que a temperatura de queima não influencia nesta propriedade cerâmica, pois os valores médios permaneceram praticamente inalterados chegando a índices constantes nas temperaturas de 700°C e 900°C, nas amostras moldadas com água destilada A e água altamente salina S.

5.1.7 – Tensão de Ruptura à Flexão

Através das análises efetuadas pelo comportamento das amostras e valores médios calculados, em relação à tensão de ruptura à flexão, pode-se concluir que a concentração de sais na água de amassamento exerceu influência considerável apenas nas temperaturas de queima de 800°C e 900°C,

evidenciando que os valores mais elevados foram registrados nos corpos de provas moldados com água altamente salina S em todas as temperaturas de queima, enquanto que os menores índices são verificados sobretudo nas amostras moldadas com água destilada A.

Pode-se concluir também, que a temperatura de queima influencia consideravelmente nesta propriedade cerâmica, pois os valores médios da tensão de ruptura à flexão, com exceção das amostras moldadas com água moderadamente salina M e queimada na temperatura de 800°C, aumentaram com a elevação da temperatura, em todos os tipos de água de amassamento, bem como, as maiores diferenças entre estes índices foram obtidas na temperatura de queima de 900°C.

5.2 – TEORES DE SAIS SOLÚVEIS EM ARGILAS E EM CORPOS DE PROVAS DE CERÂMICA VERMELHA

5.2.1 – Condutividade Elétrica no Extrato da Pasta de Saturação da Argila

Com os resultados obtidos neste ensaio, pode-se concluir que a condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação das argilas, variaram de 0,39 dS/m até 11,70 dS/m, correspondendo respectivamente as amostras 24 e 18, existindo apenas pequenas diferenças entre os índices encontrados por Ribeiro (1996).

5.2.2 – Resíduo Sólido Seco como Sais Solúveis no Extrato da Pasta de Saturação da Argila

O resultado da determinação do resíduo sólido seco como sais solúveis, presentes no extrato da pasta de saturação das argilas, permite concluir que os valores registrados variaram entre 253,33 mg/l e 10370,00 mg/l, correspondendo respectivamente às amostras 24 e 18 e coincidindo com as amostras que apresentaram os índices extremos da condutividade elétrica nos extratos.

5.2.3 – Regressão Linear para Determinação da Porcentagem de Sais Solúveis

O coeficiente de correlação (R) de 0,985 e nível de significância (α) de $1,99 \times 10^{-11}$ encontrados nesta correlação, permite concluir que a regressão linear simples entre a condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação da argila e os sais presentes como resíduos sólidos secos, é altamente significativa. A equação da reta resultante desta análise estatística é dada como segue:

$$y = 30,28 + 854,15x \quad (3.11)$$

5.2.4 – Porcentagem de Sais Solúveis no Extrato da Pasta de Saturação da Argila

Dos estudos realizados, pode-se concluir que a porcentagem de sais

na argila pode ser calculada indistintamente através das equações (3.09) e (3.11), descritas como segue:

$$\% \text{ Sais} = \frac{(30,28 + 854,15x) \cdot PS}{10^3 \cdot 10^3} \quad (3.09)$$

Sendo:

$$y = 30,28 + 854,15x \quad (3.10)$$

onde:

- % Sais é a quantidade de sais presentes no extrato da pasta de saturação da argila;
- PS é a porcentagem de saturação da argila, que representa o volume de água necessário para saturar uma determinada quantidade de amostra;
- y é a equação da reta da regressão linear, obtida entre os sais contidos no extrato da argila, como resíduo sólido seco, e a condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação da argila;
- x é a condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação da argila (dS/m).

Ou ainda,

$$\% \text{ Sais} = \frac{CE \cdot 854,15 \cdot PS}{10^3 \cdot 10^3} \quad (3.11)$$

onde:

- CE é a condutividade elétrica (dS/m);
- 854,15 é o coeficiente angular da reta de regressão linear;

Em relação aos índices encontrados por Ribeiro (1996), que variaram entre 0,01% e 0,40%, conclui-se que os valores obtidos pelas Equações (3.09) e (3.11), cujo valores variaram entre 0,02% a 0,53%, são mais elevados.

5.2.5 – Condutividade Elétrica no Extrato dos Corpos de Provas

Através das análises efetuadas pelo comportamento das amostras em relação à condutividade elétrica no extrato dos corpos de provas, pode-se concluir que nas temperaturas de queima de 700°C, 800°C e 900°C, a concentração de sais na água de amassamento, exerceu influência considerável nesta propriedade. Analisando-se os valores médios calculados conclui-se também que, os índices médios da condutividade elétrica no extrato dos corpos de provas, diminuíram com a elevação da temperatura de queima, em todos os tipos de água de amassamento, bem como, na temperaturas de queima mais baixa, 700°C, o comportamento das amostras moldadas com água destilada A e água moderadamente salina M são semelhantes e distanciam-se do comportamento apresentado pelas amostras moldadas com água altamente salina S. Todavia, esta característica muda a medida que a temperatura de queima se eleva, como pode ser observado na temperatura de 900°C, onde os comportamentos das amostras moldadas com água moderadamente salina M e S são semelhantes, distanciando-se do comportamento apresentado pelas amostras moldadas com água destilada A.

5.2.6 – Porcentagem de Sais Solúveis no Extrato dos Corpos de Provas

Através das análises efetuadas pelo comportamento das amostras, pode-se concluir que os valores da porcentagem de sais no extrato dos corpos de provas podem ser calculados tanto pela Equação 3.12 como pela Equação 3.14. Pode-se concluir também, através dos valores médios, que a temperatura de queima apresentou influência considerável nesta propriedade, pois as médias da porcentagem de sais no extrato dos corpos de provas, diminuíram com esta temperatura, em todos os tipos de água de amassamento, permitindo na temperatura de queima mais baixa, 700°C, um comportamento onde as amostras moldadas com água destilada A e água moderadamente salina M são semelhantes e distanciam-se das características apresentadas pelas amostras moldadas com água altamente salina S. Todavia, esta característica muda a medida que a temperatura de queima se eleva, como pode ser observado na temperatura de 900°C, onde os comportamentos das amostras moldadas com água moderadamente salina M e S são semelhantes, distanciando-se do comportamento apresentado pelas amostras moldadas com água destilada A.

5.3 – ENSAIO DE EFLORESCÊNCIAS

A análise do ensaio de eflorescência foi efetuada, nas três condições, através do somatório dos níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, podendo-se concluir que a condição 1 é a mais adequada para a realização deste ensaio apresentando as características como segue.

5.3.1 – Condição 1 → temperatura de 24°C a 28°C e umidade relativa de 37,00% a 97,00%

Sob esta condição pode-se concluir que nas temperaturas de queima de 700°C, 800°C e 900°C, os corpos de provas moldados com água destilada A, água moderadamente salina M e água altamente salina S, apresentaram os índices do somatório do número de amostras que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, diminuindo com a elevação da concentração de sais solúveis na água de amassamento, indicando que a quantidade de sais presentes na água utilizada no processo de prensagem, influencia significativamente nos níveis de eflorescências desenvolvidos em corpos de provas cerâmicos.

Analisando-se os valores obtidos conclui-se que para a água destilada A e água moderadamente salina M, os índices do somatório do número de amostras que desenvolveram os níveis mais fortes de eflorescências, seis e oito, aumentaram com a elevação da temperatura de queima, enquanto que o índice das amostras moldadas com água altamente salina S permaneceu constante nas três temperaturas. Conclui-se também, que os maiores índices em todas as temperaturas de queima foram obtidos em amostras moldadas com água destilada A e os menores valores, observados em amostras moldadas com água altamente salina S. Estas anotações permitem indicar que a temperatura de queima e as águas de amassamento destilada A e moderadamente salina M, interferem nos níveis de eflorescências desenvolvidos pelos corpos de provas.

Em relação às cores dos depósitos de sais formados nos corpos de provas, pode-se concluir que sais eflorescentes brancos são predominantes em amostras moldadas com água destilada A, água moderadamente salina M e água altamente salina S, em todas as temperaturas de queima. Pode-se concluir também, que a outra cor bastante desenvolvida é a preta, observada sobretudo em amostras queimadas na temperatura de 900°C. As cores amarela e verde são menos expressivas, mostrando uma distribuição quase que uniforme nas temperaturas de queima.

5.3.2 – Condição 2 → temperatura de 75°C ± 5°C e umidade relativa de 51,00% ± 2,00%

Analisando o ensaio de eflorescência realizado sob a condição 2 pode-se concluir que não foram revelados resultados satisfatórios, não sendo portanto, recomendado.

5.3.3 – Condição 3 → temperatura de 90°C ± 2°C e umidade relativa de 70,00% ± 3,00%

Analisando o ensaio de eflorescência realizado sob a condição 3 pode-se concluir que não foram revelados resultados satisfatório, não sendo portanto, recomendado.

5.4 – ANÁLISE QUÍMICA

Os resultados da análise química permitem concluir que tanto na água moderadamente salina M, como na água altamente salina S, existe uma predominância dos cátions Ca^{2+} e Na^+ , e do ânion Cl^- .

CAPÍTULO VI

6.0 – SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

As seguintes sugestões são indicadas:

- estudos devem ser desenvolvidos com o objetivo de determinar ou aperfeiçoar o método de extração de sais solúveis em corpos de provas cerâmicos ou produtos acabados, de modo que a quantidade de sais, presentes no extrato, seja determinado através da condutividade elétrica;
- investigações sobre a mineralogia dos depósitos de sais formados devem ser efetuadas, para assim averiguar, além dos efeitos de cristalização, os efeitos de expansão térmica e higroscópica neste sais.
- averiguar a atuação de sais solúveis em outras matérias-primas cerâmicas como ball-clays, filitos cerâmicos, etc.;
- estudar a influência que a concentração de sais solúveis na água de amassamento exerce nas propriedades cerâmicas e eflorescentes de corpos de provas queimados em temperaturas mais elevadas;
- desenvolver estudos de modo que o nível de eflorescência, desenvolvido em corpos de prova, seja descrito pelo método de análise fatorial;
- investigar o comportamento apresentado nesta pesquisa pelos corpos de provas moldados com água destilada A e água moderadamente salina M, em relação as propriedades cerâmicas de porosidade aparente e absorção de água;
- investigar as reações químicas que ocorrem entre a argila e a água de amassamento, em diversas temperaturas;

- desenvolver experimentos de campo utilizando tijolos industriais, com o objetivo de investigar o nível de eflorescência desenvolvido e comparar os resultados obtidos, com aqueles determinados em escala laboratorial;
- estudar a influência que a concentração de sais solúveis, na água de amassamento, exerce em tijolos queimados nas temperaturas de 700°C, 800°C e 900°C e comparar os resultado obtidos com aqueles determinados em escala laboratorial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Telha cerâmica-determinação da massa e da absorção de água. NBR 8947. Rio de Janeiro, 1985.
- ANDEREGG, F. O. The mechanism of corrosion of portland cement concrete with special reference to the role of crystal pressure. J. Am. Conc. Inst., 25, p. 332-343, 1929.
- _____ Efflorescence. ASTM Bulletin, nº 185, p. 155-161, out. 1952.
- APHA. **Turbidimetric method (SO_4^{2-}), Standard methods for the examination of water and wastewater.** 17. ed. Washington, 1989.
- ASTM. C 67-92a, **Standard test methods of sampling and testing brick and structural clay tile**, 1992.
- ASTM D – 790/1986. **Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials**, Annual Book of ASTM Standards, Section 8, Plastics, v. 08.01, 1988.
- AUDRY, P., SUASSUNA, J. A Salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino. Recife, CNPQ 1995.
- BARZAGHI, L. Eflorescência em ladrilhos esmaltados. Cerâmica, v. 29, n. 164, p 187-190, 1983.

- BARZAGHI, L., SALGE, A. Resistência à flexão e moldagem de argilas. Cerâmica, v. 28, n. 151, p. 286, 1982.
- BAUER, R. J. F. Falhas em revestimentos. Argamassas industrializadas, usos e desempenhos. Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregado, CB-18, ABNT, São Paulo, 1993.
- BINDA, L., BARONIO, G. Measurement of the resistance to deterioration of old and new bricks by means of accelerated aging test. Durability of Building Materials, n. 2, p. 139-154, 1983.
- _____. Mechanisms of masonry decay due to salt crystallization. Durability of Building Materials, n. 4, p. 227-240, 1986.
- BROWNELL, W. E. Application of new technique to the solution of na efflorescence problem. J. Am. Cer. Soc., v. 33, n. 12, p 360-363, 1950.
- _____. Efflorescence resulting from pyrite in clay raw materials. J. Am. Cer. Soc., v. 41, n. 7, p. 261-266, 1958-a.
- _____. Efflorescence resulting from sulfates in clay raw materials. J. Am. Cer. Soc., v. 41, n. 8, p. 310-314, 1958-b.
- CAMPOS, L. F. A., FERREIRA, H. C., MACEDO, R. S., KIYOHARA, P. K. Características de plasticidade de argilas para uso em cerâmica vermelha ou estrutural. Cerâmica (No prelo).
- CORDEIRO, G. **Considerações gerais sobre salinidade em áreas irrigadas**. Petrolina: 1978.
- CHATTERJI, A. K., DHARIYAL, K. D. Efflorescence in brickwork: part I – movement of salts through bricks. J. Sc. Ind. Research, v. 17, n. 8, p. 311-317, 1958.

- CHIN, I. R., PETRY, L. Design and testing to reduce efflorescence potencial In new brick masonry walls. Astm Spec. Tech. Publ., v. 1180, p. 3-17, 1993.
- DAY, R. W. Moisture migration through concrete floor slabs. J. of Performance of Constructed Facilities, v. 6, n. 2, nº 1, 1992.
- DVELY III, R. W. Osmotic blistering of coatings and linings applied to concrete surfaces. Coatings & Linings, n. 5, p. 42-44, 1994.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. Rio De Janeiro, 1979. Parte 2 – Análises Químicas, Mét. 2.24 a 2.41.
- FIEP. Catálogo das indústria do estado da Paraíba. Campina Grande, 1994.
- GRIMSHAW, R. W. **The chemistry and physics of clays and allied ceramic materials**. Londres: Ernest Benn, p. 38-56, 1971.
- HAMMER, A. J. You can eliminate green efflorescence. Brick & Clay Record, v. 123, n. 3, p. 37-85, 1953.
- JACKSON, F. G. Descriptive bibliography of scumming and efflorescence. Am. Cer. Soc. Bul., v. 4, n. 8, p. 376-401, 1925.
- KLEINLOGEL, A. et. al. **Influências físico-químicas sobre los hormigones en masa y armados**. Barcelona: Labor, p.151-260, 1955.
- KNÖFEL, D. K., HOFFMANN, D., SNETHLAGE, R. Physico-chemical weathering reactions as a formulary for time-lapsing ageing tests. Materials and Structures, v. 20, p. 127-145, 1987.
- KOLLMANN, V. H., STRÜBEL, G. Investigations on efflorescence and expansion phenomena due to sulphates. Betonwerk + Fertigteil-Techn'k, Heft, Giessen; n. 10, p. 609-613, 1978.

- LARSEN, E. S., NIELSEN, C. B. Decay of bricks due to salt. Materials and Structures, v. 23, p. 16-25, 1990.
- LEWIN, S. Z. **The mechanism of masonry decay through crystallization. conservation of historic stone buildings and monuments.** Washington: p. 2-4, 1981.
- MEHTA, P. K. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, p. 26-163, 1994.
- MUZZIN, G. Les efflorescences dans les maçonneries en briques. C. S. T. C. Revue, v. 4, p. 2-11, 1982.
- REYNOLDS, M. E. Scumming and efflorescence. Am. Cer. Soc. Bulletin, v. 4 n. 12, p. 677-683, 1925.
- RIBEIRO, I. J. C. Os sais solúveis na construção civil. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 1996.
- RICHIE, T. Study of efflorescence produced on ceramic wicks by masonry mortars. J. Am. Cer. Soc., v. 38, n. 10, p. 362 – 366, 1955.
- RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. (Agriculture Handbook, 60), Local: Dep. of Agriculture, p. 28-90, 1954.
- ROGERS, P. L. A method of test for potential efflorescence of masonry mortar. ASTM Bulletin, v. 235, p. 31-33, 1959.
- RUSSEL, J. B. Química Geral. São Paulo: McGrall Hill do Brasil, 1982.
- SANTOS, I. S. S. et al. Ensaio tecnológicos de argilas da região do vale do

- Rio Caf, RS, para aplicação em cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 39, 1995, Águas de Lindóia. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, p. 407-412, 1995.
- SARKAR, S. L., CHANDRA, S., RODHE, M. Microstructural investigation of natural deterioration of building materials in Gothenburg, Sweden. Materials and Structures, v. 25, p. 429-435, 1992.
 - SOUZA SANTOS, P. Ciência e tecnologia de argilas. São Paulo: Edgard Blücher, v. 1, 1990.
 - SRINIVASAN, V. S. et al. Avaliação global da qualidade dos recursos hídricos do estado da Paraíba, Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Campina Grande: SEPLAN/ATECEL (Anexo 3) 1994-a.
_____. Avaliação global da qualidade dos recursos hídricos do estado da Paraíba, Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Campina Grande: SEPLAN/ATECEL (Anexo 2) 1994-b.
_____. Avaliação global da qualidade dos recursos hídricos do estado da Paraíba, Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Campina Grande: SEPLAN/ATECEL (Anexo 6) 1994-c.
 - STAHMANN, J. A. Vanadium-molybdenum staining on building products. Am. Cer. Soc. Bul., v. 34, n. 5, p. 138-144, 1955.
 - SPIEGE, M. R. Estatísticas, Tradução de Pedro Consentino. Rio de Janeiro: McGrall-Hill do Brasil, 1980.
 - TELPA. Lista telefônica do estado da Paraíba. João Pessoa, 1994.
 - UEMOTO, K. L. Patologia: danos causados por eflorescências. São Paulo: PINI, p. 561-564, 1988-b.

- YOUNG, J. E. Backup materials as a source of efflorescence. J. Am. Cer. Soc., v. 40, n. 7, p. 240-243, 1957.

ANEXO 1
NORMAS E METODOLOGIAS

Método 2.32/EMBRAPA – PORCENTAGEM DE ÁGUA NA PASTA SATURADA

Os sais solubilizados são extraídos pela sucção de uma pasta saturada da seguinte forma:

- pesa-se 200 a 300g da amostra e coloca-se em depósito de plástico de 400 a 500 ml;
- adiciona-se água destilada em proveta de 50 ml, em quantidade inicial de 25 ml para solos arenosos e 50 ml para os demais;
- dar-se como concluída essa operação quando a massa do solo apresentar aspecto brilhante e espelhante, ou quando uma quantidade de água adicionada já não for mais absorvida pela massa do solo, ou ainda, quando a pasta deslizar suavemente na espátula;
- anota-se a quantidade de água utilizada e deixa-se em repouso durante 4 horas ou uma noite;
- decorrido esse tempo, verifica-se se a massa do solo apresenta excesso ou falta de água. No primeiro caso adiciona-se mais 50 g do material e repete-se a operação de saturação, enquanto que no segundo caso, adiciona-se mais água até completar a saturação;
- calcular a percentagem de saturação (quando for o caso) de acordo com o método 1.21.1, descrito na parte 1 – Física do Solo;
- transferir a massa do solo para funil buckner contendo papel de filtro, adaptado a um kitasato e aplicar sucção;
- dar como concluída a operação quando a maior parte de água de saturação foi extraída;
- transferir o extrato para o depósito plástico com tampa e anotar o número da amostra.

Observação: a quantidade de amostra a ser usada depende das determinações a serem feitas; entretanto, para solos de textura média, 250 g são suficientes para se obter uma quantidade de extrato razoável; a pasta saturada não deve acumular água na superfície, perder seu brilho e endurecer durante o repouso; especial cuidado se deve ter quando se trata de solos orgânicos, muito argilosos ou sódicos.

Referência – Richards et al. (1954).

Método 2.33/EMBRAPA - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO EXTRATO DE SATURAÇÃO

Experimento realizado empregando-se o condutivímetro da seguinte forma:

- mede-se a temperatura do extrato e ajusta-se o aparelho para esta temperatura; liga-se o aparelho com certa antecedência e aferi-se a leitura do mesmo com solução saturada de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (condutividade de 2,2 dS/m/25°C) ou de KCl 0,01N (condutividade de 1,40 dS/m/25°C);
- lava-se a célula de condutividade com água destilada, 2 a 3 vezes, preenchendo posteriormente a mesma, com o extrato de saturação;
- faz-se a leitura direta de mmhos/cm/25°C; caso não se obtenha o ponto de equilíbrio, a condutividade pode ser inferior a 0,10 dS/m ou superior a 10 dS/m; no segundo caso, procede-se a diluição de uma parte do extrato para nove partes de água e multiplica-se o resultado por dez; procede-se as outras diluições se necessário.

Observação: lava-se bem a célula com água destilada depois de cada determinação para evitar interferência nos resultados.

Referência – Richards et al. (1954).

Método 2.34/EMBRAPA - CÁLCIO NO EXTRATO DE SATURAÇÃO

Analisado pelo método complexométrico através de EDTA, da seguinte forma:

- pipetar alíquota do extrato de saturação que contenha aproximadamente 0,1 meq de Ca^{2+} e transferir para erlenmeyer de 125 ml;
- diluir com água destilada para volume de 25ml a 30 ml, adicionar 5 gotas de hidróxido de sódio e uma pitada de purpurato de amônio;
- titular com o EDTA 0,025 N e anotar o volume gasto;
- calcular o teor de cálcio existente no extrato pela seguinte expressão:

$$\text{Vol. de EDTA (ml)} \cdot \frac{10}{\text{Vol. da amostra (ml)}} = \frac{\text{Meq. de Ca}^{2+}}{\text{Vol. do extrato de saturação (l)}}$$

Observação: usar de preferência microbureta de 10 ml; caso o consumo de EDTA seja superior a este volume, utilizar alíquota menor do extrato; a viragem é da cor roxa para a púrpura e, por não ser instantânea a mudança de cor, o final da titulação deve ser vagaroso, ou seja, com a aplicação de gota de EDTA a cada 5 a 10 segundos; o valor da condutividade elétrica e a natureza do solo (calcário gipsífero) constituem um bom critério para determinação da alíquota a ser tomada na titulação.

Preparação dos reagentes:

- solução de hidróxido de sódio 4 N - pesar 160 de NaOH p.a., dissolver em água destilada e completar o volume para 1 litro;

- solução do indicador purpurato de amônio - misturar, pulverizando em gral, 0,5 g do indicador com 10 g de sulfato de zinco em pó;
- solução de EDTA (0,01 N) - pesar 1,862 g do sal sódico (etileno diaminotetracético dihidratado), 0,005 g de $MgCl_2$ em água e diluir em balão de 1 litro; esta solução é padronizada com uma solução de $CaCl_2$ 0,01 N;
- solução de cloreto de cálcio (0,01 N) - pesar 0,05 g de carbonato de cálcio p.a. (cristais de calcita), adicionar 10 ml de ácido clorídrico a 25% até dissolver e completar o volume de 1 l. Determinar o título do EDTA com esta solução, utilizando o mesmo processo indicado para a amostra.

Referência – Richards et al. (1954).

Método 2.35/EMBRAPA - MAGNÉSIO NO EXTRATO DE SATURAÇÃO

Dosado juntamente com o cálcio pelo método complexométrico e calculado pela diferença entre esse valor e o valor do cálcio, como segue:

- pipetar uma alíquota do extrato de saturação que contenha aproximadamente 0,1 meq de ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) e transferir para erlenmeyer de 125 ml;
- diluir com água destilada para volume de 25 ml a 30 ml, adicionar 0,5 ml de solução de cloreto de amônio e hidróxido de amônio e 5 gotas de indicador "eriochrome black";
- titular com solução EDTA 0,0025 N e anotar o cólume gasto;
- determinar a quantidade de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ contido na amostra pela seguinte expressão:

$$\text{Vol. de EDTA (ml)} \cdot \frac{10}{\text{Vol. da amostra (ml)}} = \frac{\text{Meq. de Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{\text{Vol. do extrato de saturação (l)}}$$

- calcular a quantidade de Mg^{2+} em função da quantidade de Ca^{2+} , determinado no método 2.34, conforme segue:

$$(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{Ca}^{2+} = \frac{\text{Meq. de Mg}^{2+}}{\text{Vol. do extrato de saturação (l)}}$$

Observação: a determinação de ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) pode ser feita na mesma alíquota após dosagem do Ca^{2+} , principalmente para extratos com baixos valores desses elementos, ou em solos muito pobres em Mg^{2+} .

Preparação de Reagentes:

- solução de $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$ - pesar 67,5 g de cloreto de amônio, dissolver em aproximadamente 250 ml de água destilada contida em balão de 1 litro. Em seguida, adicionar 570 ml de NH_4OH concentrado, agitar e completar o volume;
- indicador eriochrome black - dissolver 0,5 g de eriochrome black e 45 g de hidrocloreto de hidroxilamina em álcool etílico a 95 %, completar o volume para 100 ml;
- solução de EDTA 0,01 N - conforme descrito no método 2,34.

Referência – Richards et al. (1954).

Método 2.36/EMBRAPA - SÓDIO NO EXTRATO DE SATURAÇÃO

Analisado pelo método fotométrico ou espectrofotométrico, da seguinte forma:

- passar o extrato de saturação no fotômetro ou espectrofotômetro utilizando o filtro próprio de Na^+ ;
- proceder à leitura, diluindo o extrato quando a leitura ultrapassar a escala do aparelho;
- calcular o teor de Na^+ no extrato, através da expressão matemática:

$$\text{Leitura da amostra} \times \text{diluição} \times f_{\text{Na}} = \frac{\text{Meq. de } \text{Na}^+}{\text{Volume do extrato (l)}}$$

Observação - obter o fator f para o Na^+ em função dos valores obtidos com os padrões de 0,1 - 0,2 - 0,3 e 0,4 meq de Na^+ , na mesma forma indicada no método 2.13, adaptando-o para meq/l. Geralmente é necessário proceder várias diluições para tornar possível a leitura no aparelho.

Preparação de Reagentes:

- conforme indicado no método 2.13.

Referência – Richards et al. (1954).

Método 2.37/EMBRPA - POTÁSSIO NO EXTRATO DE SATURAÇÃO

Analisado pelo método fotométrico ou espectrofotométrico, da seguinte forma:

- passar o extrato de saturação no fotômetro ou espectrofotômetro utilizando o filtro próprio para o potássio;
- proceder a leitura e diluir o extrato quando a leitura ultrapassar a escala do aparelho;
- calcular a quantidade do íon potássio, através da seguinte expressão:

$$\text{Leitura da amostra} \times \text{diluição} \times f_k = \frac{\text{Meq. de K}^+}{\text{Volume do extrato (l)}}$$

Observação: o fator f para o íon potássio é obtido da mesma maneira, como indicada no método 2.12. Usualmente as diluições para o potássio são bem menores do que para o sódio.

Preparação dos Reagentes:

- conforme indicado para o método 2.12.

Referência – Richards et al. (1954).

Método 2.38/EMBRAPA - BICARBONATOS NO EXTRATO DE SATURAÇÃO

Analísado pelo método volumétrico com titulação pelo ácido sulfúrico, através da seguinte forma:

- após a titulação dos carbonatos, adicionar 3 gotas do indicador metil-orange e continuar a adição do ácido sulfúrico 0,25 N, contido na bureta, até a viragem de cor amarela para a alaranjada;
- utilizar uma prova em branco, ou seja, o total usado com a fenolftaleína e com o metil-orange;
- calcular o teor de CO_3H^- no extrato, através da expressão:

$$\frac{\text{Volume de ácido utilizado (ml)} \times 50}{\text{Volume da amostra (ml)}} = \frac{\text{Meq. de CO}_3^-}{\text{Volume do extrato (l)}}$$

Observação: esta mesma alíquota pode ser usada para determinação dos cloretos.

Preparação dos Reagentes:

- indicador metil-orange 0,01%: pesar 0,01 g do indicador, dissolver em água destilada e completar o volume para 100 ml;
- solução de H_2SO_4 0,025 N; preparada a partir de solução normal ou decinormal do ácido.

Referência - Richards et al. (1954).

Método 2.39/EMBRAPA – BICARBONATOS NO EXTRATO DE SATURAÇÃO

Determinado através do método volumétrico com titulação pelo ácido sulfúrico, dado como segue:

- após a titulação dos carbonatos, adicionar três gotas do indicador metil-orange;
- utilizar uma prova em branco, ou seja, o total usado com a fenolftaleína e com o metil-orange;
- calcular o teor de CO_3H^- no extrato, através da seguinte expressão:

$$\frac{(\text{Vol. utilizado} - \text{Vol. utilizado com fenolftaleína} \times 2)(\text{ml}) \times 50}{\text{Volume da amostra (ml)}} = \frac{\text{Meq. CO}_3\text{H}^-}{\text{Vol. da amostra (l)}}$$

Preparação dos Reagentes:

- indicador metil-orange 0,01%: pesar 0,01 g do indicador e dissolver em água destilada, completando o volume para 100ml;
- solução de H_2SO_4 a 0,025 N: preparada a partir de solução normal ou decinormal do ácido sulfúrico.

Referência – Richards et al. (1951).

Método 2.40/EMBRAPA - CLORETOS NO EXTRATO DE SATURAÇÃO

Analisado pelo método volumétrico, através do nitrato de prata, como segue:

- pipetar alíquota de 1 a 25 ml, do extrato de saturação; dependendo do teor salino da amostra, colocar em cápsula de porcelana de 150 ml e diluir para um volume de 25 ml;
- adicionar 5 gotas do cromato de potássio e agitar bem com bastão de vidro;
- titular com solução de AgNO_3 0,005 N até a formação de coloração vermelha persistente;
- calcular o teor de Cl^- no extrato, através da seguinte expressão:

$$\frac{[\text{AgNO}_3 \text{ utilizado} - \text{AgNO}_3 \text{ do branco}](\text{ml}) \times 50}{\text{Volume da amostra (ml)}} = \text{Meq. de Cl}^- \text{ no ext. de saturação}$$

Observação: deve ser empregada microbureta âmbar de 10 ml. A titulação não deve ir além dos 12 ml de AgNO_3 , sendo feitas as diluições necessárias para que fique numa faixa de 2 a 8 ml; paralelamente deve ser feita uma prova em branco com cromato de potássio para verificação de viragem e do volume de AgNO_3 utilizados, o qual participará do cálculo.

Preparação dos Reagentes:

- solução de cromato de potássio a 5% - pesar 5 g do K_2CrO_4 e dissolver em 50 ml de água destilada. Adicionar, gota a gota, a solução de $AgNO_3$ 0,005 N, até formação de precipitado permanente; filtrar e diluir para 100 ml;
- solução de nitrato de prata 0,005 N - pesar exatamente 8,495 g de $AgNO_3$ puro e dissolver em água destilada contida em balão aferido de 1 litro, agitar e completar o volume. Guardar em vidro escuro.

Referência – Richards et al. (1954).

MÉTODO APHA - TURBIDIMÉTRICO PARA DETERMINAÇÃO DE SULFATOS

1 - Discussão

Fundamentos - o íon sulfato (SO_4^{2-}) é precipitado em um médio ácido acético com cloreto de bário, formando assim cristais de sulfato de bário (BaSO_4) de tamanho uniforme. A luz absorvida (absorbância da luz) da suspensão de BaSO_4 é medida por um fotômetro e a concentração de SO_4^{2-} é determinada pela comparação da leitura com uma curva padronizada.

Interferência - com ou material suspenso em grande quantidades interferirá. Alguma matéria suspensa pode ser removida por filtração. Se ambos estão em pequenas quantidades, podem ser corrigidas como será visto mais adiante no item 4d. Sílica em mais de 500 mg/l interferirá, e em águas com grande quantidades de matéria orgânica não será possível uma boa precipitação do BaSO_4 .

Em águas potáveis não existem outros íons além do íon SO_4^{2-} , que formará compostos insolúveis com bário sob condições fortemente ácidas. Fazer as determinações em temperatura ambiente. Variações de $\pm 10^\circ\text{C}$, não causará erros apreciáveis.

Concentração mínima detectável - aproximadamente 1 mg de íon SO_4^{2-} /l.

2 - Aparelhagem:

- agitador magnético;

- espectrofotômetro (420 nm, curveta de 2,5 a 10 cm);
- cronômetro;
- colher medida (capacidade de 0,2 a 0,3 ml);

3 - Reagentes:

- solução tampão A: dissolver 30 g de cloreto de magnésio, 5 g de acetato de sódio, 1 g de nitrato de potássio e 20 ml de ácido acético em 500 ml de água destilada e completar até 1000 ml.
- solução tampão B (quando a concentração de íons SO_4^{2-} na amostra é menor do que 10 mg/l): dissolver 30 g de cloreto de magnésio, 5 g de acetato de sódio, 1 g de nitrato de potássio, 0,111g de sulfato de sódio e 20 ml de ácido acético (99 %), em 500 ml de água destilada e completar até 1000 ml.
- cloreto de bário: cristais passando na malha 20 a 30;
- solução de sulfato padronizada: preparar a solução como segue, desde que $1,0 \text{ ml} = 100 \mu\text{g SO}_4^{2-}$:
 - diluir 10,4 ml de ácido sulfúrico 0,02 N em 100 ml em água destilada, ou;
 - dissolver 0,1479 g de sulfato de sódio anidro em água destilada e diluir até 1000 ml.

4 – Procedimento:

- formação de turbidez de sulfato de bário: medir 100 ml da amostra ou diluir uma porção para 100 ml e colocar dentro de um erlenmeyer de 250 ml de capacidade. Adicionar 20 ml da solução tampão e misturar no agitador

magnético por 1 minuto. Fazer a primeira leitura e eliminar interferência de cor e turbidez. Colocar 1 colher medida de cloreto de bário e agitar por 1 minuto;

- medida da turbidez do sulfato de bário: depois de agitada, deixa a amostra em repouso por 5 minutos na curveta e então faz a segunda leitura;
- preparação da curva de calibração: estima-se com a curva de calibração preparada com concentrações de sulfatos variando de 0 mg/l a 40 mg/l, incrementadas de 5 mg/l.

5 – Cálculos:

Determina-se a concentração de sulfatos diretamente da curva de calibração, depois de subtrair a Segunda leitura da primeira e também a prova em branco, obtendo-se os resultados em mg/l.

$$\text{SO}_4^{2-} \text{ (meq / l)} = \frac{\text{SO}_4^{2-} \text{ (mg/l)} \times \text{Fator de diluição}}{\text{Peso equivalente}}$$

Método da ASTM C 67/92a (1992) – STANDARD TEST METHODS OF SAMPLING AND TESTING BRICK AND STRUCTURAL CLAY TILE
(Ensaio de eflorescência)

1 – Aparelhagem:

- bandejas e recipientes-panels ou bandejas rasas impermeáveis de material resistente a corrosão que não proporcione sais solúveis quando em contato com as lavagens dos tijolos em água destilada. A panela será de tais dimensões que proporcione não menos que 1 in de profundidade de água;
- sala de secagem, mantida a uma temperatura de $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$, com umidade relativa entre 30 % e 70 %, livre de correntes de ar;
- estufa, que proporcione uma circulação do ar no interior e que seja mantida em temperaturas entre 110°C e 115°C .

2 – Amostras:

- a amostra consistirá de dez tijolos de tamanho natural;
- os dez tijolos serão escolhidos em cinco pares de modo que ambos os tijolos de cada par, sejam o mais semelhantes possível.

3 – Preparação das amostras:

- remover por escovamento alguma sujeira que tenha aderido ao tijolo que se poderia identificar como eflorescência;

- secar as amostras em estufa entre 110°C e 115°C, durante 24 h;
- resfriar as amostras na sala de secagem, desamontoadas e em local, separado por um período de 4 h.

4 – Procedimento:

- colocar um tijolo de cada um dos cinco pares, em pé, dentro do recipiente, parcialmente imerso em água destilada a uma profundidade de aproximadamente 1 in, durante sete dias. As amostras devem permanecer na sala de secagem e quando várias amostras são testadas no esmo recipiente, deve-se deixar um espaço de 2 in entre elas;
- guardar o segundo tijolo de cada um dos cinco pares na sala de secagem, de modo que não estejam em contato com água.
- ao final de sete dias, secar os dez tijolos na estufa, durante 24 h.

5 - Exame de Classificação:

- depois de secar, e comparar cada par das amostras, observando o topo e todas as quatro faces de cada amostra de uma distância de 10 ft (3 m) sob uma iluminação de não menos que 538,2 lm/m², por um observador com visão normal. Se sob estas condições não existir nenhuma diferença, classificar como “não eflorescente”. Se por outro lado, existir uma diferença perceptível, classificar como “eflorescente”.

ANEXO 2

FIGURAS

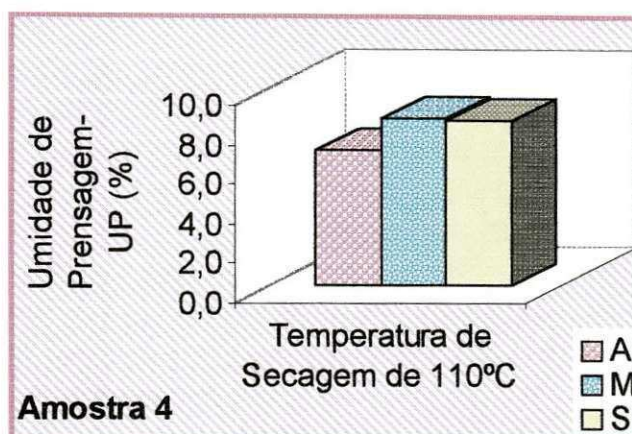


FIGURA A2.01 – Umidade de prensagem da amostra 4.

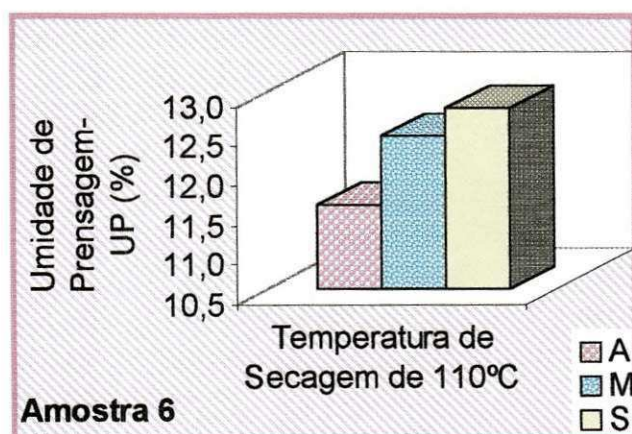


FIGURA A2.02 – Umidade de prensagem da amostra 6.

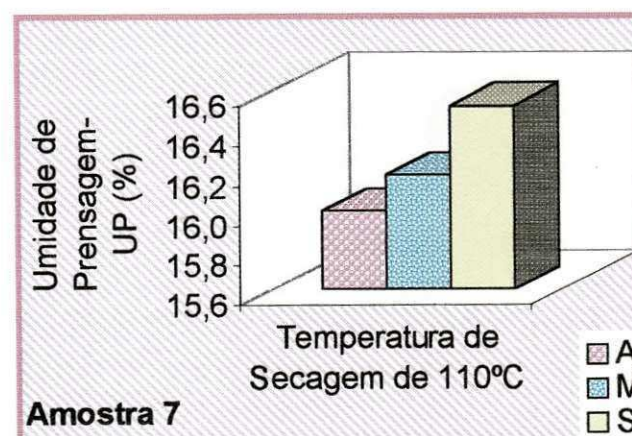


FIGURA A2.03 – Umidade de prensagem da amostra 7.

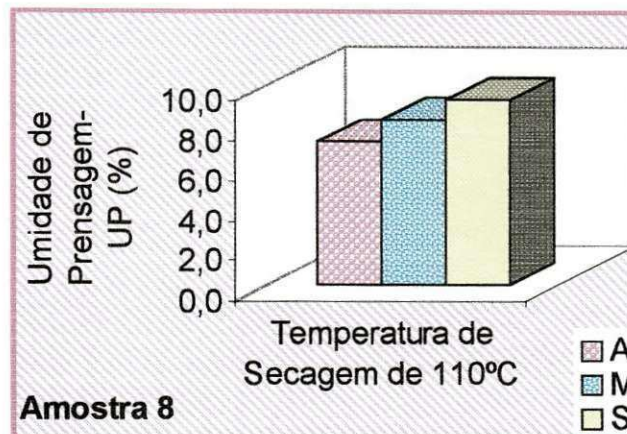


FIGURA A2.04 – Umidade de prensagem da amostra 8.

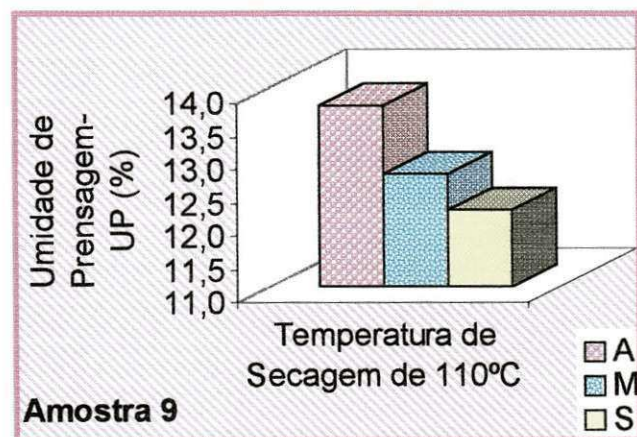


FIGURA A2.05 – Umidade de prensagem da amostra 9.

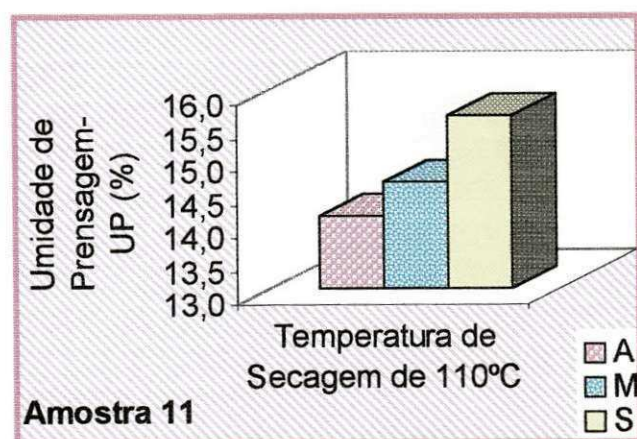


FIGURA A2.06 – Umidade de prensagem da amostra 11.

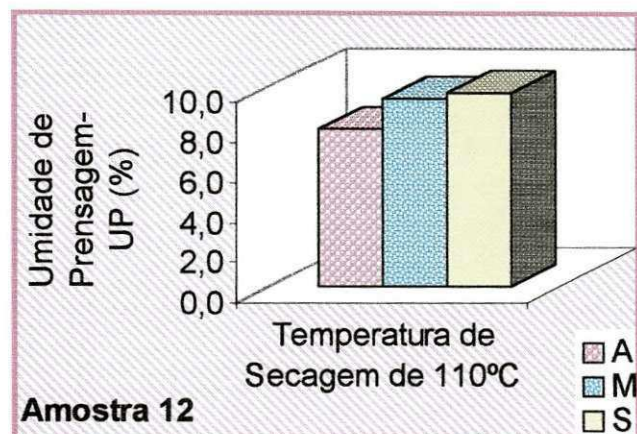


FIGURA A2.07 – Umidade de prensagem da amostra 12.

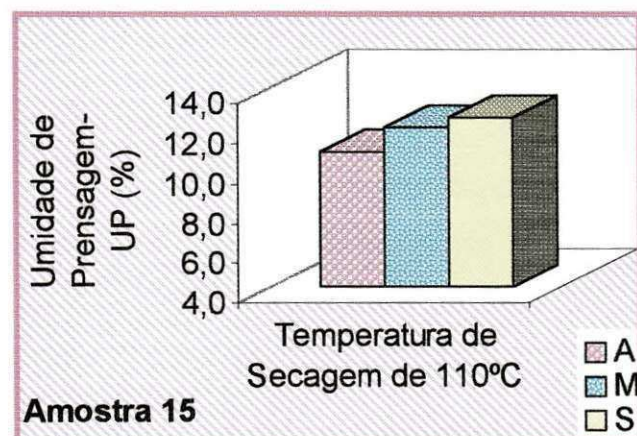


FIGURA A2.08 – Umidade de prensagem da amostra 15.

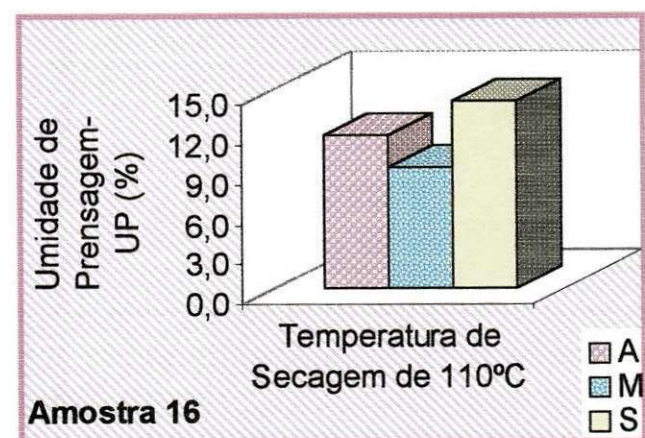


FIGURA A2.09 – Umidade de prensagem da amostra 16.

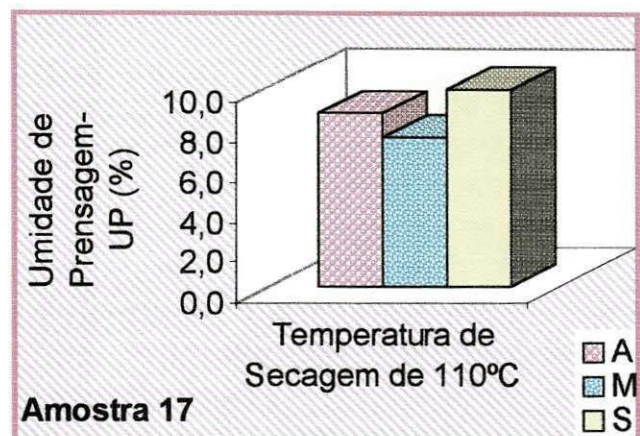


FIGURA A2.10 – Umidade de prensagem da amostra 17.

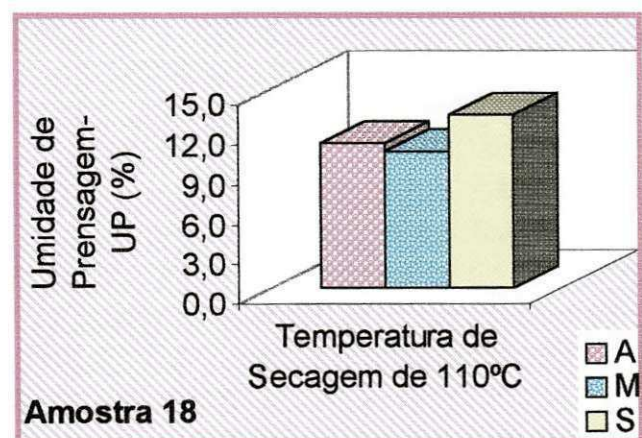


FIGURA A2.11 – Umidade de prensagem da amostra 18.

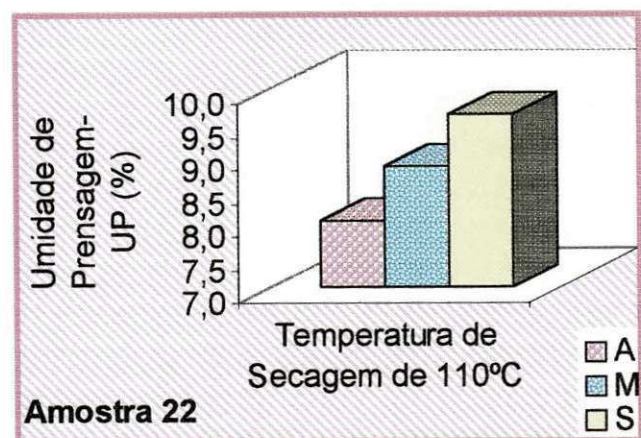


FIGURA A2.12 – Umidade de prensagem da amostra 22.

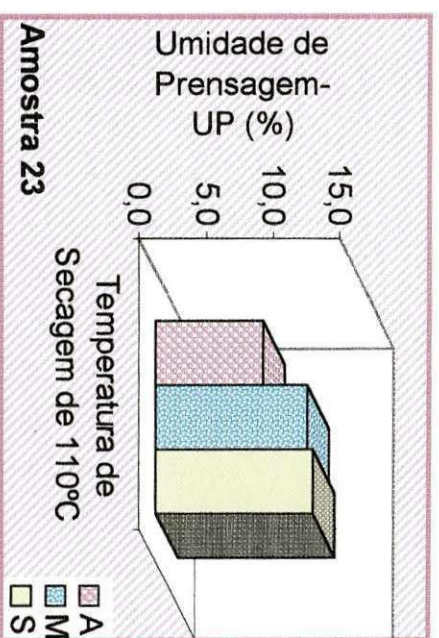


FIGURA A2.13 – Umidade de prensagem da amostra 23.

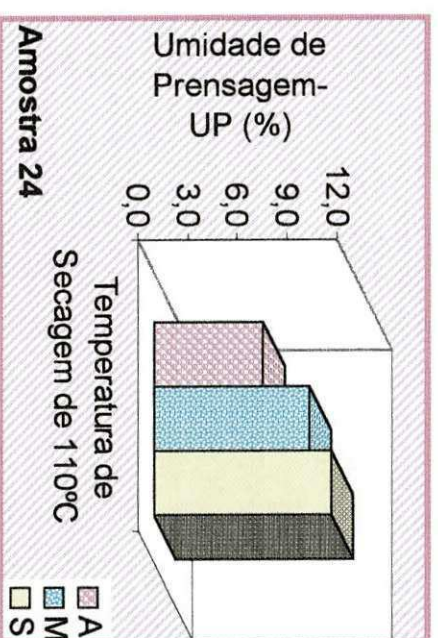


FIGURA A2.14 – Umidade de prensagem da amostra 24.

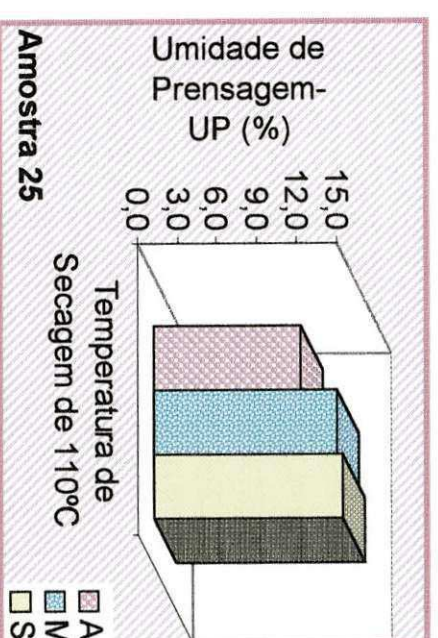


FIGURA A2.15 – Umidade de prensagem da amostra 25.

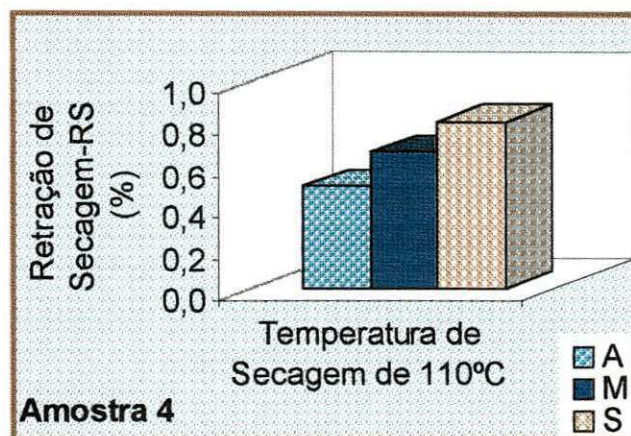


FIGURA A2.16 – Retração linear de secagem da amostra 4.

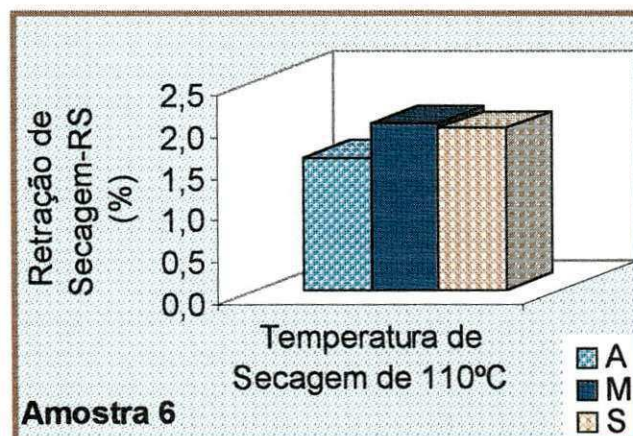


FIGURA A2.17 – Retração linear de secagem da amostra 6.

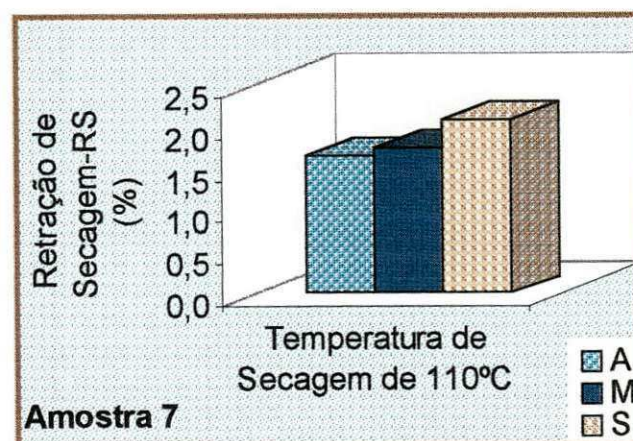


FIGURA A2.18 – Retração linear de secagem da amostra 7.

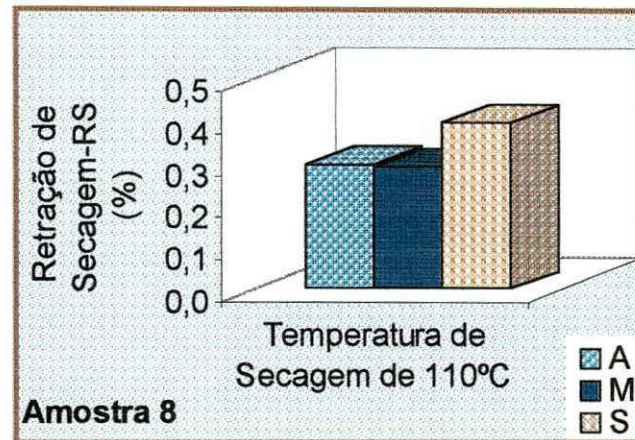


FIGURA A2.19 – Retração linear de secagem da amostra 8.

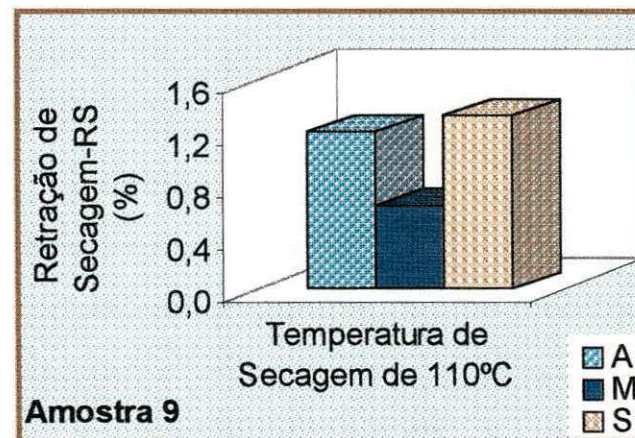


FIGURA A2.20 – Retração linear de secagem da amostra 9.

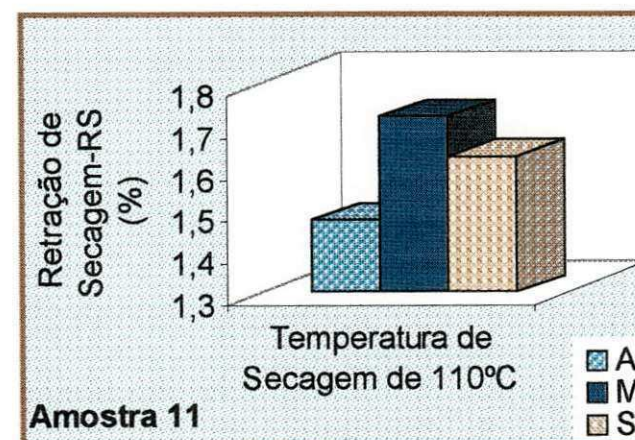


FIGURA A2.21 – Retração linear de secagem da amostra 11.

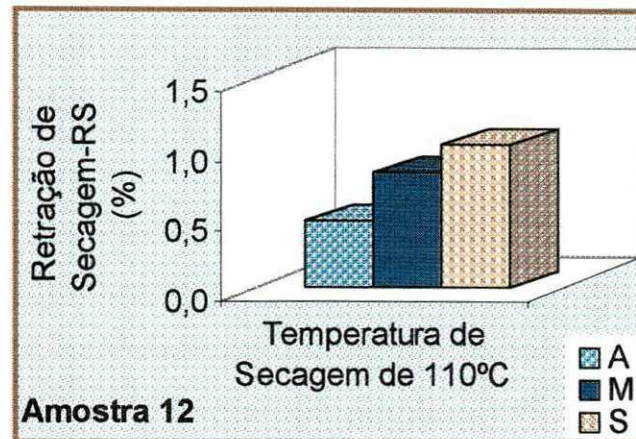


FIGURA A2.22 – Retração linear de secagem da amostra 12.

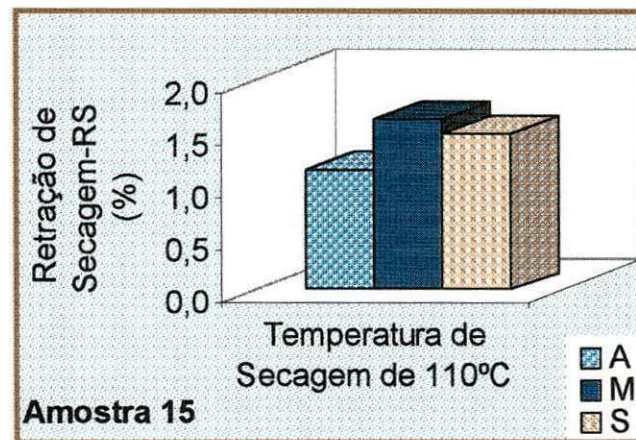


FIGURA A2.23 – Retração linear de secagem da amostra 15.

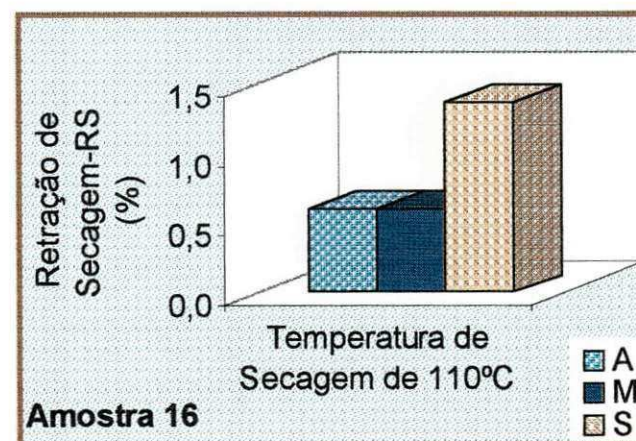


FIGURA A2.24 – Retração linear de secagem da amostra 16.

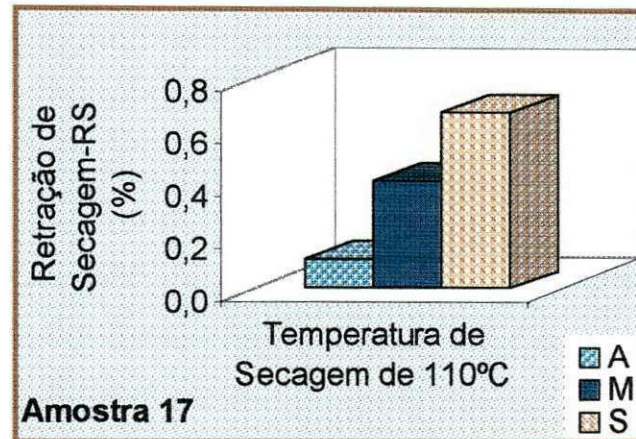


FIGURA A2.25 – Retração linear de secagem da amostra 17.

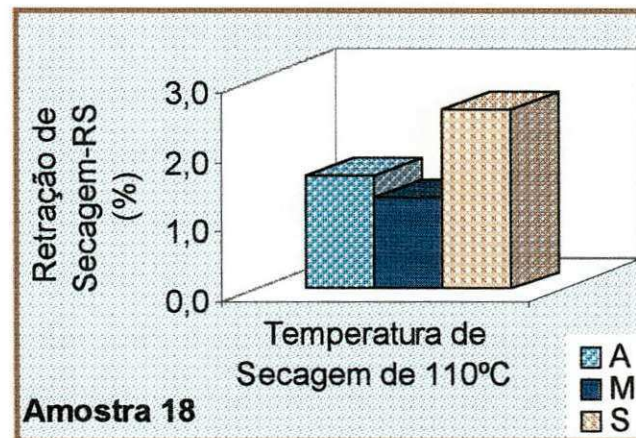


FIGURA A2.26 – Retração linear de secagem da amostra 18.

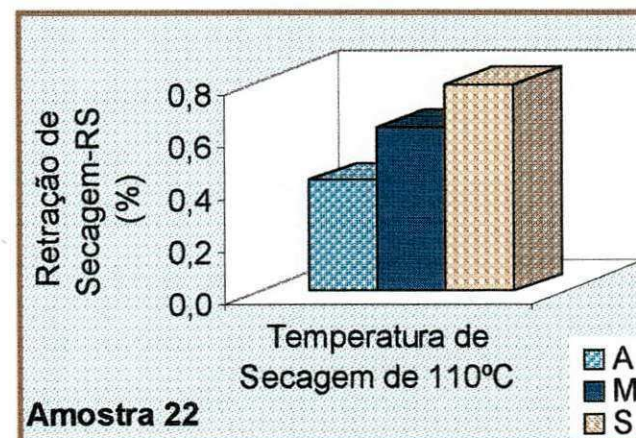


FIGURA A2.27 – Retração linear de secagem da amostra 22.

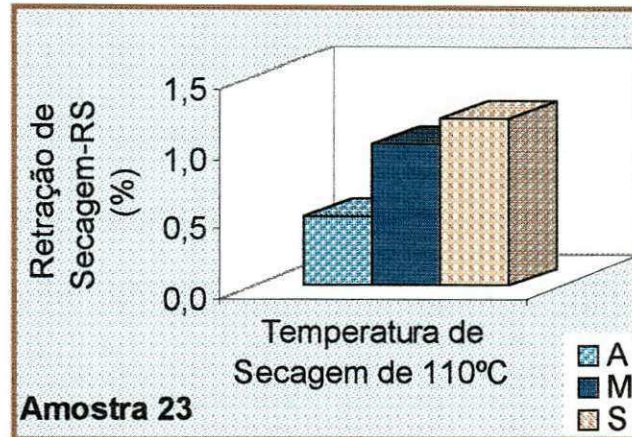


FIGURA A2.28 – Retração linear de secagem da amostra 23.

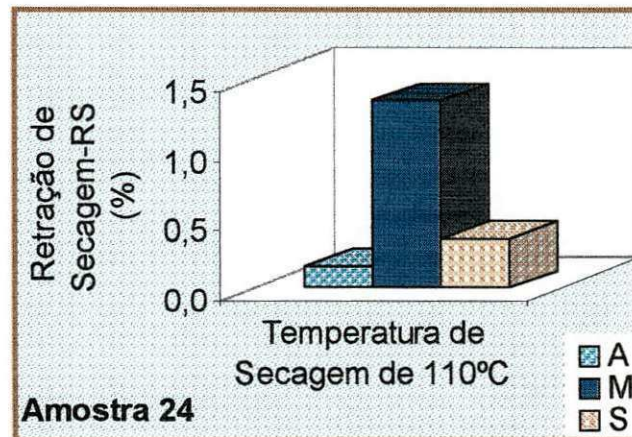


FIGURA A2.29 – Retração linear de secagem da amostra 24.

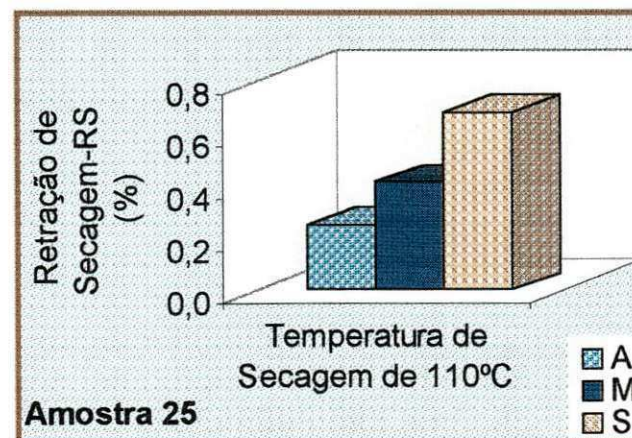


FIGURA A2.30 – Retração linear de secagem da amostra 25.

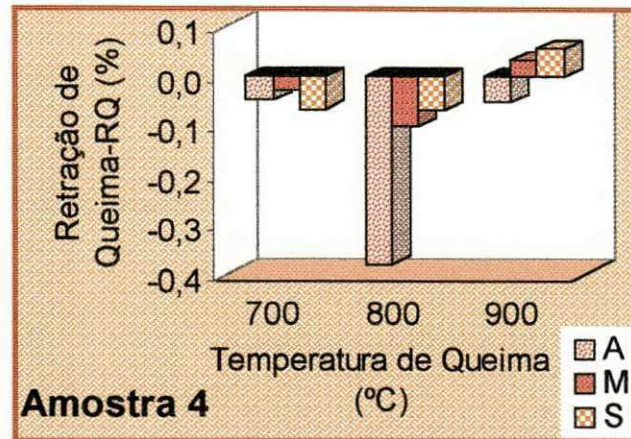


FIGURA A2.31 – Retração linear de queima da amostra 4.

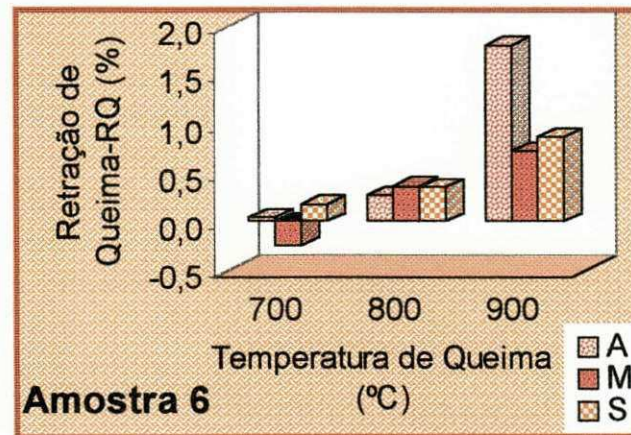


FIGURA A2.32 – Retração linear de queima da amostra 6.

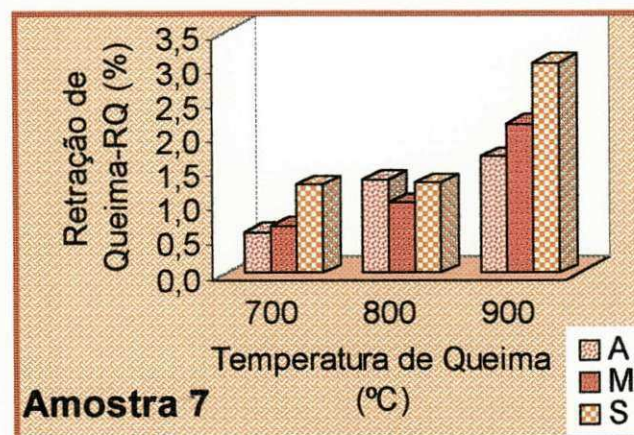


FIGURA A2.33 – Retração linear de queima da amostra 7.

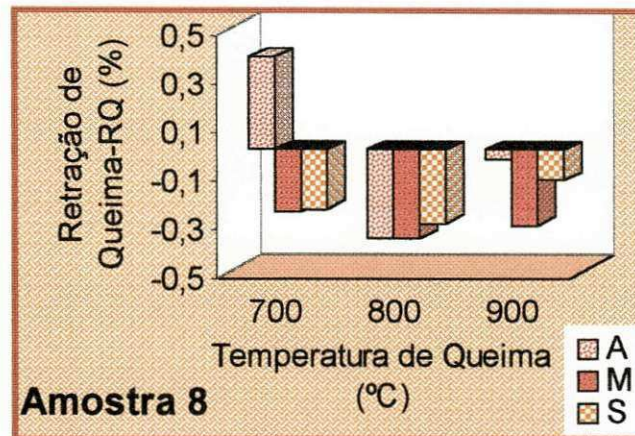


FIGURA A2.34 – Retração linear de queima da amostra 8.

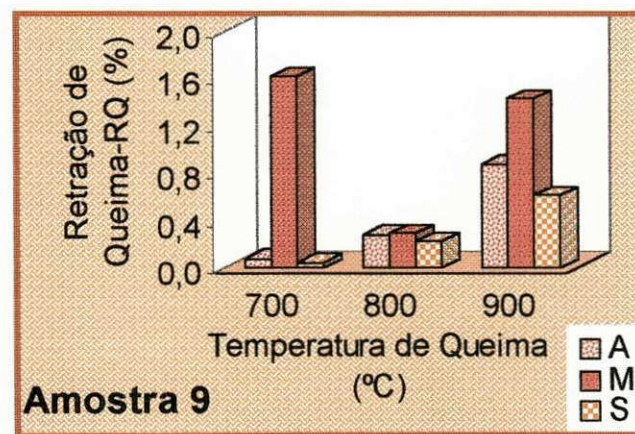


FIGURA A2.35 – Retração linear de queima da amostra 9.

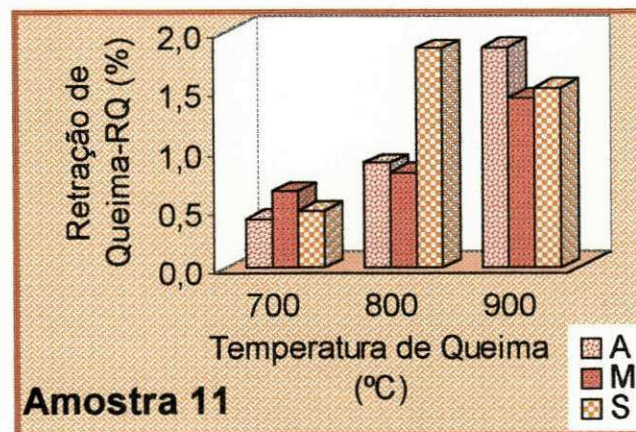


FIGURA A2.36 – Retração linear de queima da amostra 11.

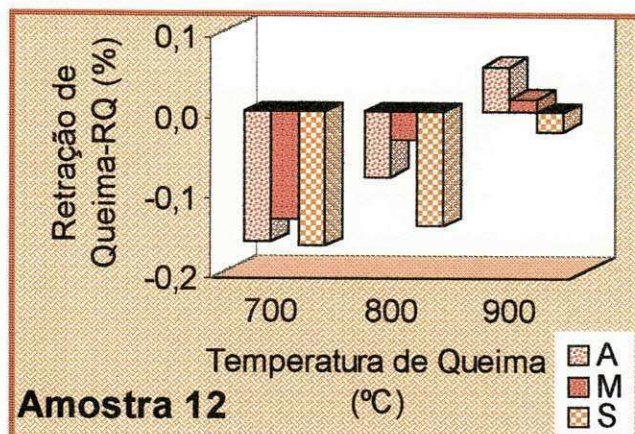


FIGURA A2.37 – Retração linear de queima da amostra 12.

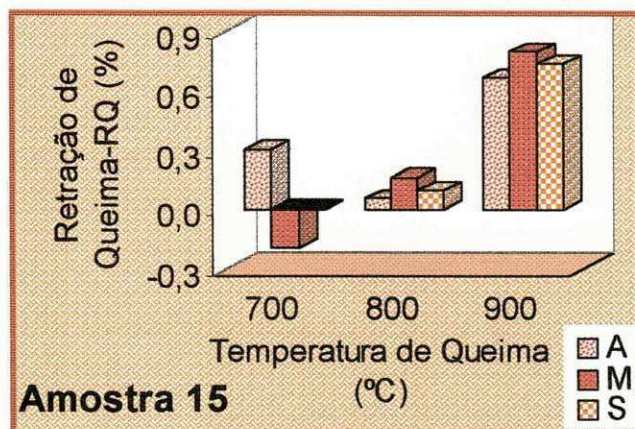


FIGURA A2.38 – Retração linear de queima da amostra 15.

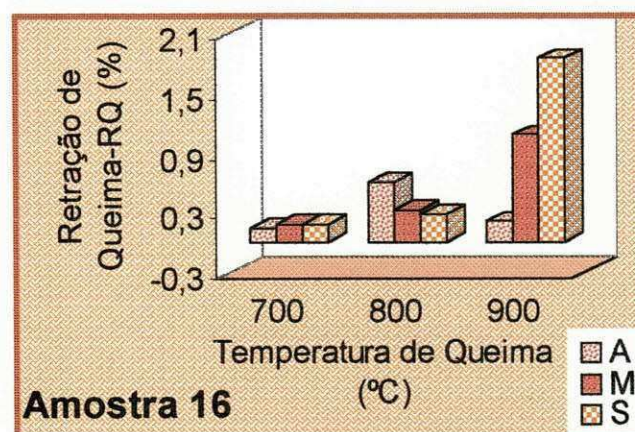


FIGURA A2.39 – Retração linear de queima da amostra 16.

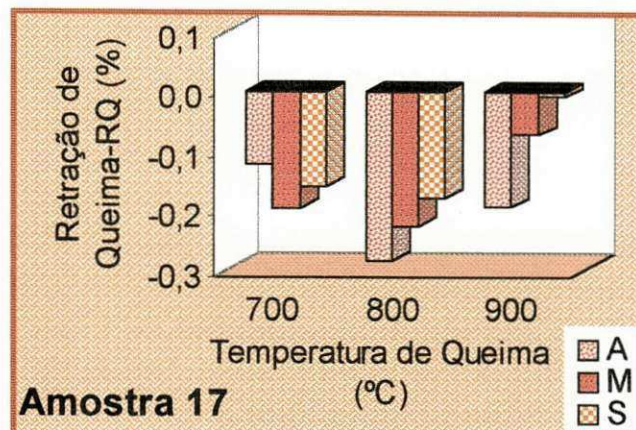


FIGURA A2.40 – Retração linear de queima da amostra 17.

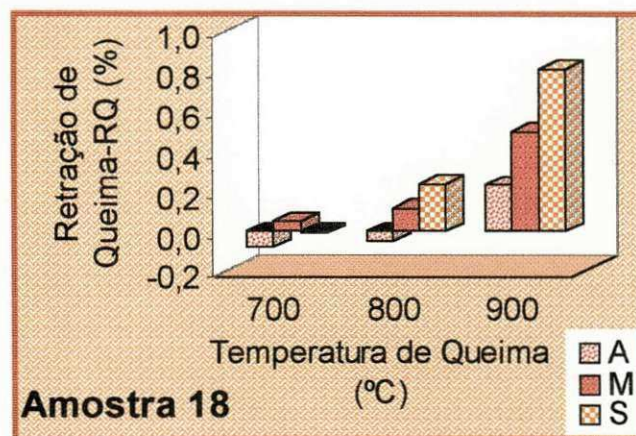


FIGURA A2.41 – Retração linear de queima da amostra 18.

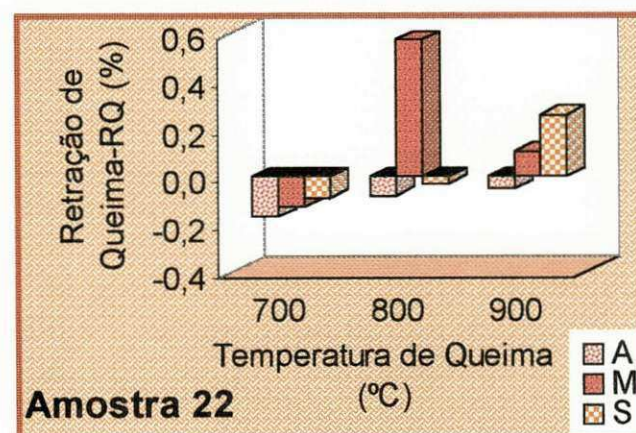


FIGURA A2.42 – Retração linear de queima da amostra 22.

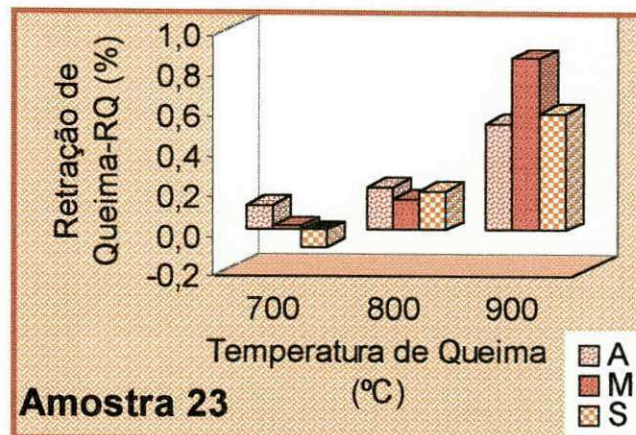


FIGURA A2.43 – Retração linear de queima da amostra 23.

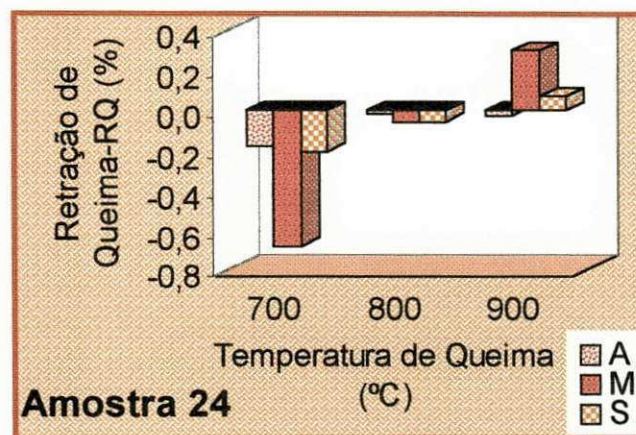


FIGURA A2.44 – Retração linear de queima da amostra 24.

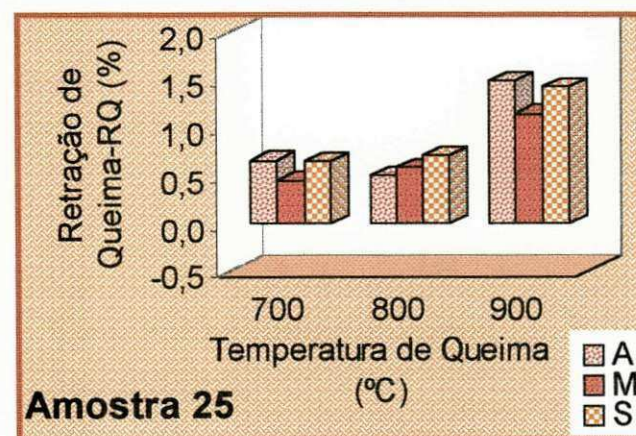


FIGURA A2.45 – Retração linear de queima da amostra 25.

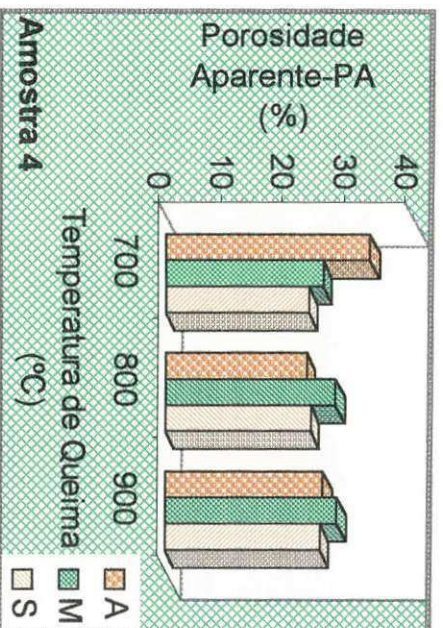


FIGURA A2.46 – Porosidade aparente da amostra 4.

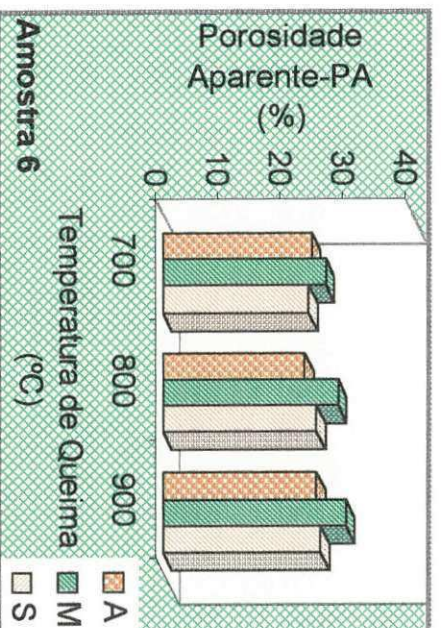


FIGURA A2.47 – Porosidade aparente da amostra 6.

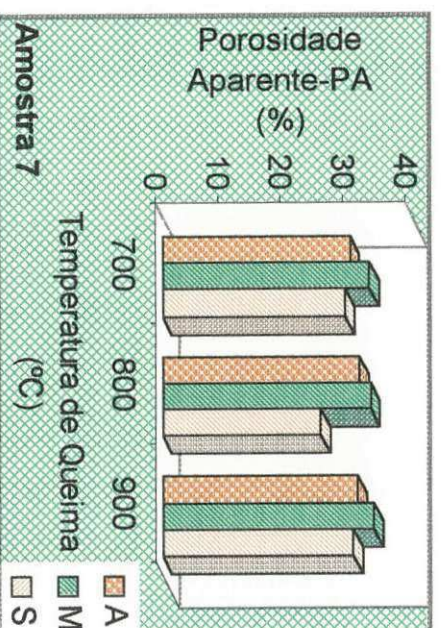


FIGURA A2.48 – Porosidade aparente da amostra 7.

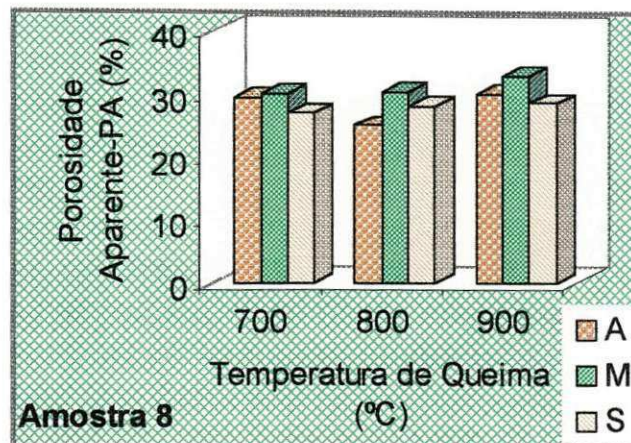


FIGURA A2.49 – Porosidade aparente da amostra 8.

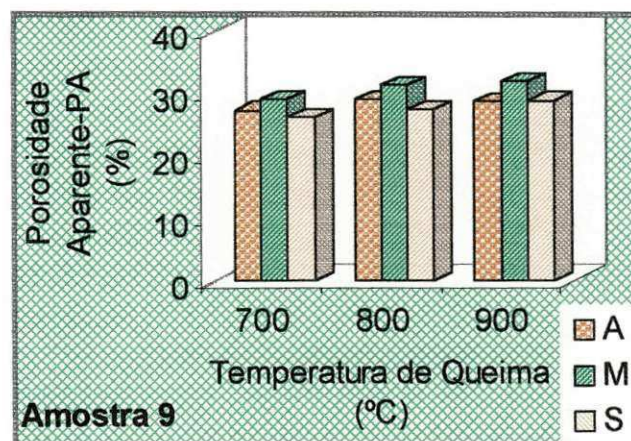


FIGURA A2.50 – Porosidade aparente da amostra 9.

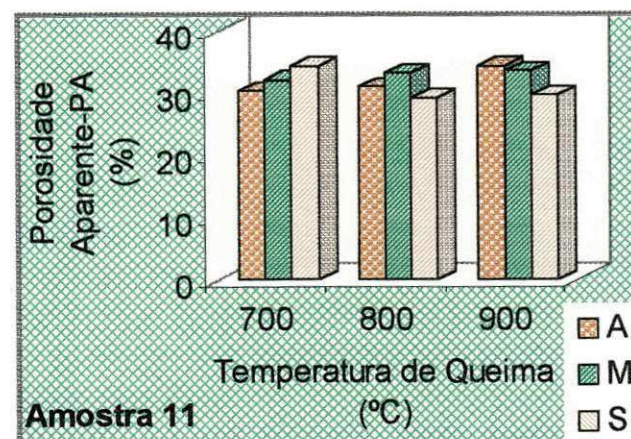


FIGURA A2.51 – Porosidade aparente da amostra 11.

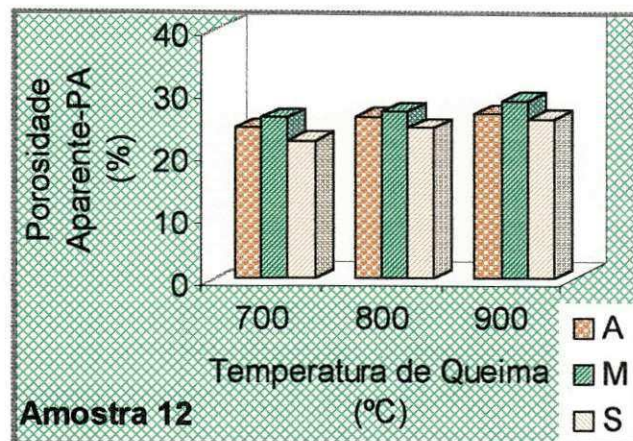


FIGURA A2.52 – Porosidade aparente da amostra 12.

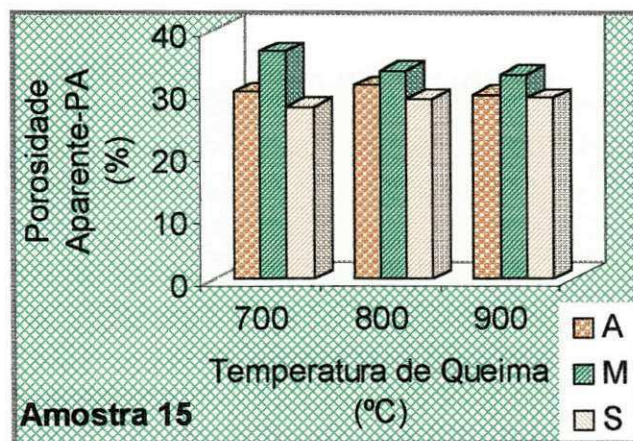


FIGURA A2.53 – Porosidade aparente da amostra 15.

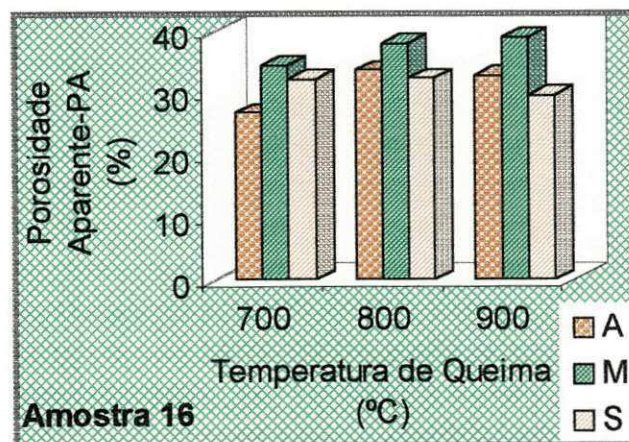


FIGURA A2.54 – Porosidade aparente da amostra 16.

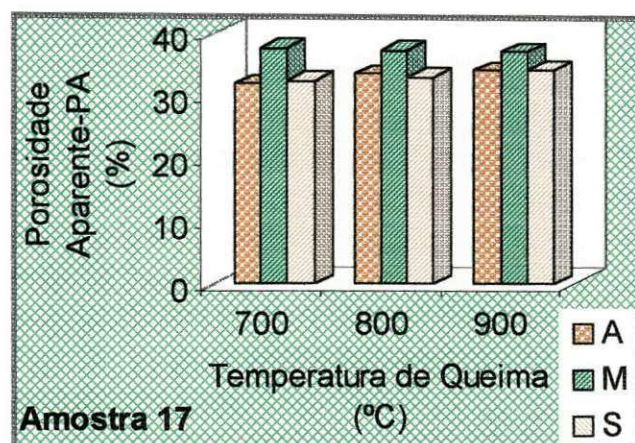


FIGURA A2.55 – Porosidade aparente da amostra 17.

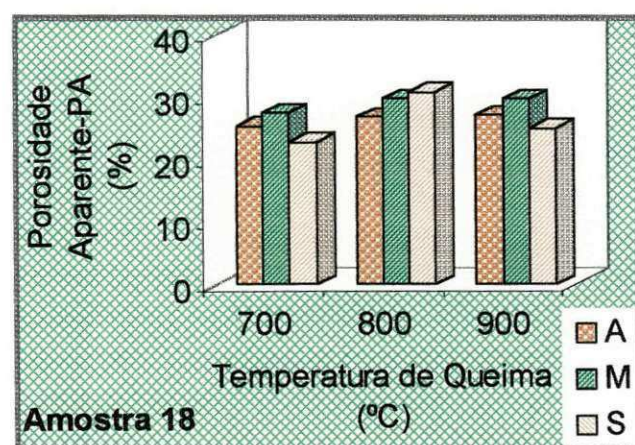


FIGURA A2.56 – Porosidade aparente da amostra 18.

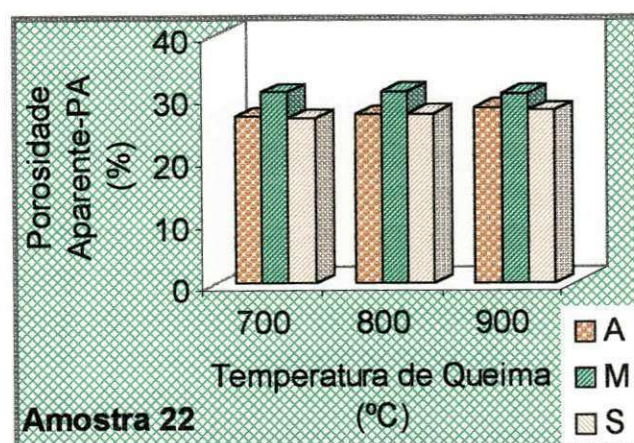


FIGURA A2.57 – Porosidade aparente da amostra 22.

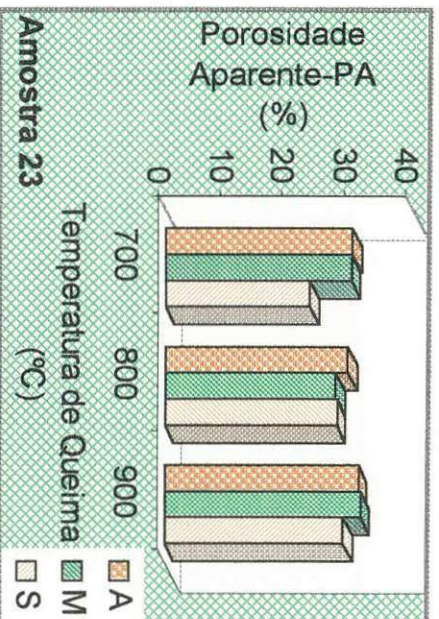


FIGURA A2.58 – Porosidade aparente da amostra 23.

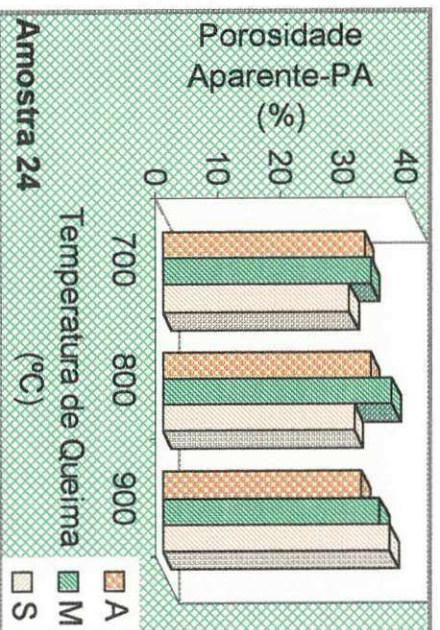


FIGURA A2.59 – Porosidade aparente da amostra 24.

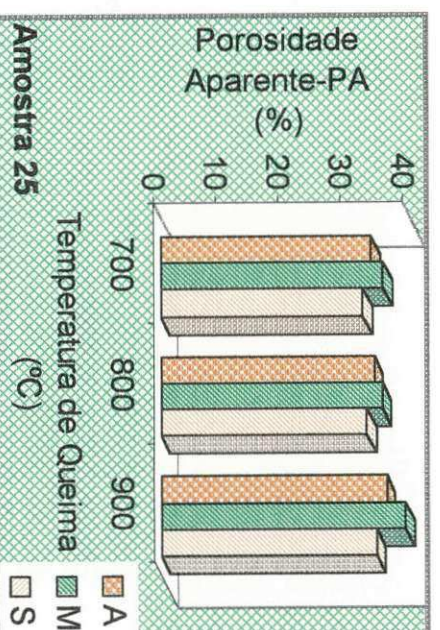


FIGURA A2.60 – Porosidade aparente da amostra 25.

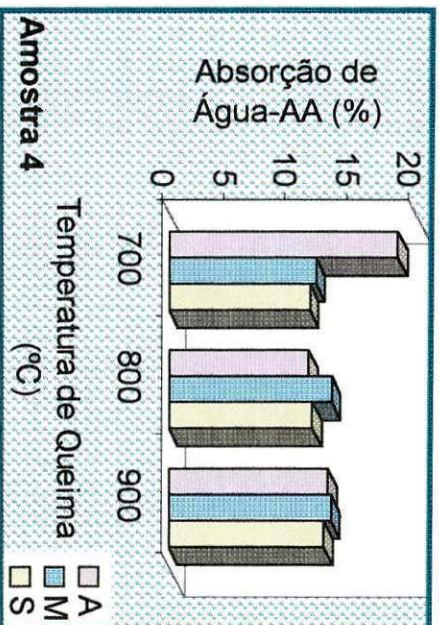


FIGURA A2.61 – Valores de absorção de água da amostra 4.

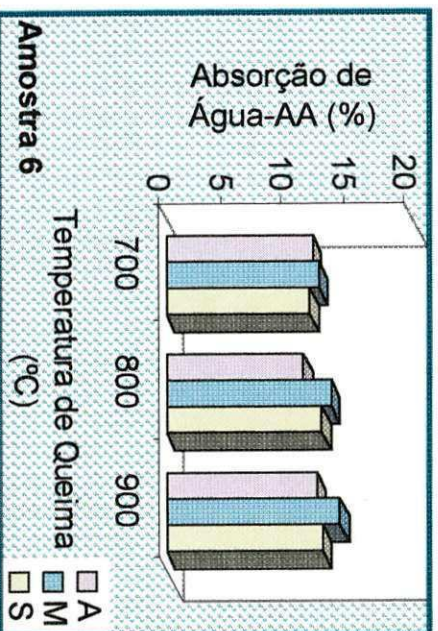


FIGURA A2.62 – Valores de absorção de água da amostra 6.

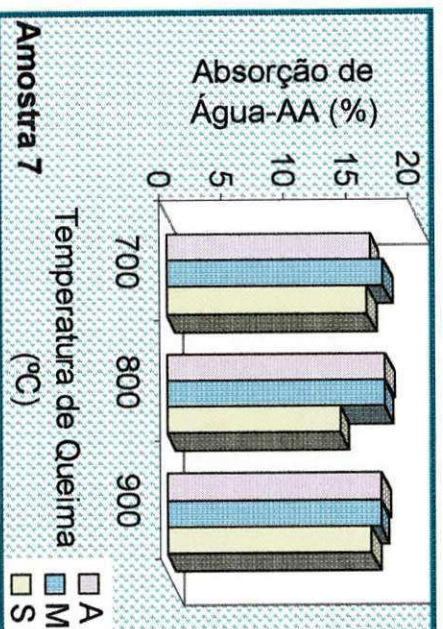


FIGURA A2.63 – Valores de absorção de água da amostra 7.

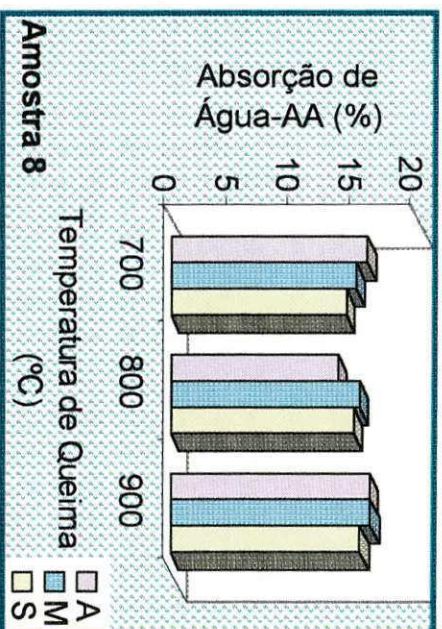


FIGURA A2.64 – Valores de absorção de água da amostra 8.

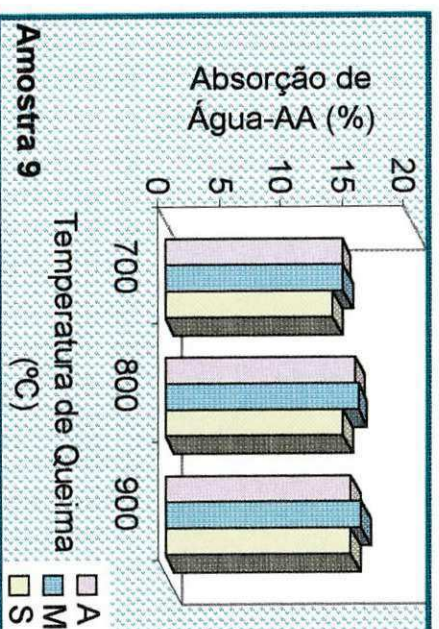


FIGURA A2.65 – Valores de absorção de água da amostra 9.

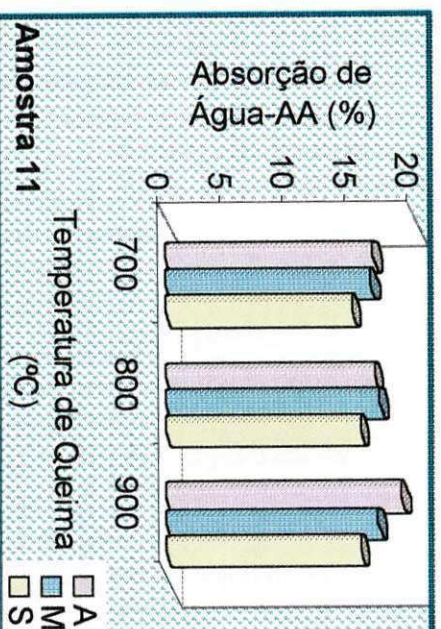


FIGURA A2.66 – Valores de absorção de água da amostra 11.

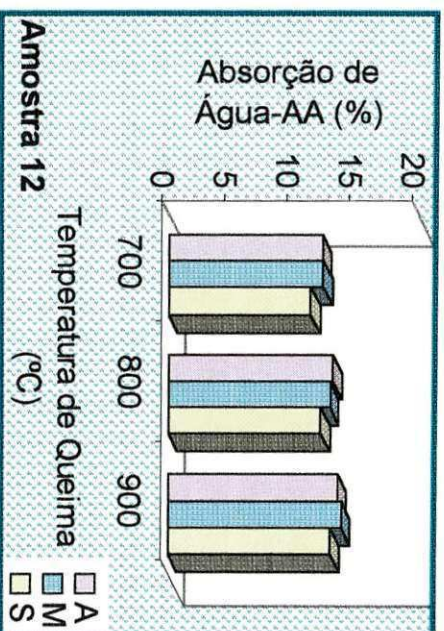


FIGURA A2.67 – Valores de absorção de água da amostra 12.

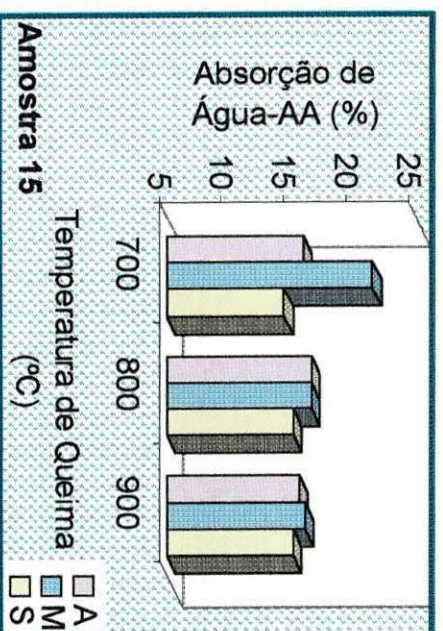


FIGURA A2.68 – Valores de absorção de água da amostra 15.

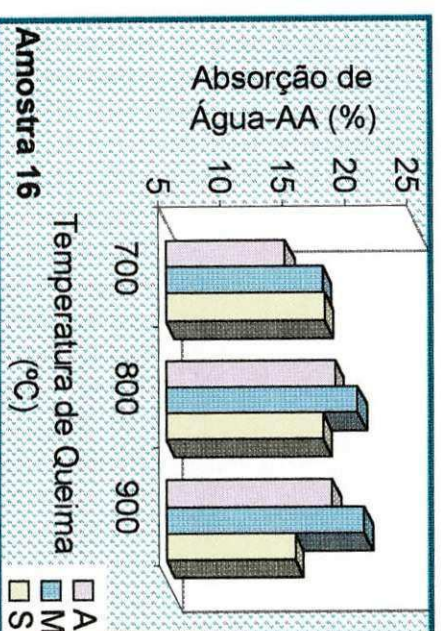


FIGURA A2.69 – Valores de absorção de água da amostra 16.

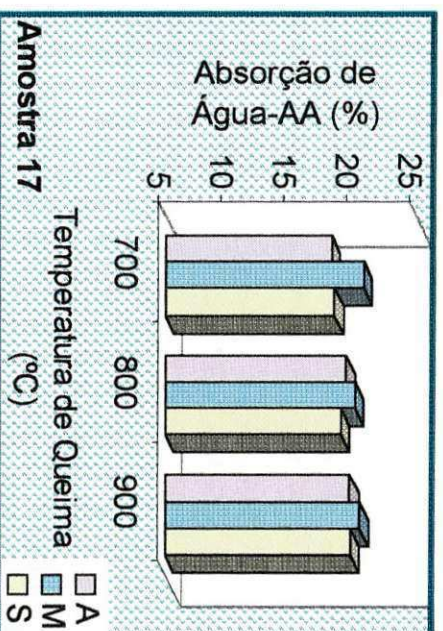


FIGURA A2.70 – Valores de absorção de água da amostra 17.

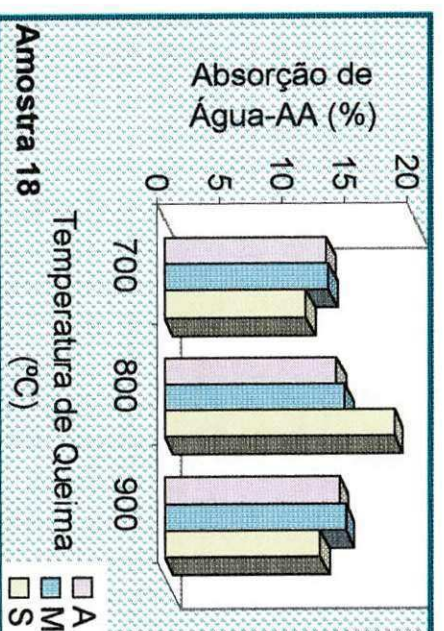


FIGURA A2.71 – Valores de absorção de água da amostra 18.

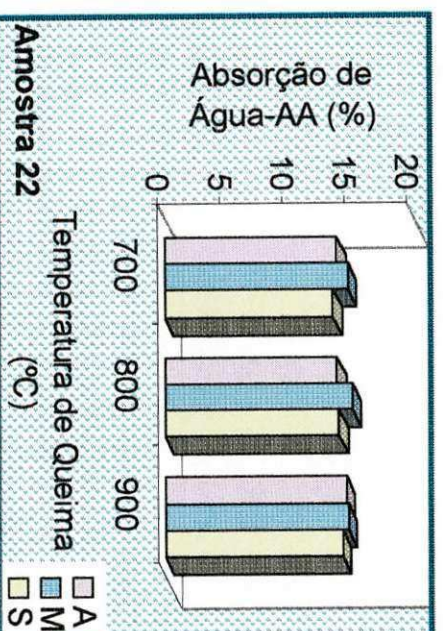


FIGURA A2.72 – Valores de absorção de água da amostra 22.

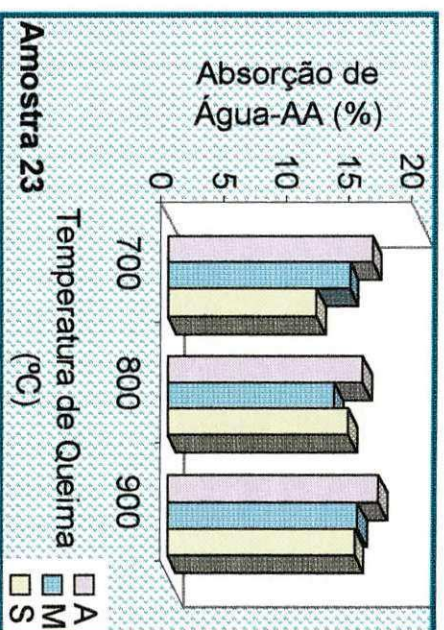


FIGURA A2.73 – Valores de absorção de água da amostra 23.

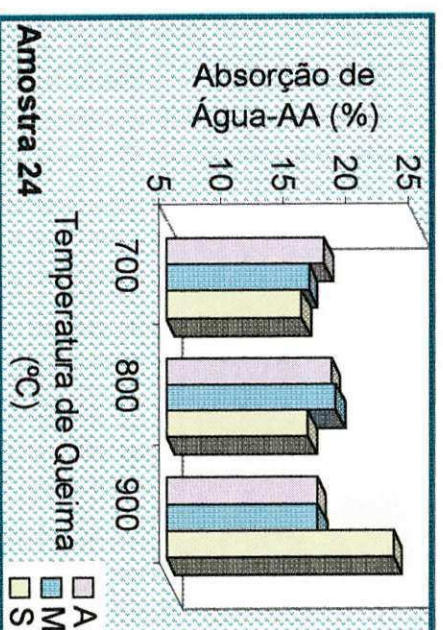


FIGURA A2.74 – Valores de absorção de água da amostra 24.

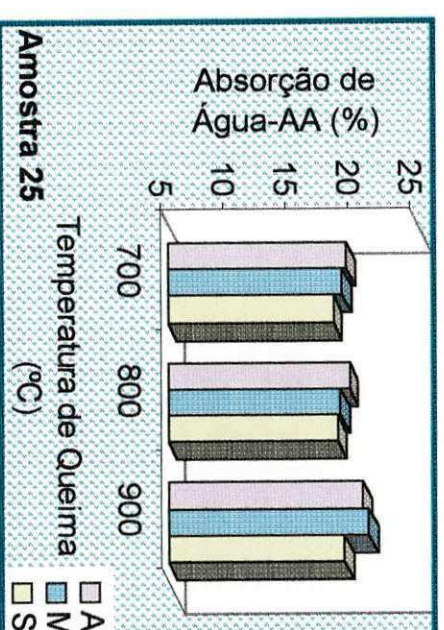


FIGURA A2.75 – Valores de absorção de água da amostra 25.

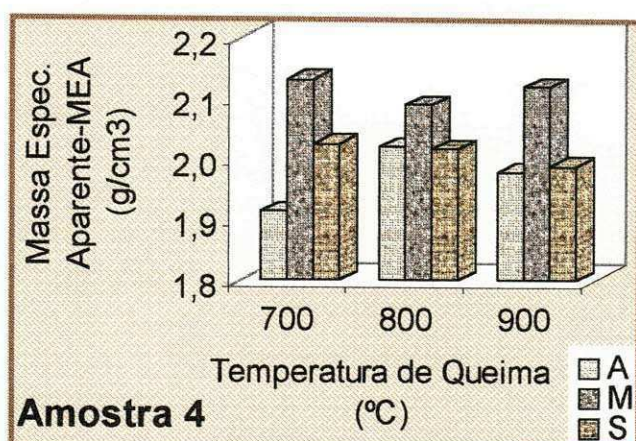


FIGURA A2.76 – Massa específica aparente da amostra 4.

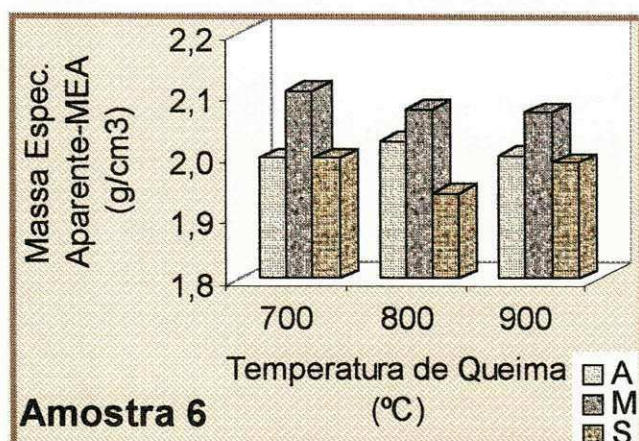


FIGURA A2.77 – Massa específica aparente da amostra 6.

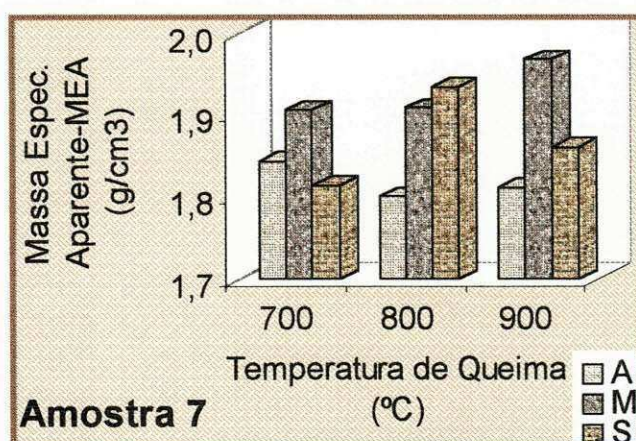


FIGURA A2.78 – Massa específica aparente da amostra 7.

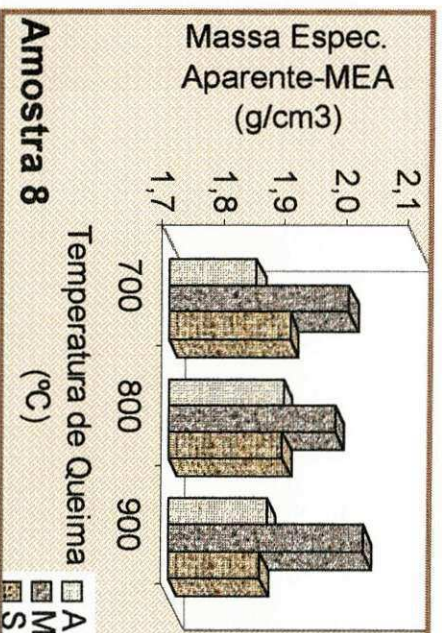


FIGURA A2.79 – Massa específica aparente da amostra 8.

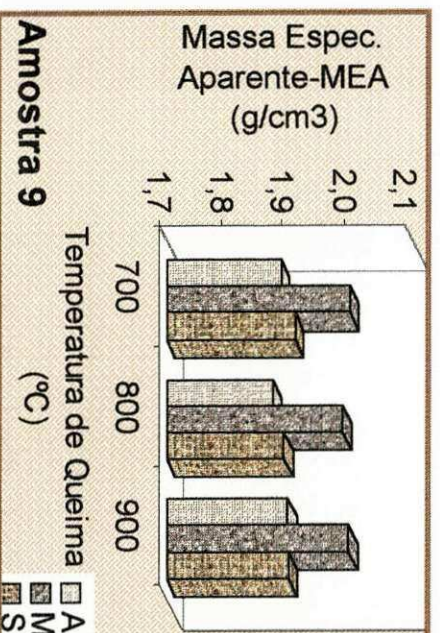


FIGURA A2.80 – Massa específica aparente da amostra 9.

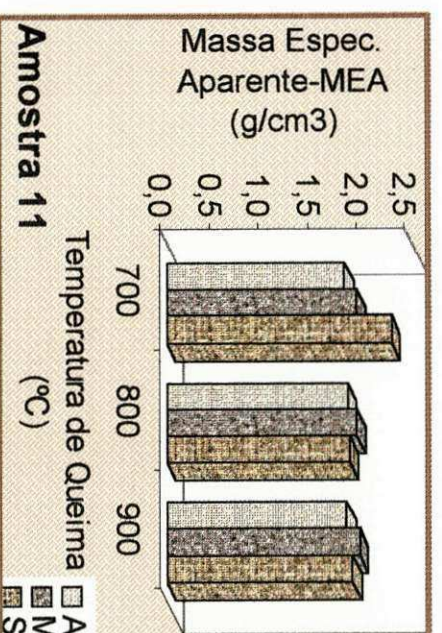


FIGURA A2.81 – Massa específica aparente da amostra 11.

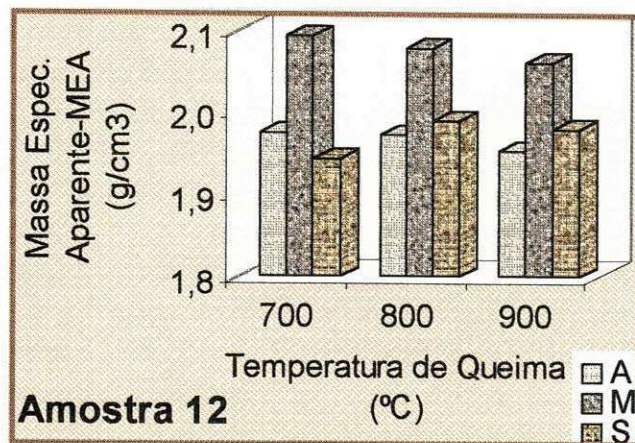


FIGURA A2.82 – Massa específica aparente da amostra 12.

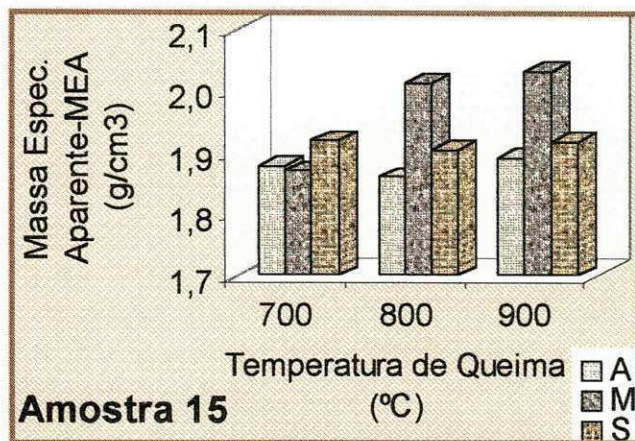


FIGURA A2.83 – Massa específica aparente da amostra 15.

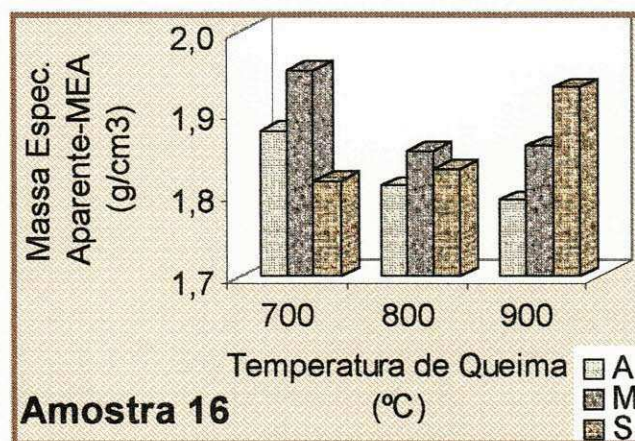


FIGURA A2.84 – Massa específica aparente da amostra 16.

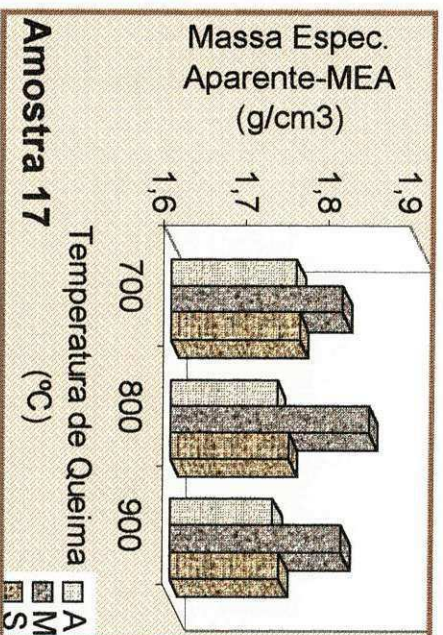


FIGURA A2.85 – Massa específica aparente da amostra 17.

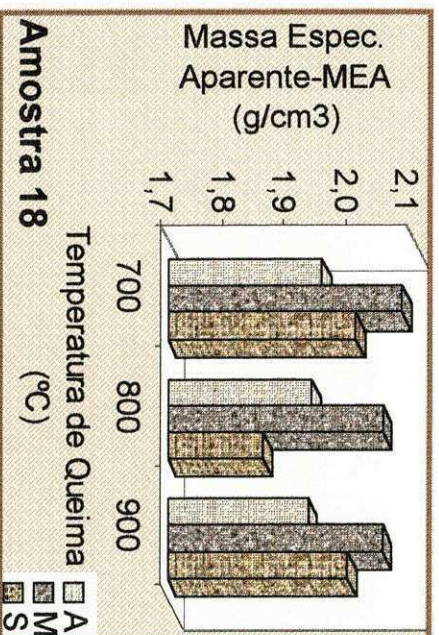


FIGURA A2.86 – Massa específica aparente da amostra 18.

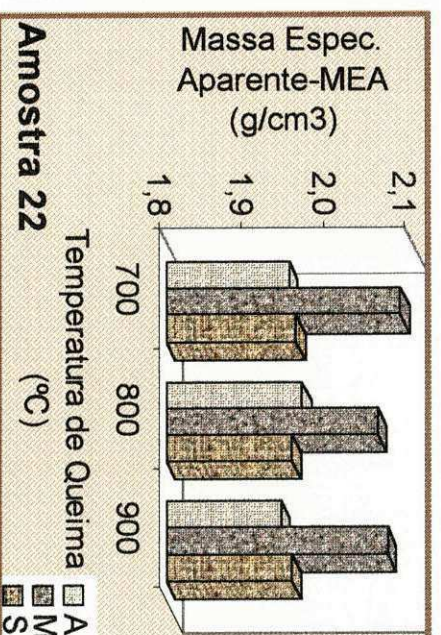


FIGURA A2.87 – Massa específica aparente da amostra 22.

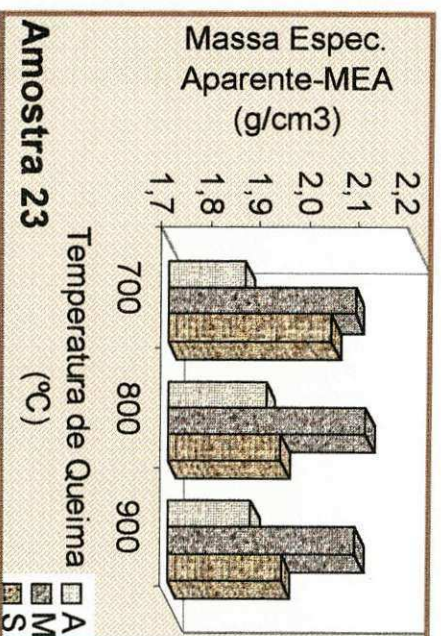


FIGURA A2.88 – Massa específica aparente da amostra 23.

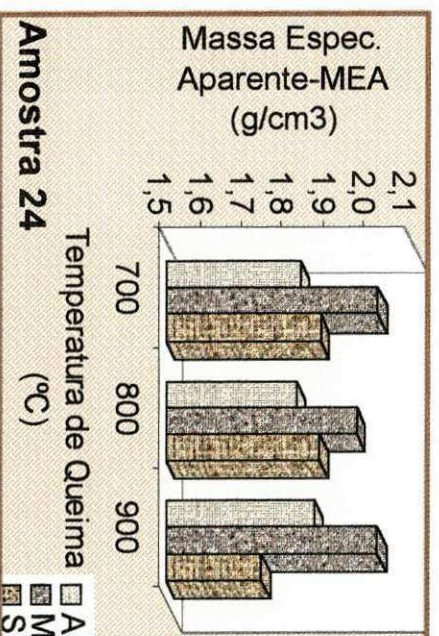


FIGURA A2.89 – Massa específica aparente da amostra 24.

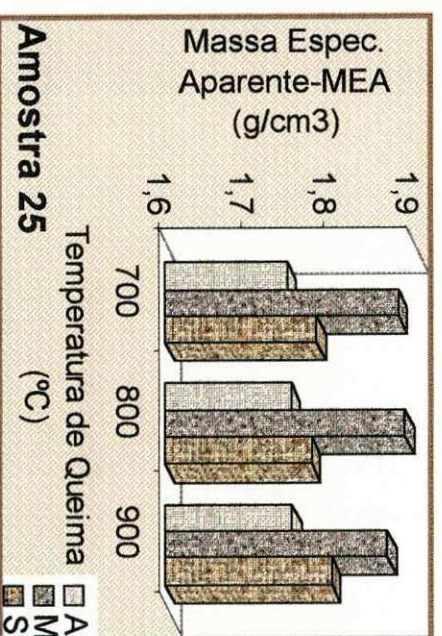


FIGURA A2.90 – Massa específica aparente da amostra 25.

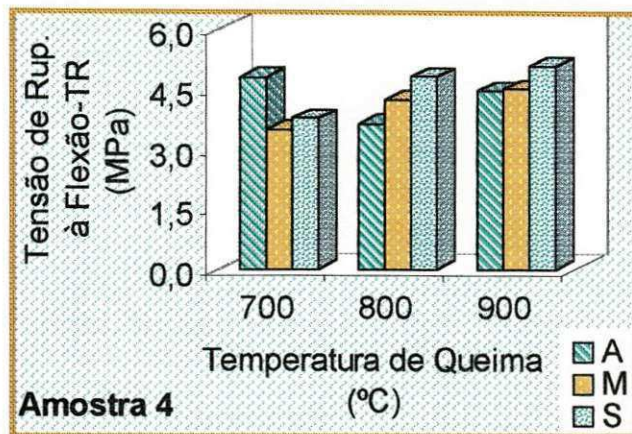


FIGURA A2.91 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 4.

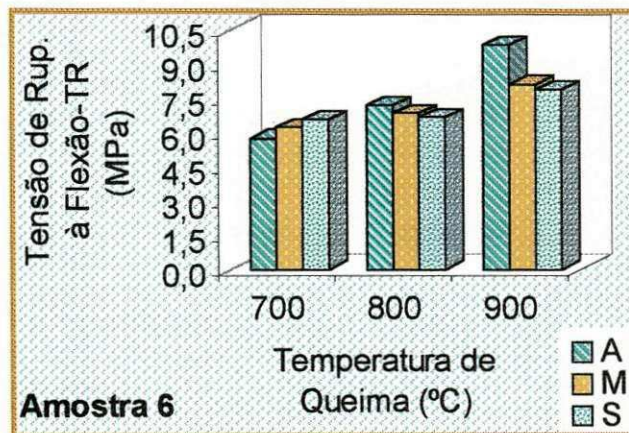


FIGURA A2.92 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 6.

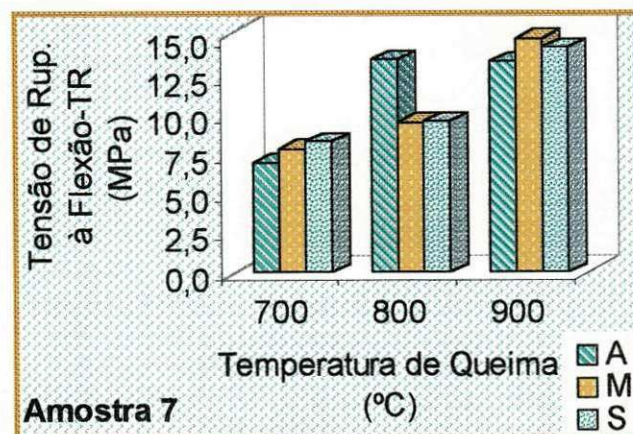


FIGURA A2.93 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 7.

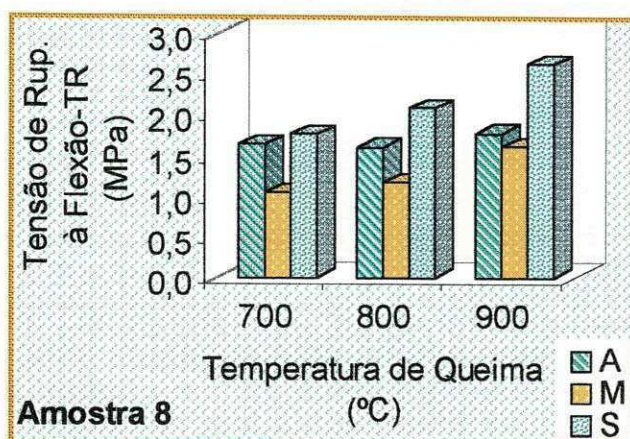


FIGURA A2.94 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 8.

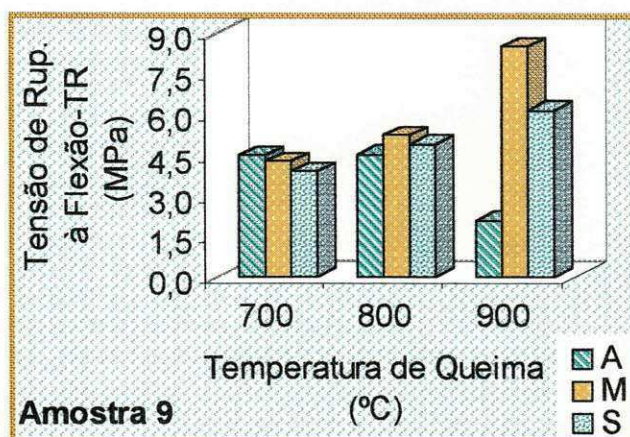


FIGURA A2.95 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 9.

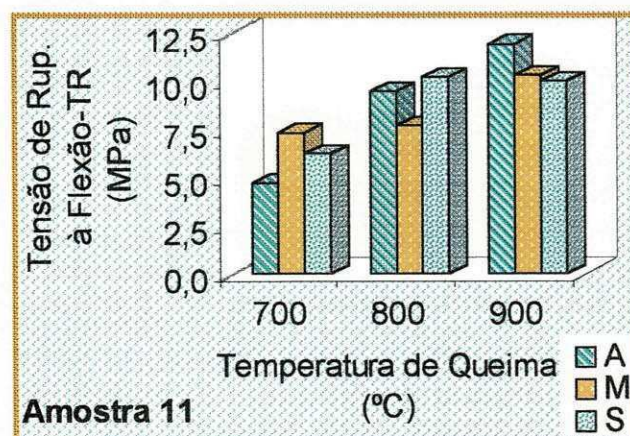


FIGURA A2.96 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 11.

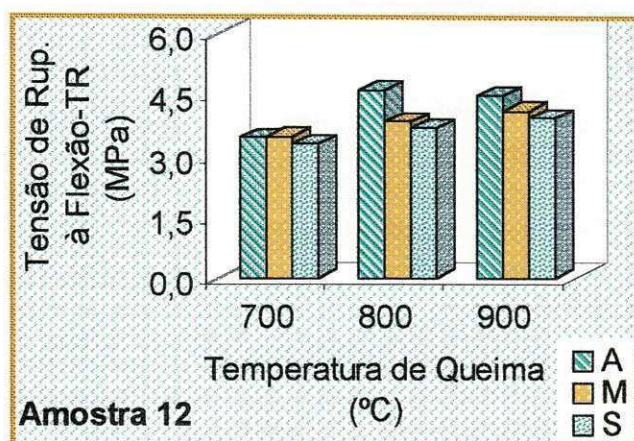


FIGURA A2.97 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 12.

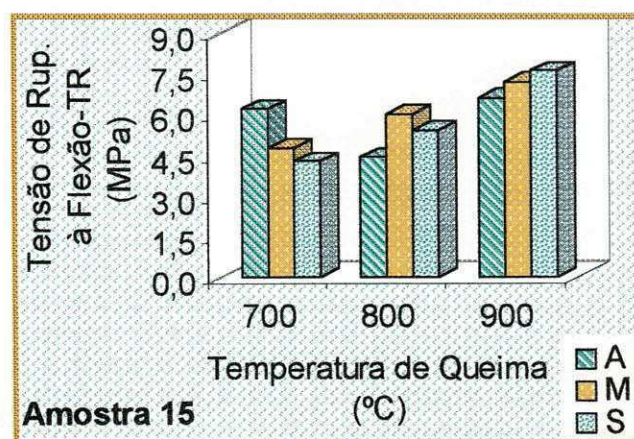


FIGURA A2.98 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 15.

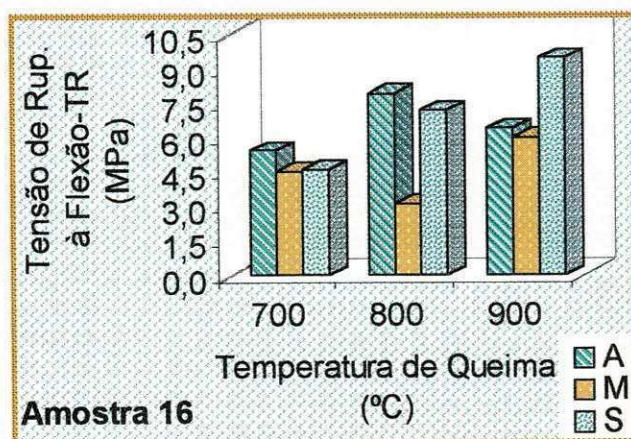


FIGURA A2.99 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 16.

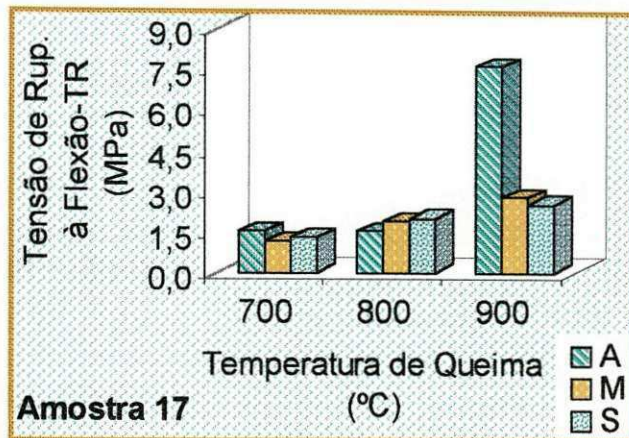


FIGURA A2.100 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 17.

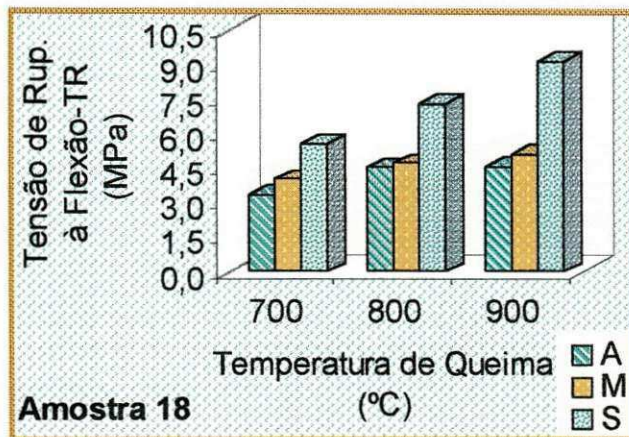


FIGURA A2.101 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 18.

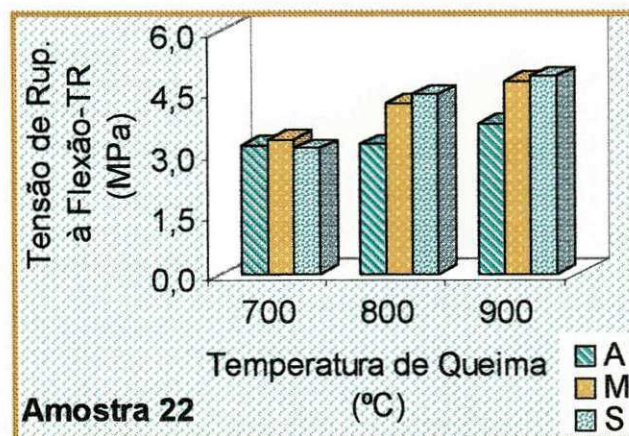


FIGURA A2.102 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 22.

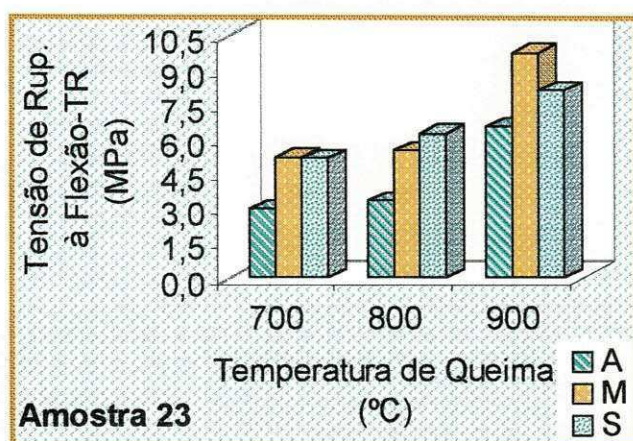


FIGURA A2.103 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 23.

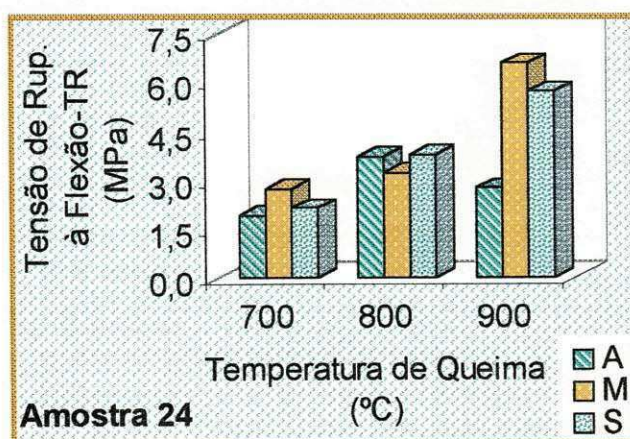


FIGURA A2.104 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 24.

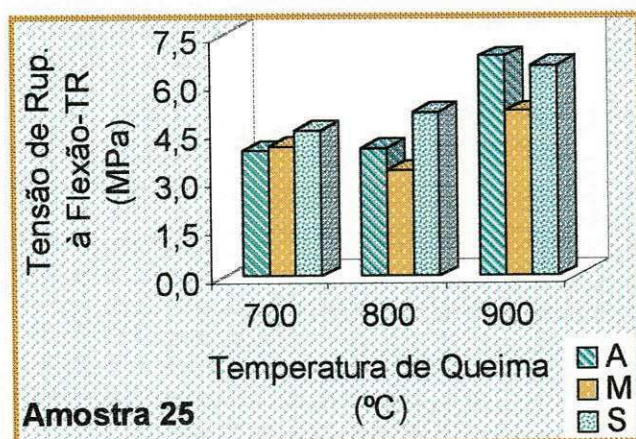


FIGURA A2.105 – Tensão de ruptura à flexão da amostra 25.

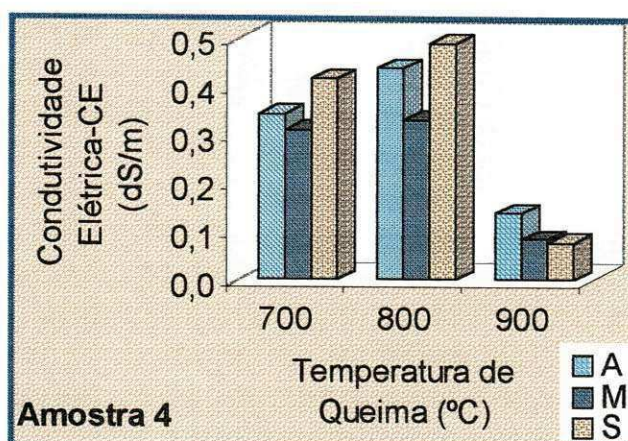


FIGURA A2.106 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 4.

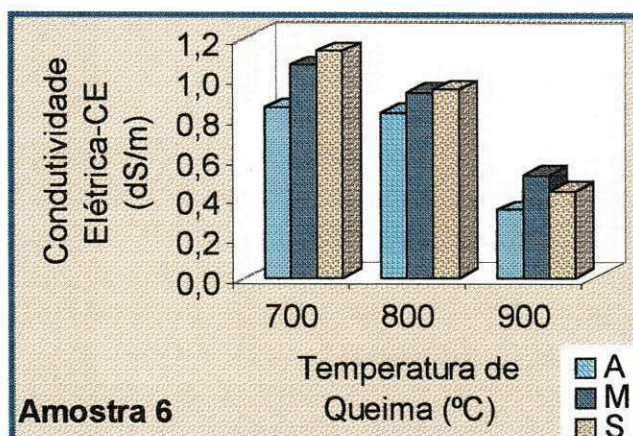


FIGURA A2.107 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 6.

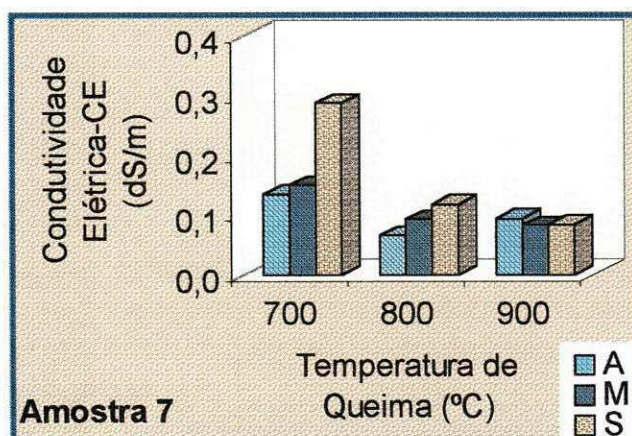


FIGURA A2.108 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 7.

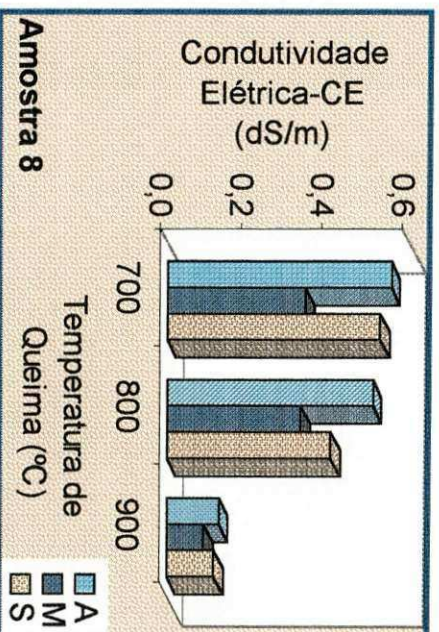


FIGURA A2.109 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 8.

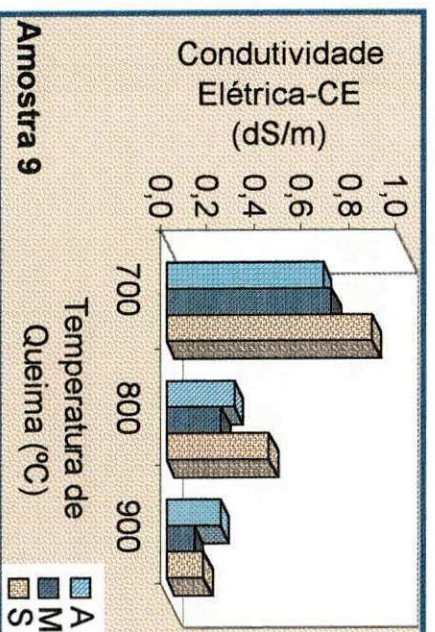


FIGURA A2.110 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 9.

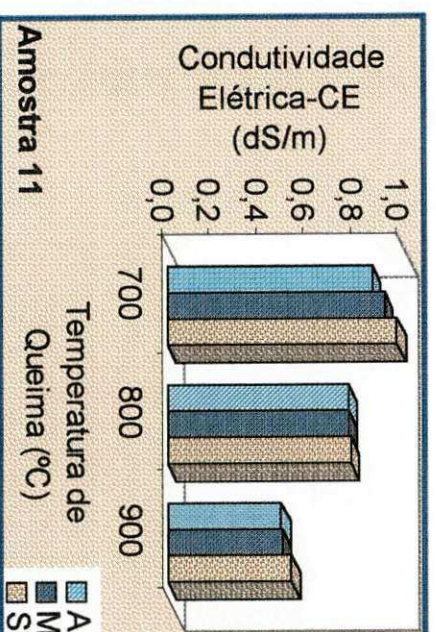


FIGURA A2.111 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 11.

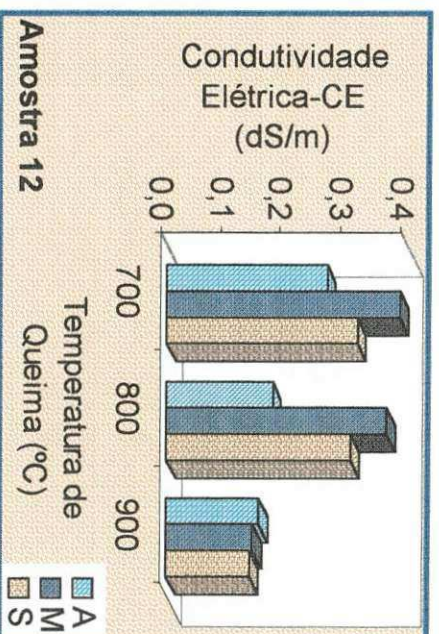


FIGURA A2.112 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 12.

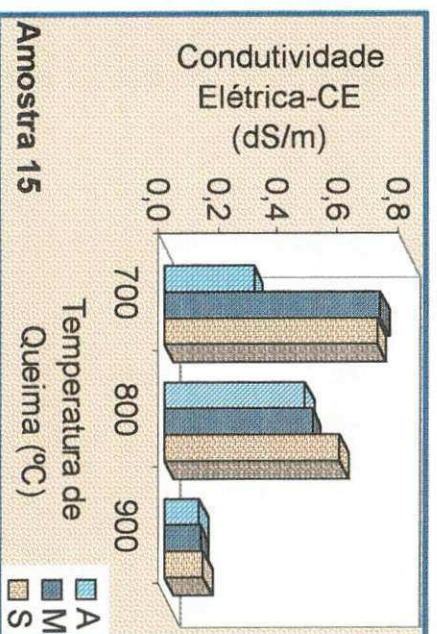


FIGURA A2.113 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 15.

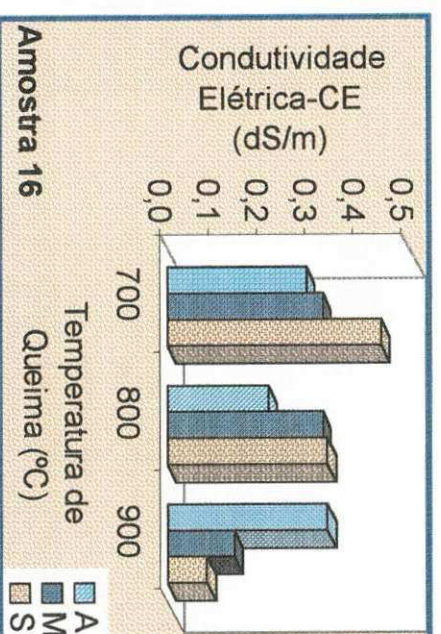


FIGURA A2.114 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 16.

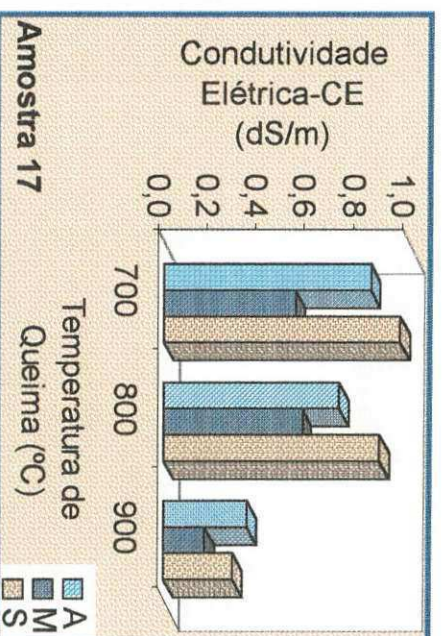


FIGURA A2.115 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 17.

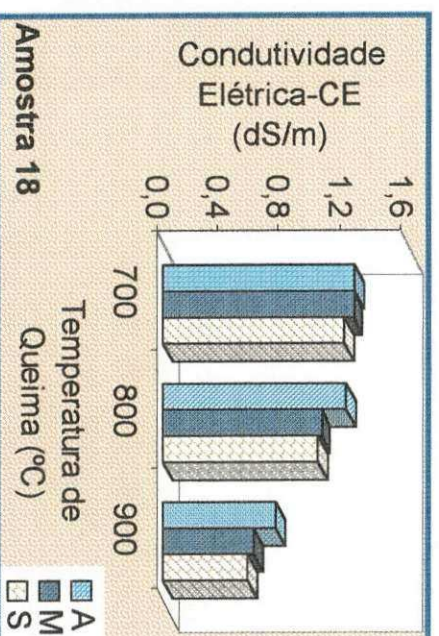


FIGURA A2.116 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 18.

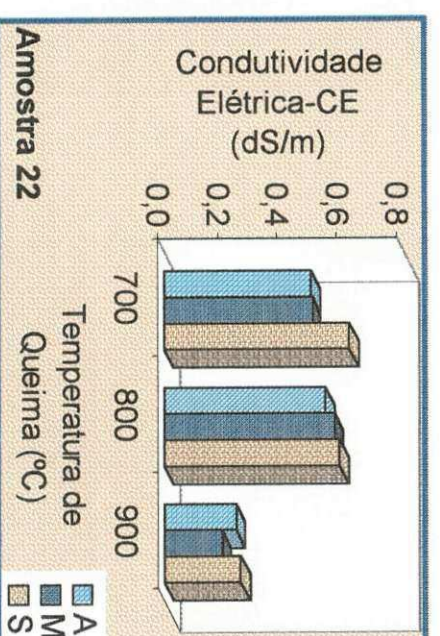


FIGURA A2.117 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 22.

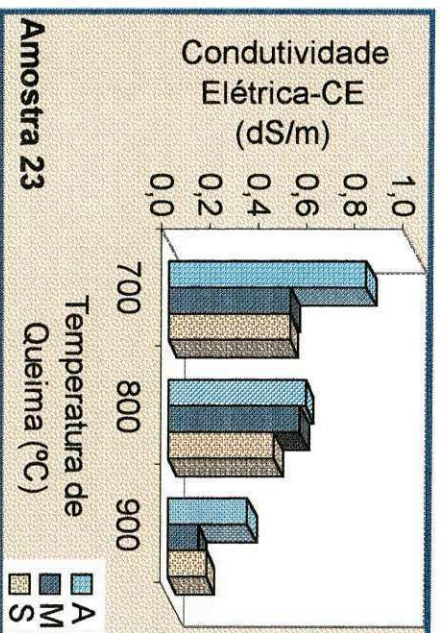


FIGURA A2.118 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 23.

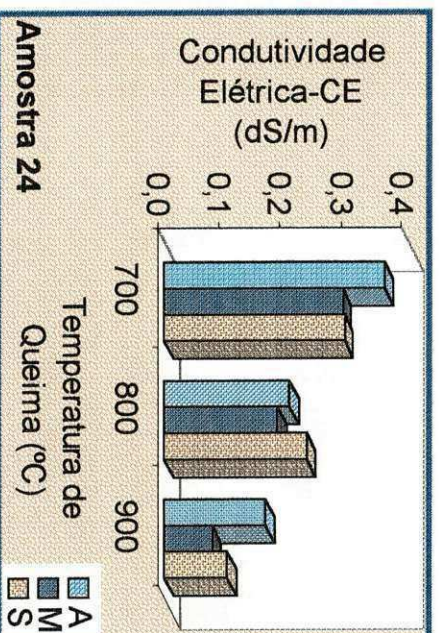


FIGURA A2.119 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 24.

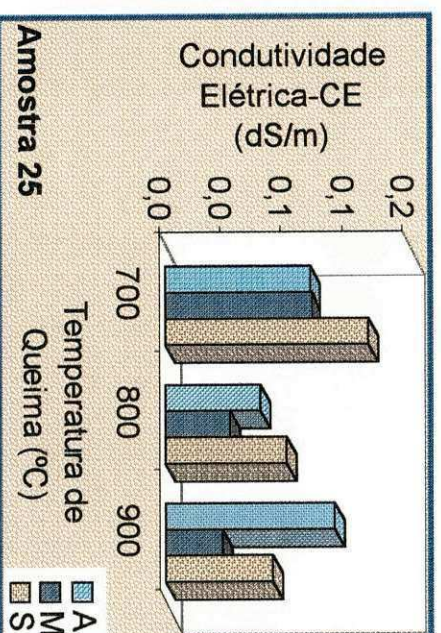


FIGURA A2.120 – Cond. elétrica no extrato dos corpos de provas da amostra 25.

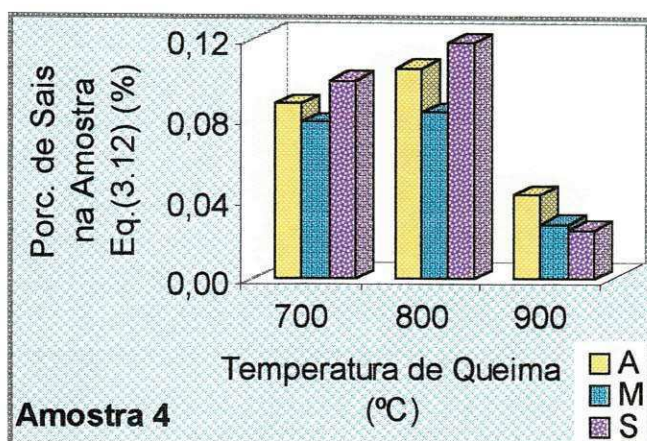


FIGURA A2.121 – Porcentagem de sais na amostra 4 estimada pela Equação (3.12).

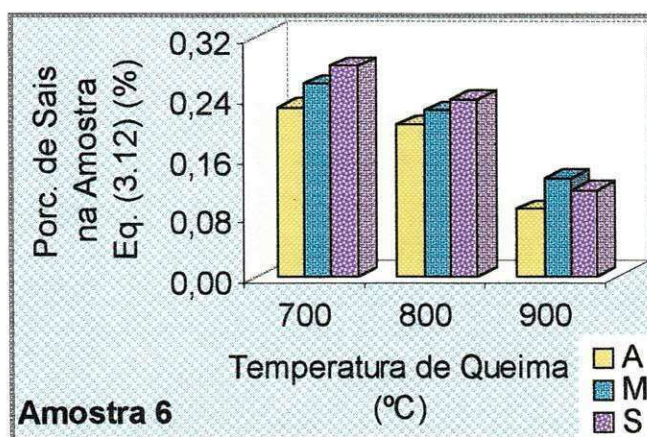


FIGURA A2.122 – Porcentagem de sais na amostra 6 estimada pela Equação (3.12).

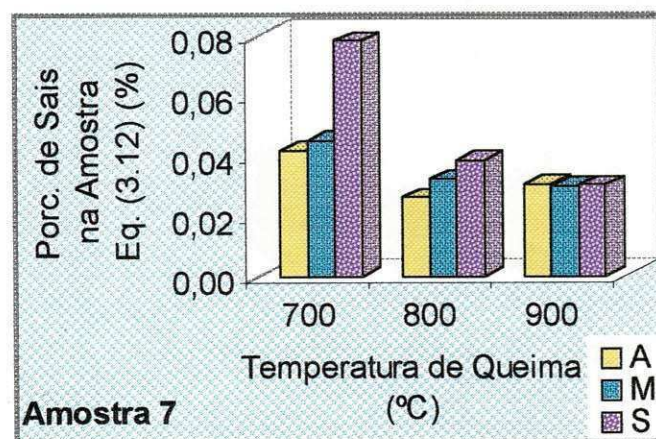


FIGURA A2.123 – Porcentagem de sais na amostra 7 estimada pela Equação (3.12).

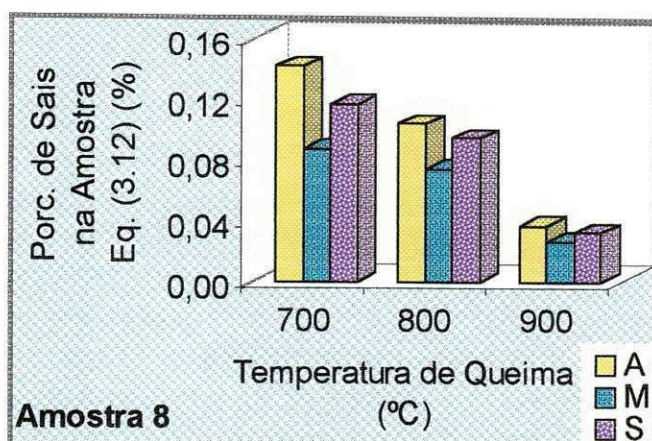


FIGURA A2.124 – Porcentagem de sais na amostra 8 estimada pela Equação (3.12).

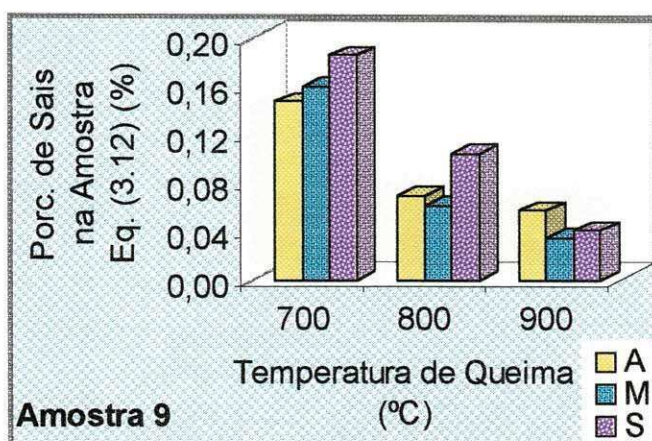


FIGURA A2.125 – Porcentagem de sais na amostra 9 estimada pela Equação (3.12).

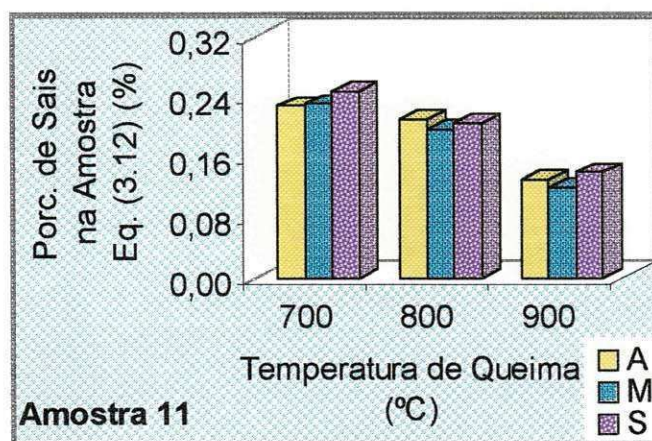


FIGURA A2.126 – Porcentagem de sais na amostra 11 estimada pela Equação (3.12).

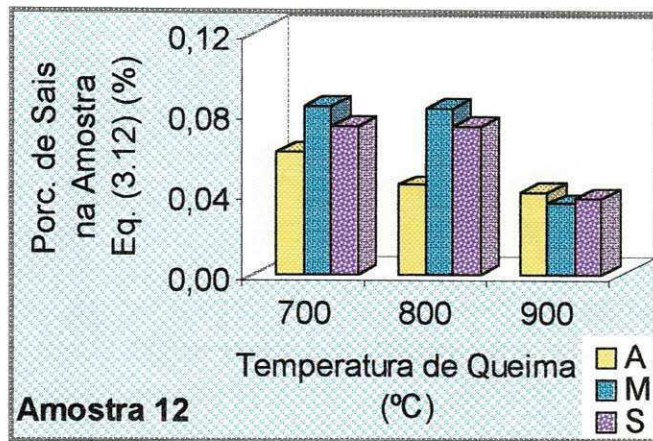


FIGURA A2.127 – Percentagem de sais na amostra 12 estimada pela Equação (3.12).

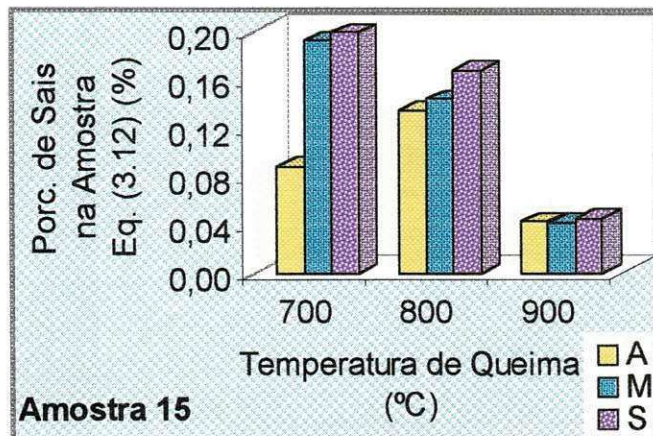


FIGURA A2.128 – Percentagem de sais na amostra 15 estimada pela Equação (3.12).

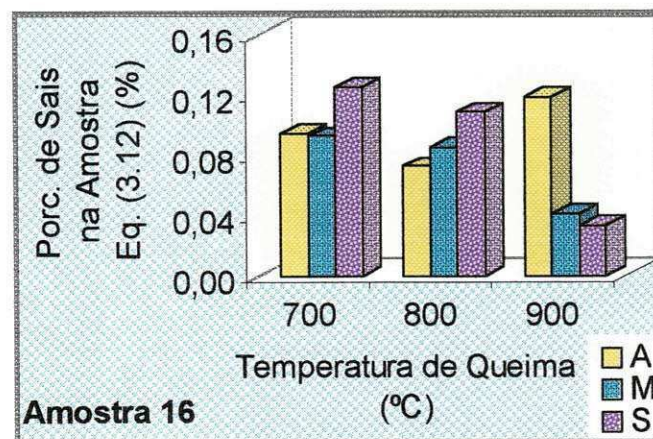


FIGURA A2.129 – Percentagem de sais na amostra 16 estimada pela Equação (3.12).

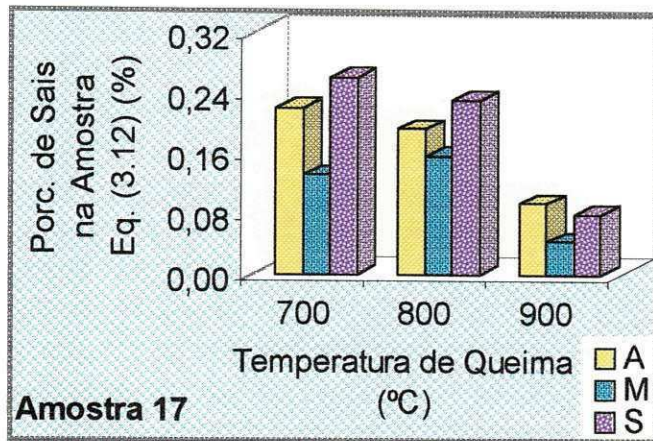


FIGURA A2.130 – Porcentagem de sais na amostra 17 estimada pela Equação (3.12).

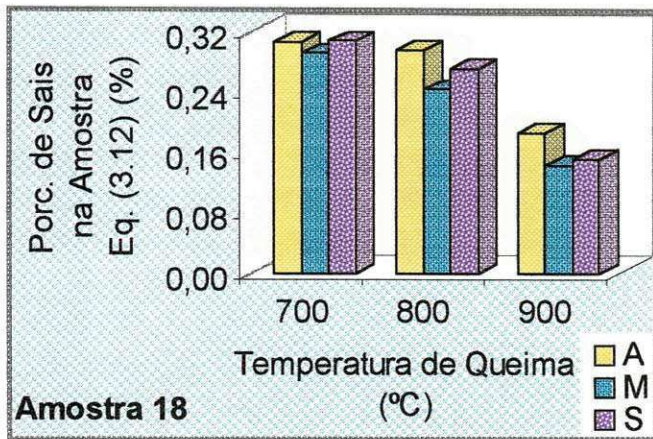


FIGURA A2.131 – Porcentagem de sais na amostra 18 estimada pela Equação (3.12).

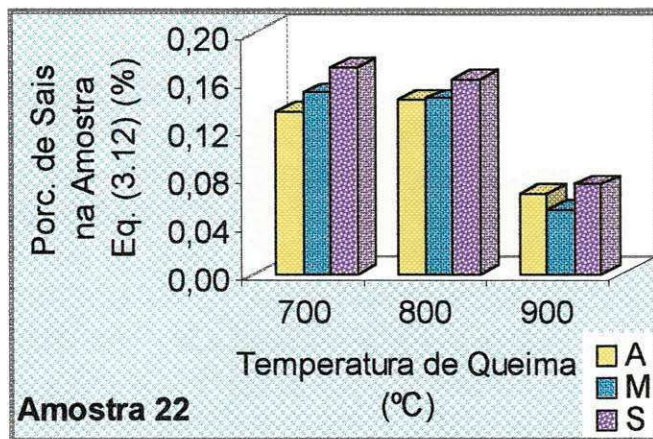


FIGURA A2.132 – Porcentagem de sais na amostra 22 estimada pela Equação (3.12).

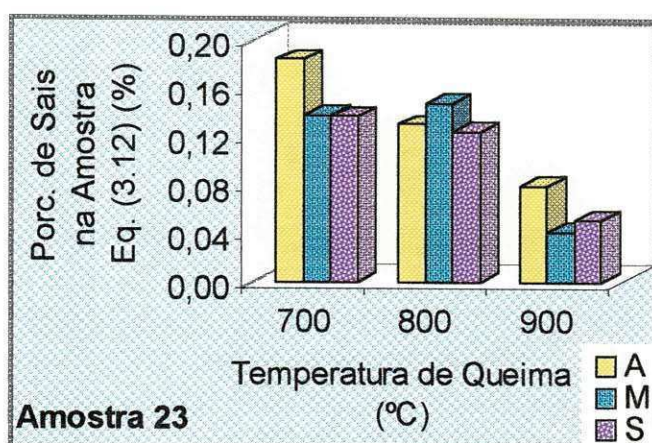


FIGURA A2.133 – Porcentagem de sais na amostra 23 estimada pela Equação (3.12).

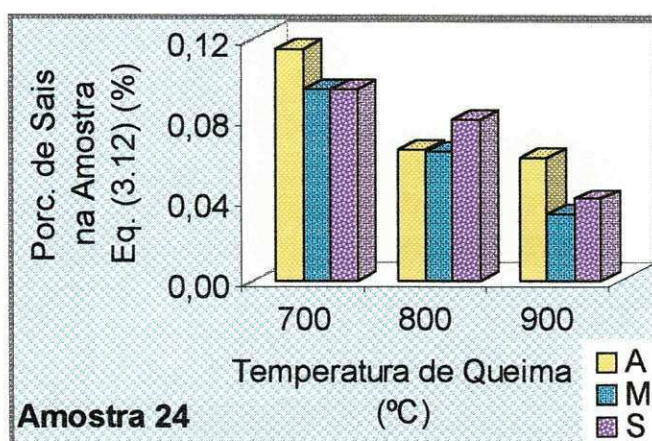


FIGURA A2.134 – Porcentagem de sais na amostra 24 estimada pela Equação (3.12).

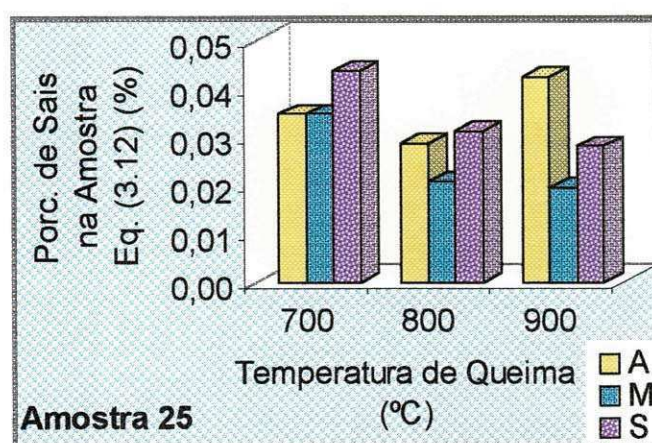


FIGURA A2.135 – Porcentagem de sais na amostra 25 estimada pela Equação (3.12).

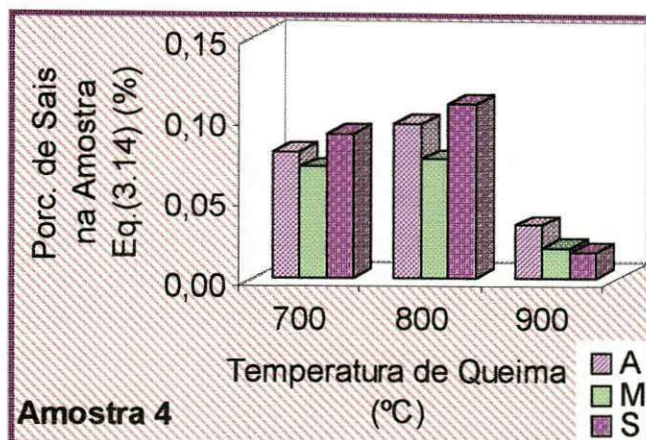


FIGURA A2.136 – Porcentagem de sais na amostra 4 estimada pela Equação (3.14).

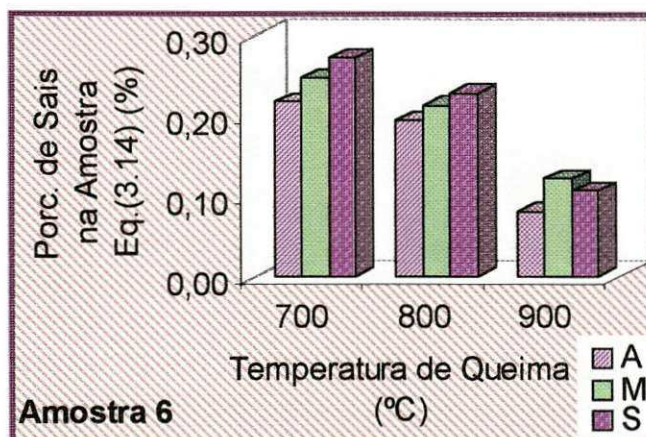


FIGURA A2.137 – Porcentagem de sais na amostra 6 estimada pela Equação (3.14).

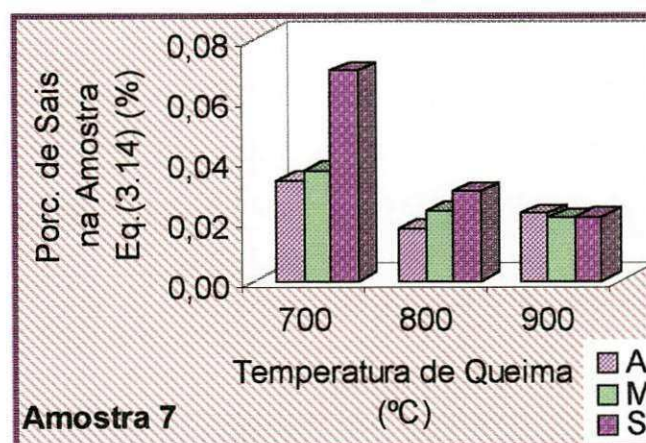


FIGURA A2.138 – Porcentagem de sais na amostra 7 estimada pela Equação (3.14).

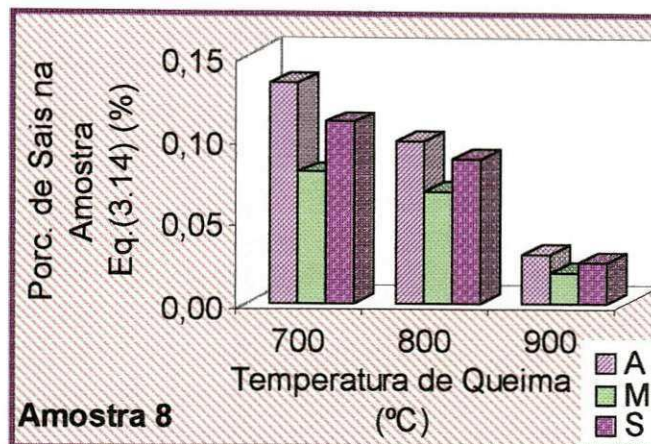


FIGURA A2.139 – Porcentagem de sais na amostra 8 estimada pela Equação (3.14).

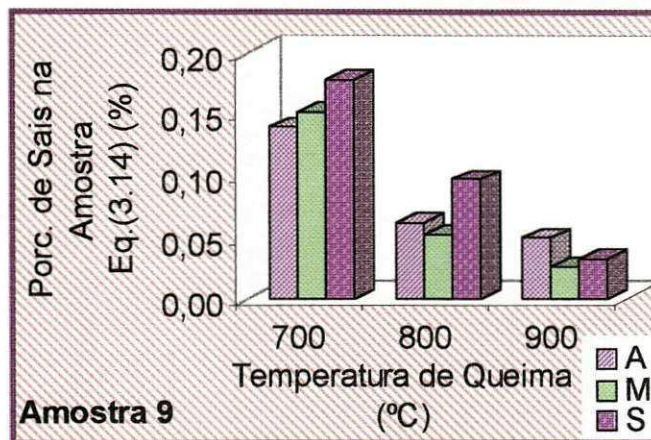


FIGURA A2.140 – Porcentagem de sais na amostra 9 estimada pela Equação (3.14).

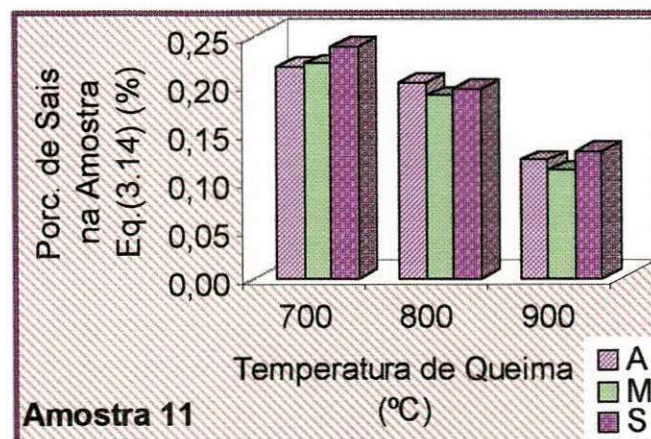


FIGURA A2.141 – Porcentagem de sais na amostra 11 estimada pela Equação (3.14).

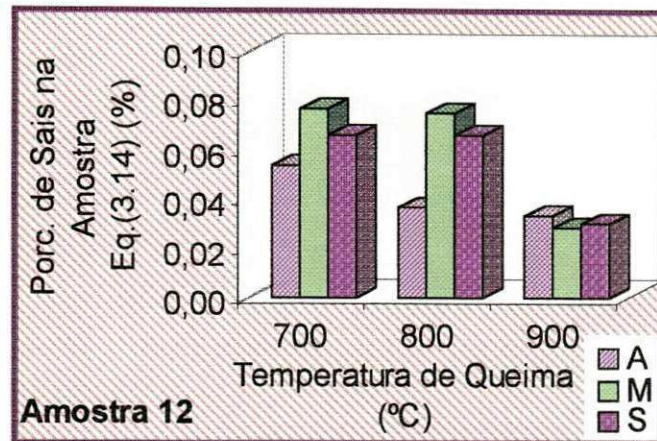


FIGURA A2.142 – Porcentagem de sais na amostra 12 estimada pela Equação (3.14).

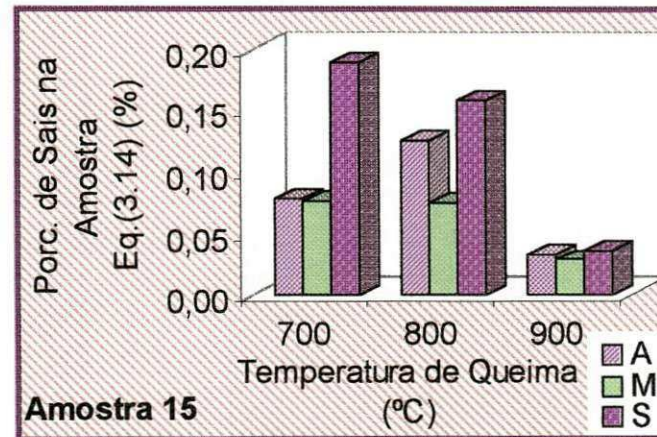


FIGURA A2.143 – Porcentagem de sais na amostra 15 estimada pela Equação (3.14).

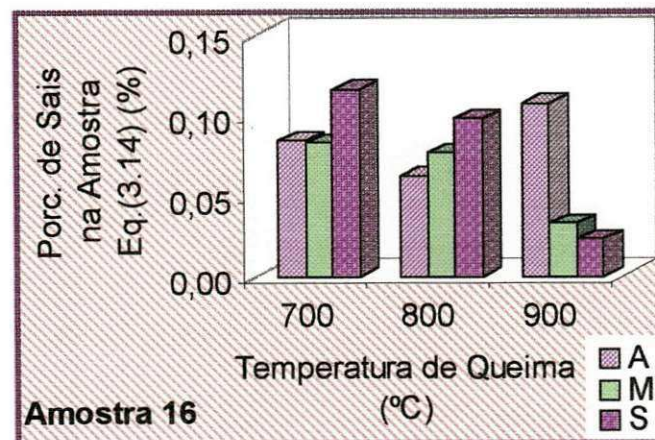


FIGURA A2.144 – Porcentagem de sais na amostra 16 estimada pela Equação (3.14).

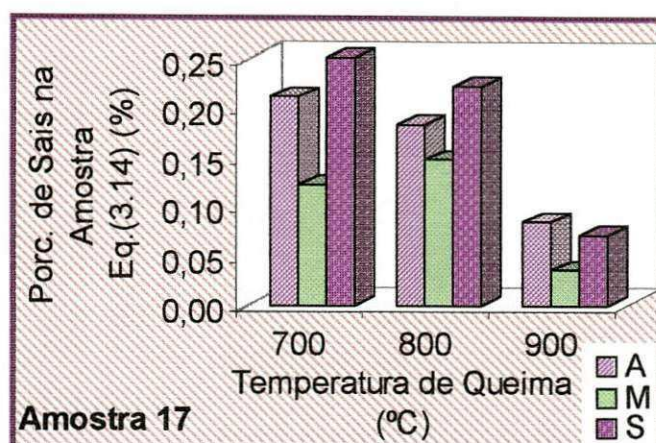


FIGURA A2.145 – Porcentagem de sais na amostra 17 estimada pela Equação (3.14).

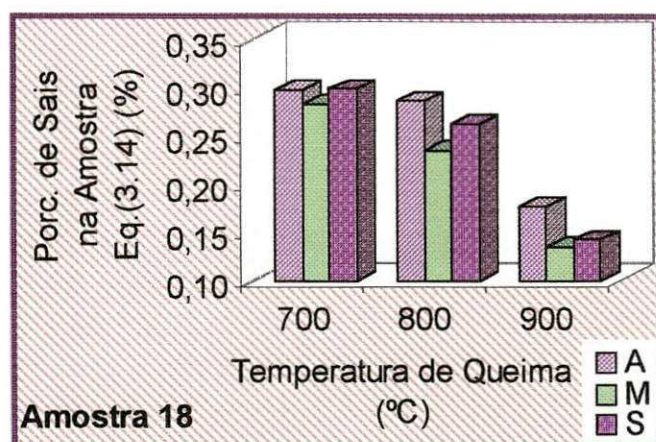


FIGURA A2.146 – Porcentagem de sais na amostra 18 estimada pela Equação (3.14).

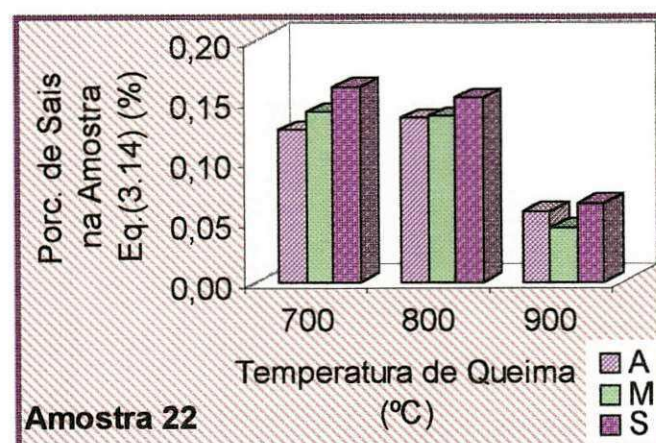


FIGURA A2.147 – Porcentagem de sais na amostra 22 estimada pela Equação (3.14).

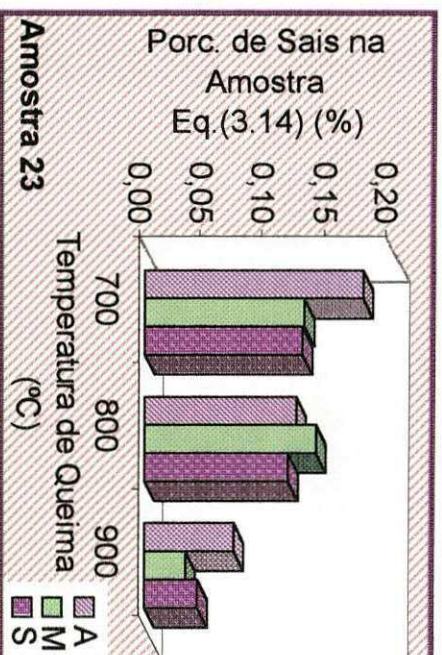


FIGURA A2.148 – Percentagem de sais na amostra 23 estimada pela Equação (3.14).

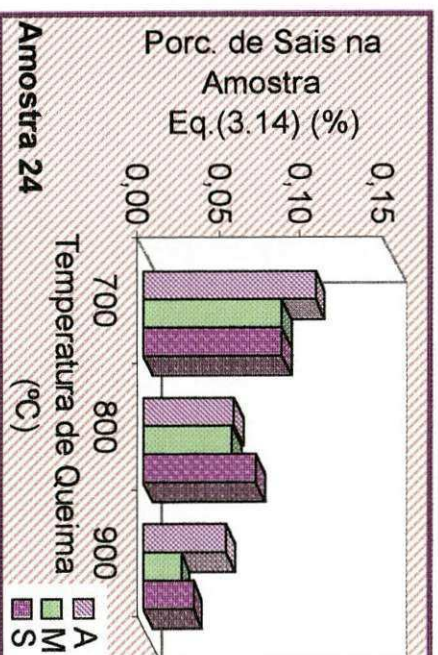


FIGURA A2.149 – Percentagem de sais na amostra 24 estimada pela Equação (3.14).

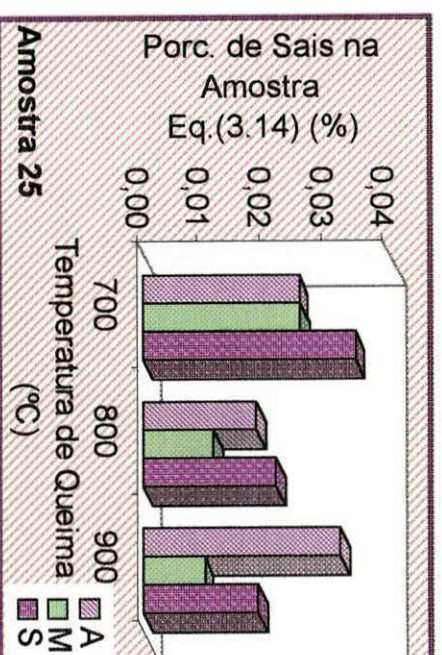


FIGURA A2.150 – Percentagem de sais na amostra 25 estimada pela Equação (3.14).

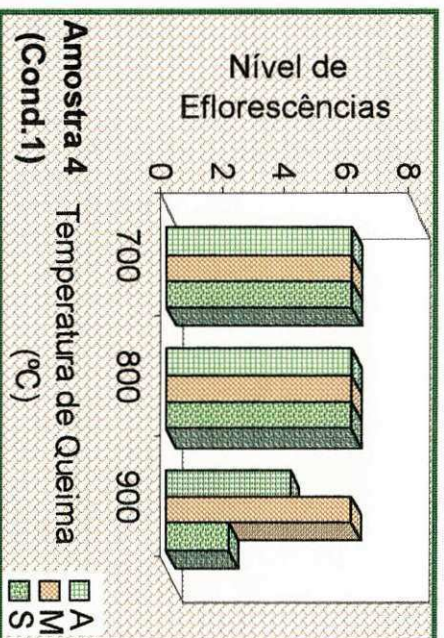


FIGURA A2.151 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 4 sob a condição 1.

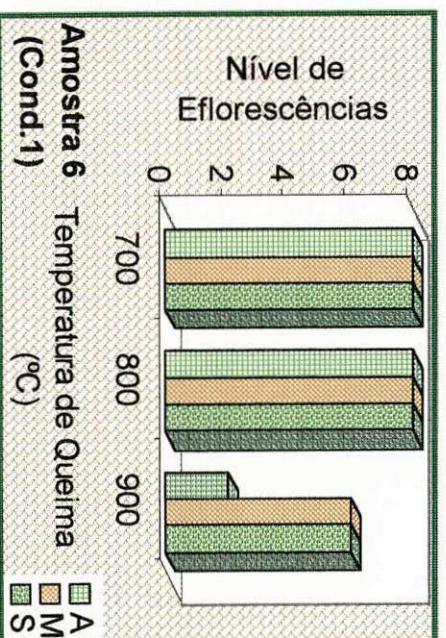


FIGURA A2.152 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 6 sob a condição 1.

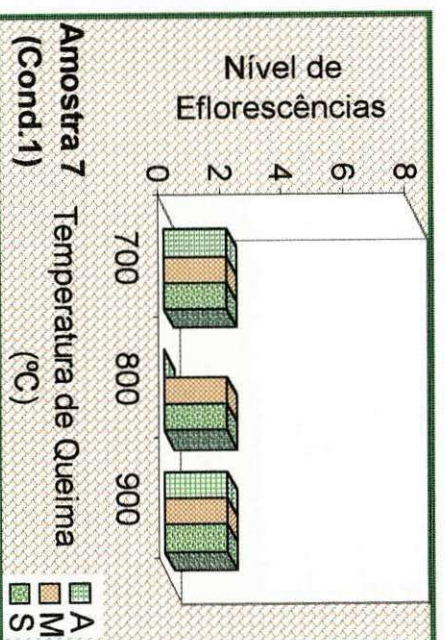


FIGURA A2.153 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 7 sob a condição 1.

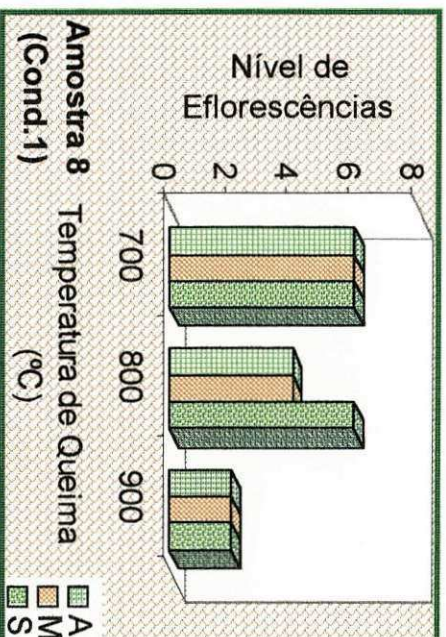


FIGURA A2.154 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 8 sob a condição 1.

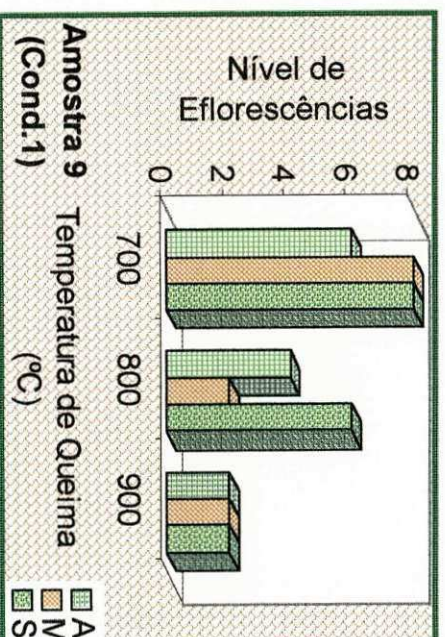


FIGURA A2.155 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 9 sob a condição 1.

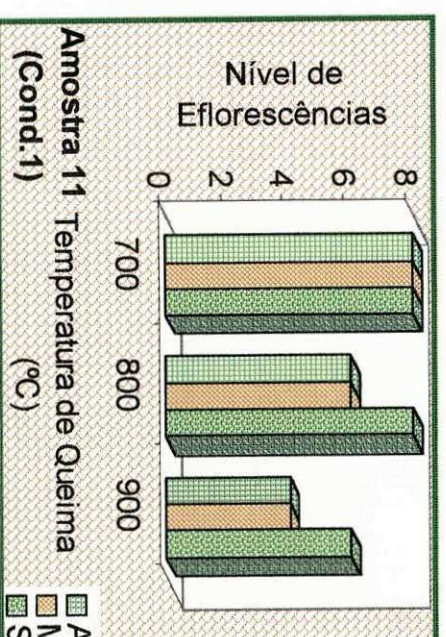


FIGURA A2.156 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 11 sob a condição 1.

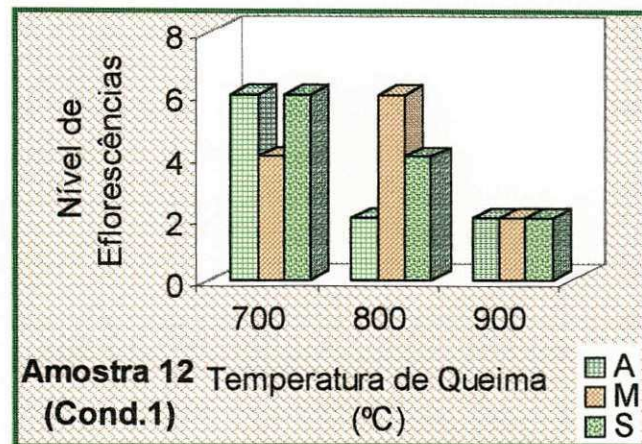


FIGURA A2.157 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 12 sob a condição1.

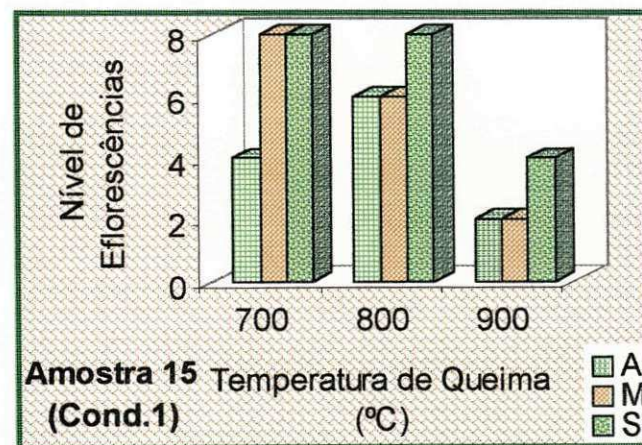


FIGURA A2.158 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 15 sob a condição1.

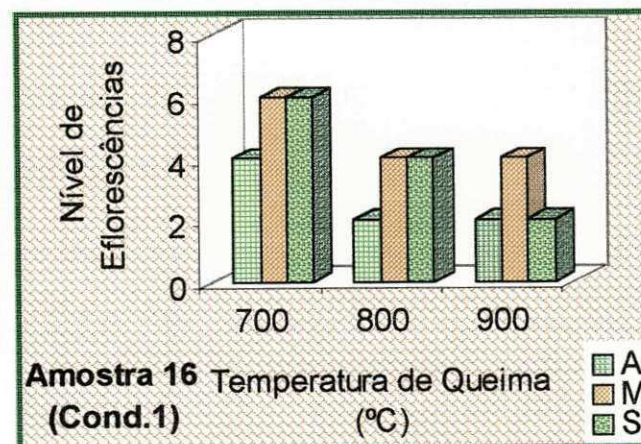


FIGURA A2.159 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 16 sob a condição1.

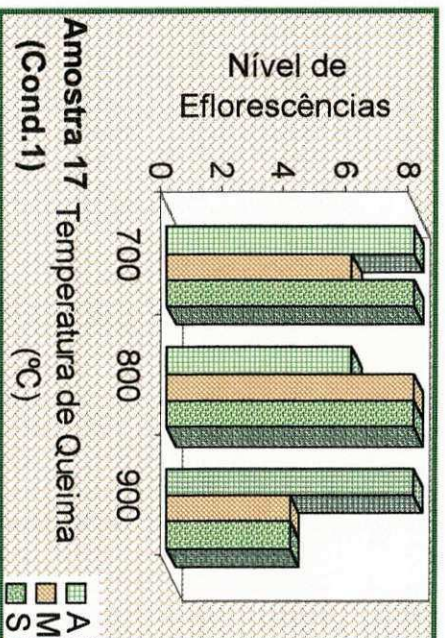


FIGURA A2.160 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 17 sob a condição 01.

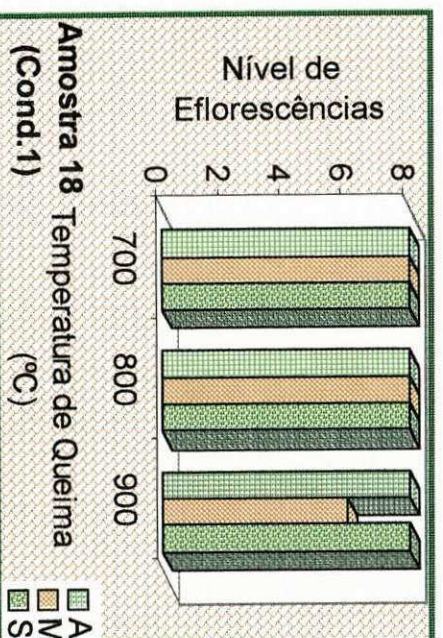


FIGURA A2.161 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 18 sob a condição 01.

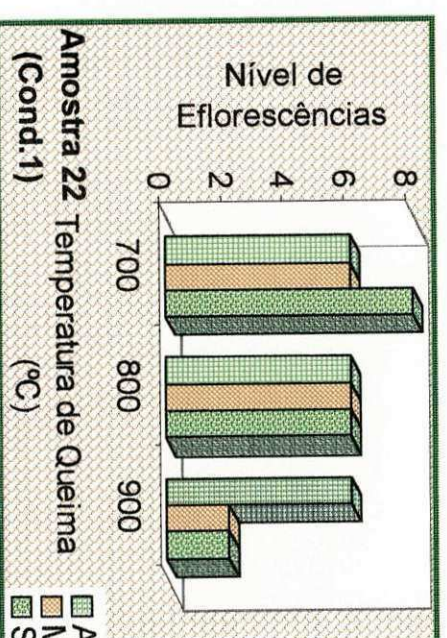


FIGURA A2.162 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 22 sob a condição 01.

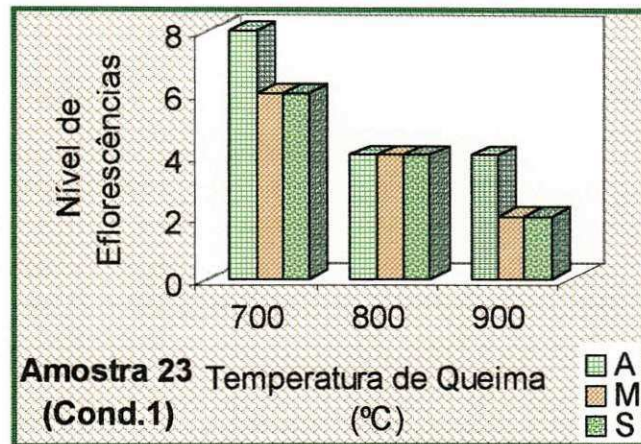


FIGURA A2.163 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 23 sob a condição 1.

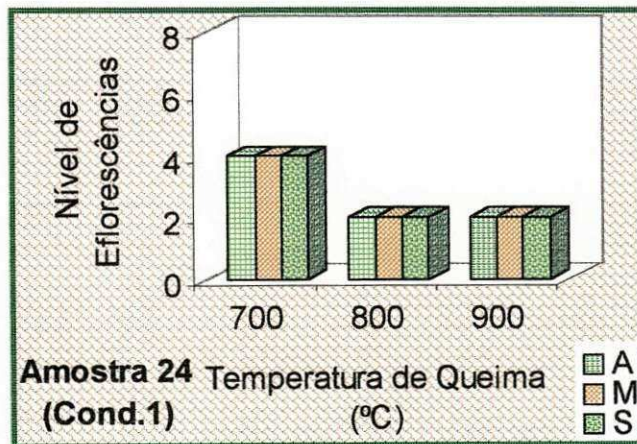


FIGURA A2.164 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 24 sob a condição 1.

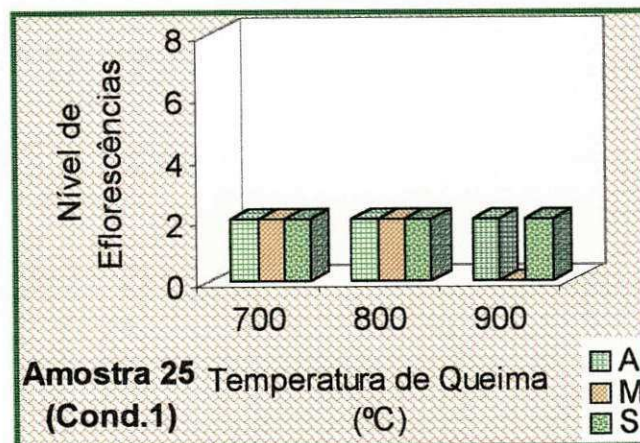


FIGURA A2.165 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 25 sob a condição 1.

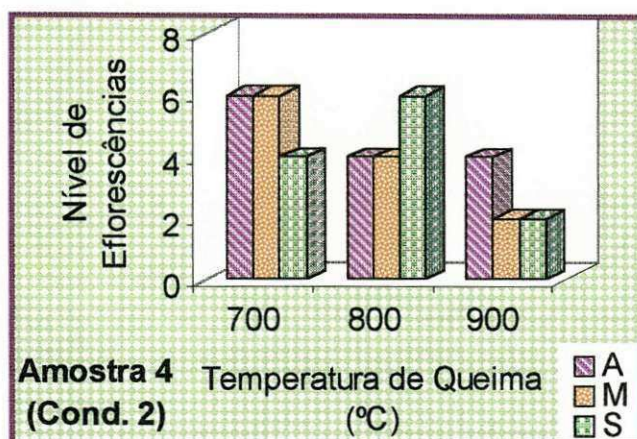


FIGURA A2.166 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 4 sob a condição 2.

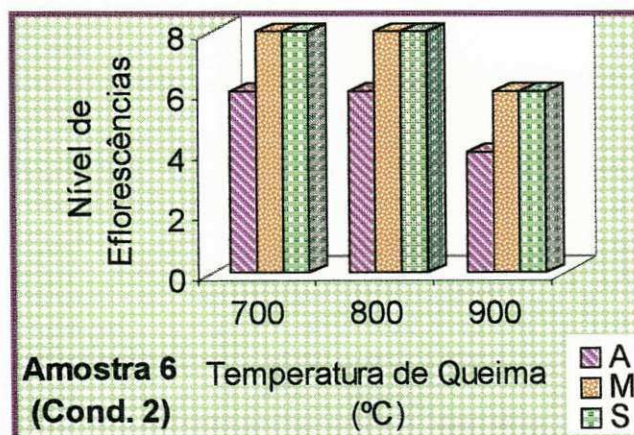


FIGURA A2.167 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 6 sob a condição 2.

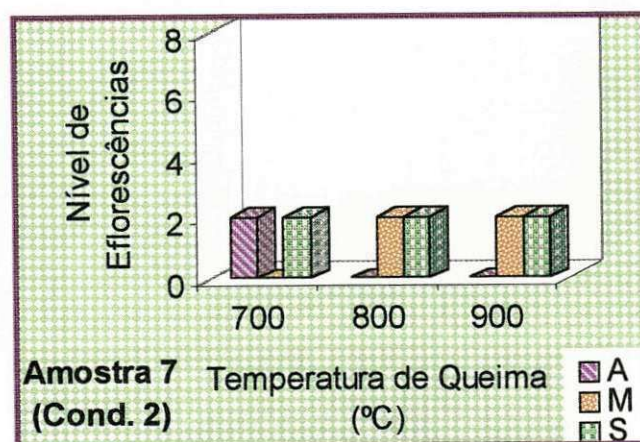


FIGURA A2.168 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 7 sob a condição 2.

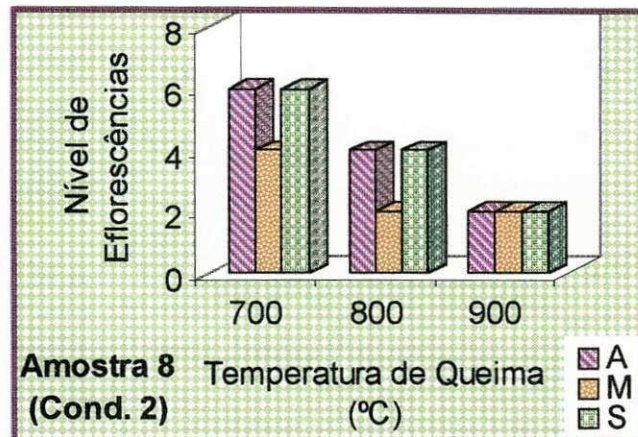


FIGURA A2.169 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 8 sob a condição 2.

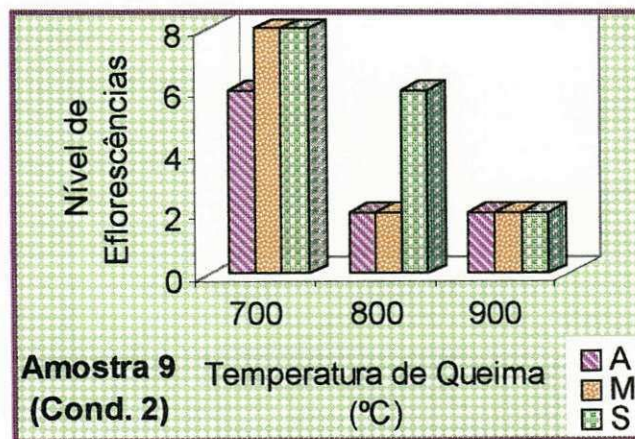


FIGURA A2.170 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 9 sob a condição 2.

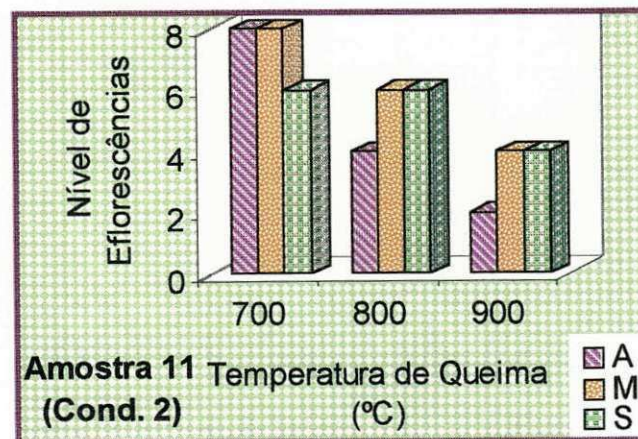


FIGURA A2.171 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 11 sob a condição 2.

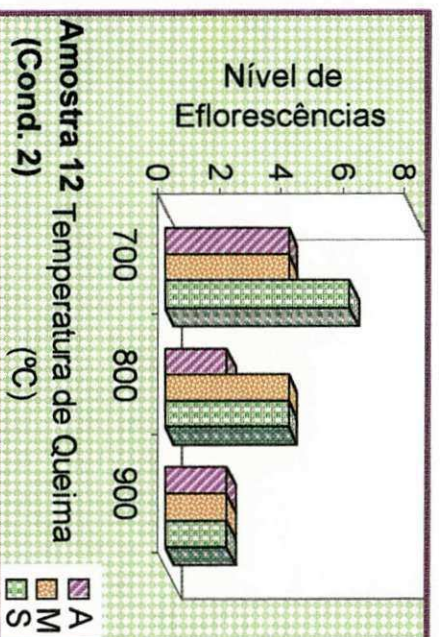


FIGURA A2.172 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 12 sob a condição 2.

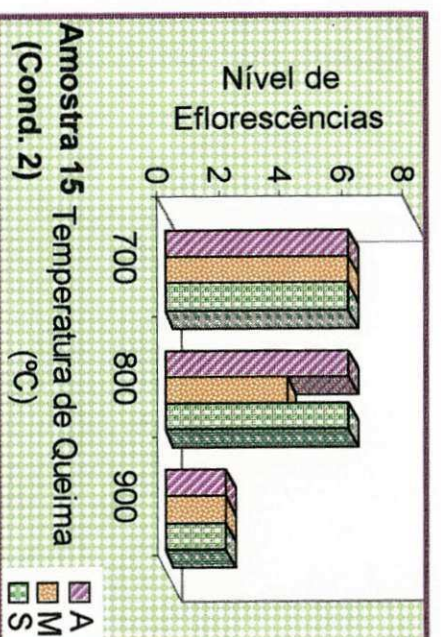


FIGURA A2.173 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 15 sob a condição 2.

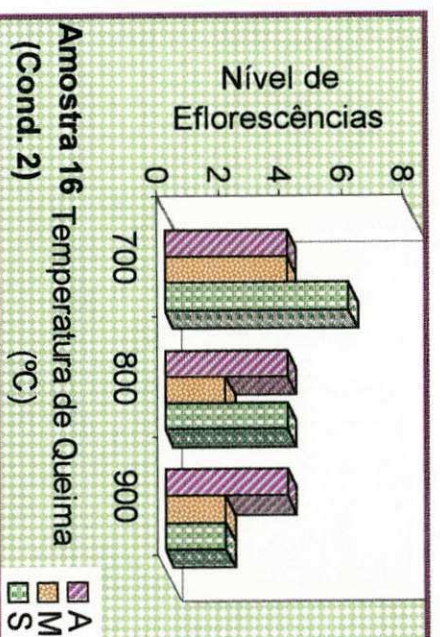


FIGURA A2.174 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 16 sob a condição 2.

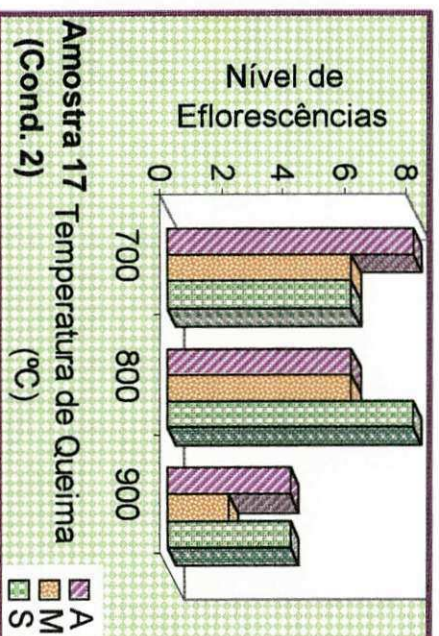


FIGURA A2.175 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 17 sob a condição 2.

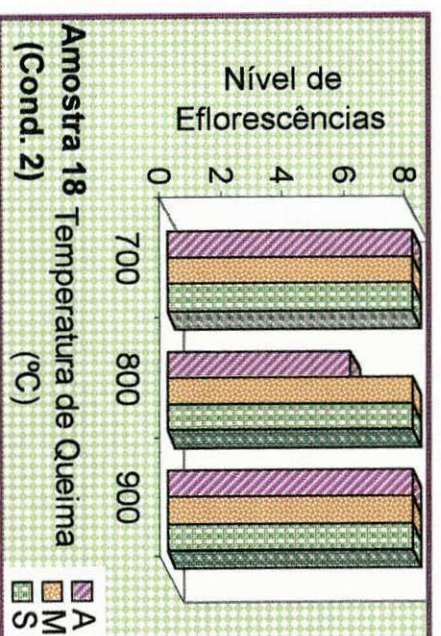


FIGURA A2.176 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 18 sob a condição 2.

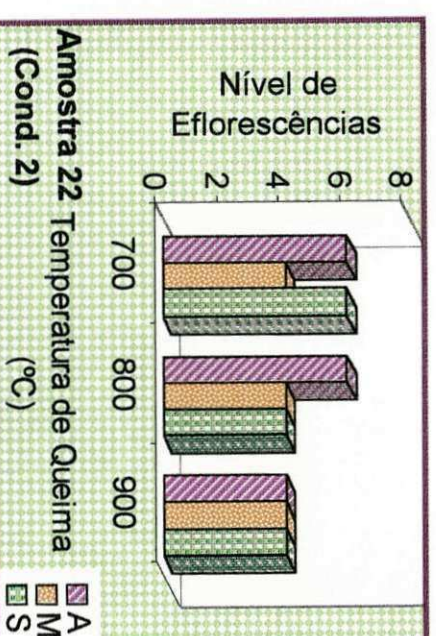


FIGURA A2.177 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 22 sob a condição 2.

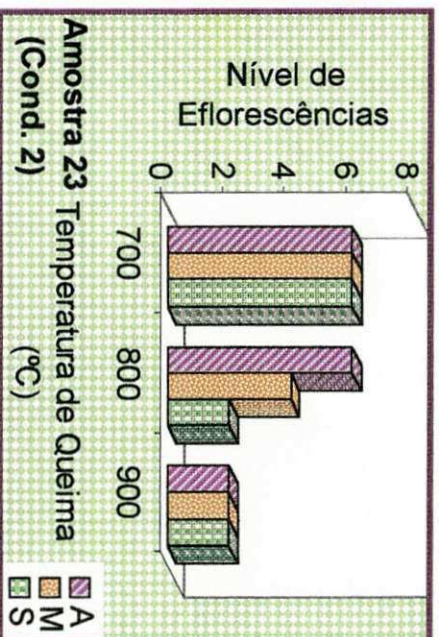


FIGURA A2.178 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 23 sob a condição 2.

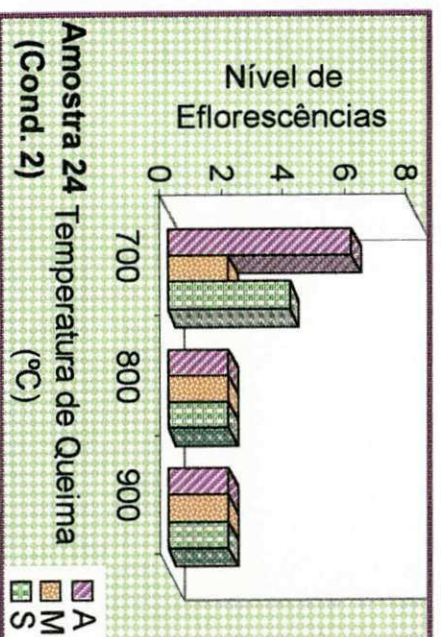


FIGURA A2.179 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 24 sob a condição 2.

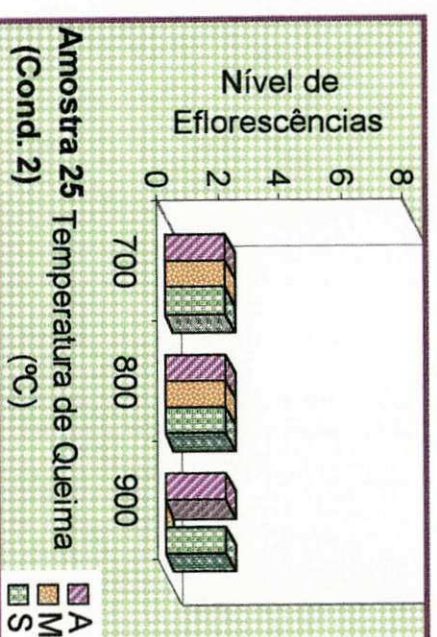


FIGURA A2.180 – Nível de eflorescências desenvolvido na amostra 25 sob a condição 2.

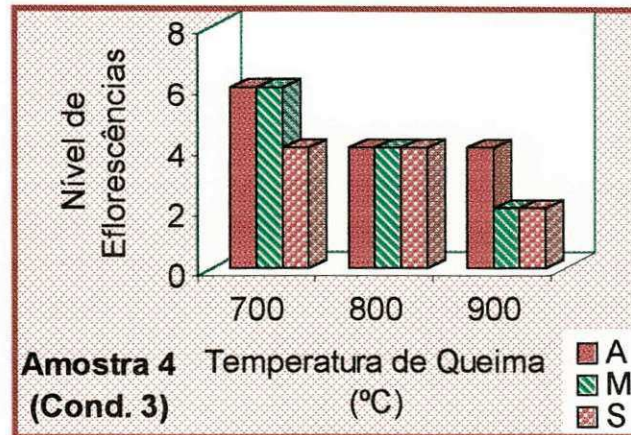


FIGURA A2.181 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 4 sob a condição 3.

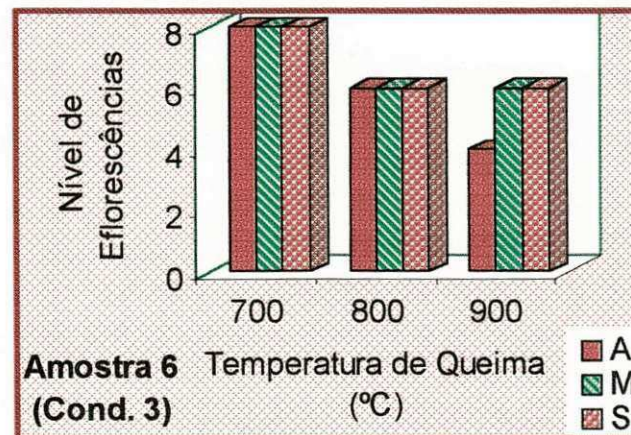


FIGURA A2.182 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 6 sob a condição 3.

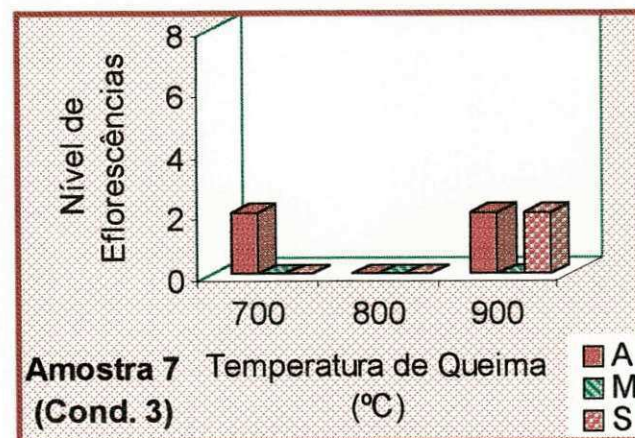


FIGURA A2.183 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 7 sob a condição 3.

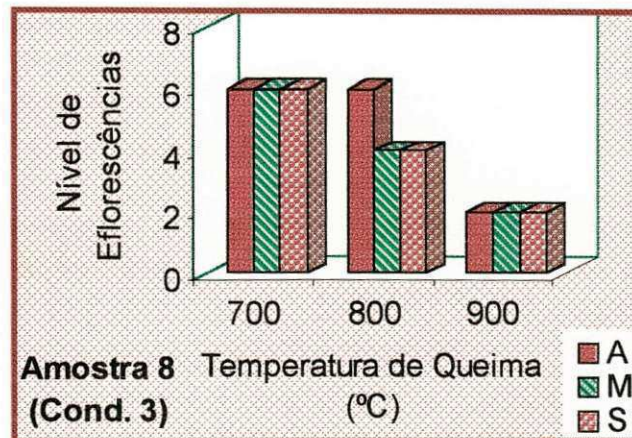


FIGURA A2.184 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 8 sob a condição 3.

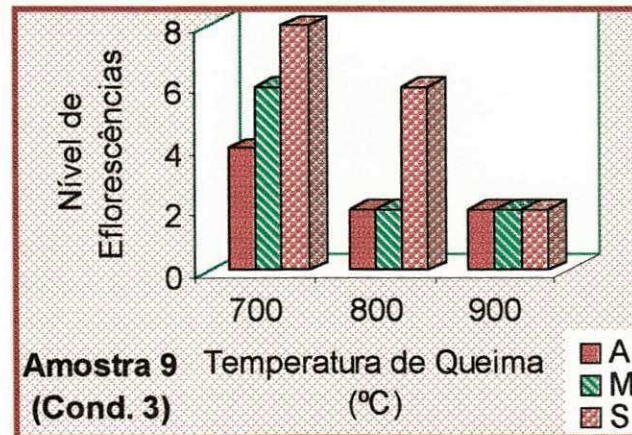


FIGURA A2.185 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 9 sob a condição 3.

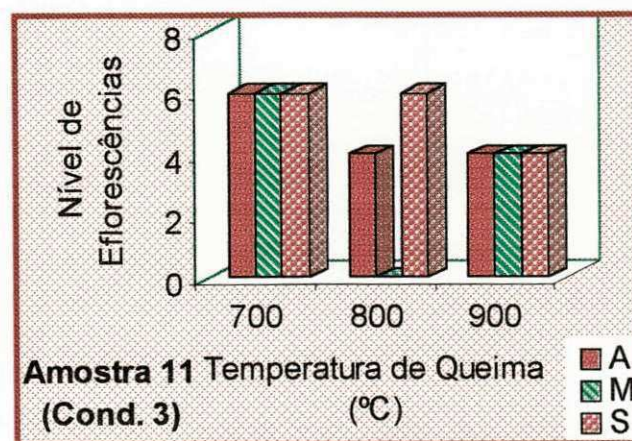


FIGURA A2.186 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 11 sob a condição 3.

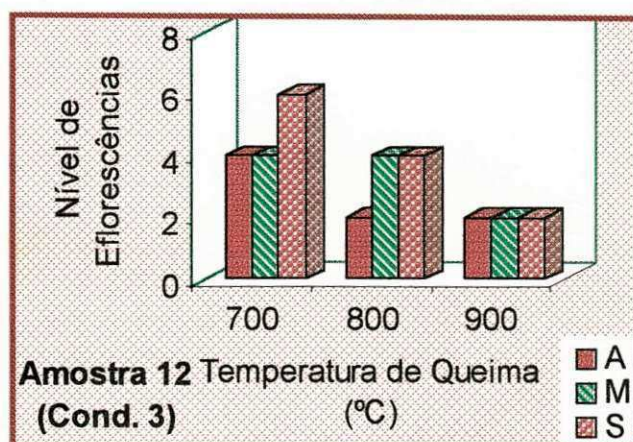


FIGURA A2.187 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 12 sob a condição 3.

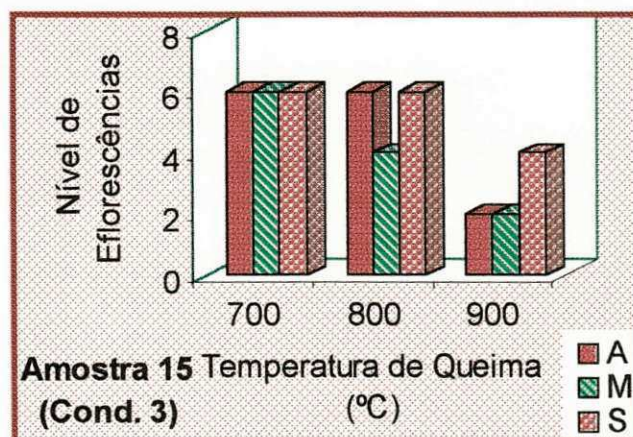


FIGURA A2.188 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 15 sob a condição 3.

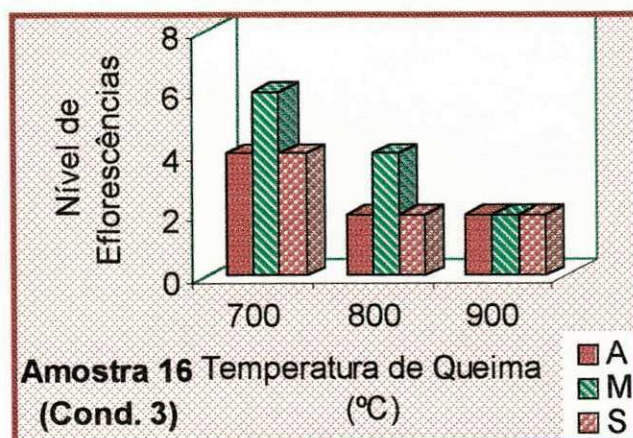


FIGURA A2.189 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 18 sob a condição 3.

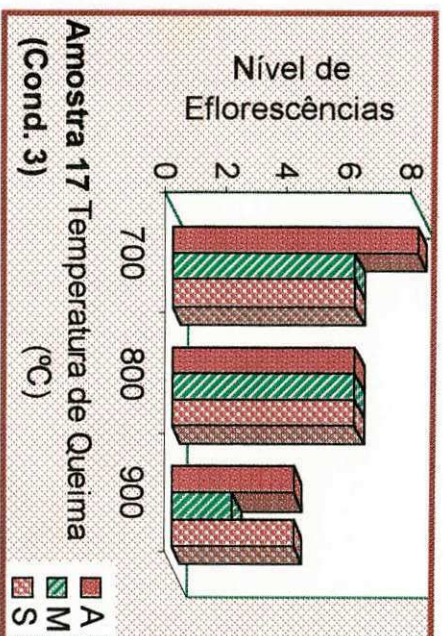


FIGURA A2.190 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 17 sob a condição 3.

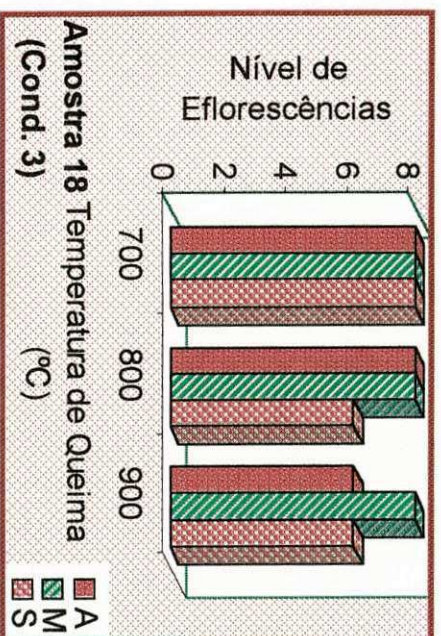


FIGURA A2.191 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 18 sob a condição 3.

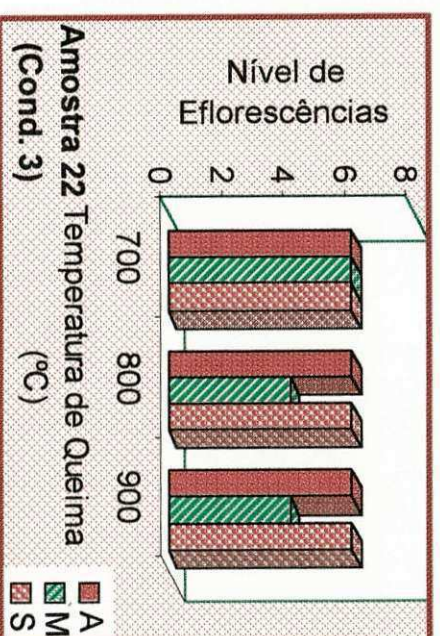


FIGURA A2.192 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 22 sob a condição 3.

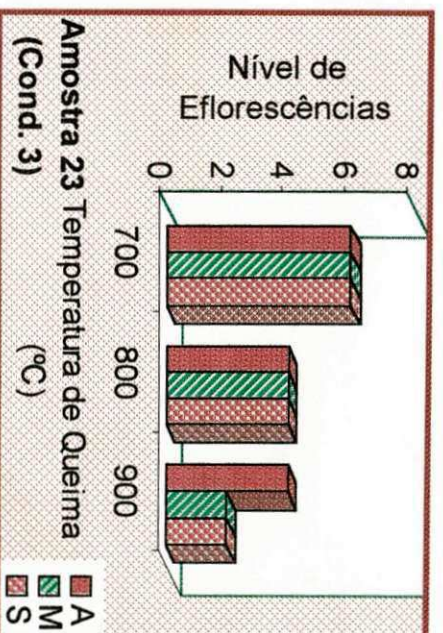


FIGURA A2.193 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 23 sob a condição 3.

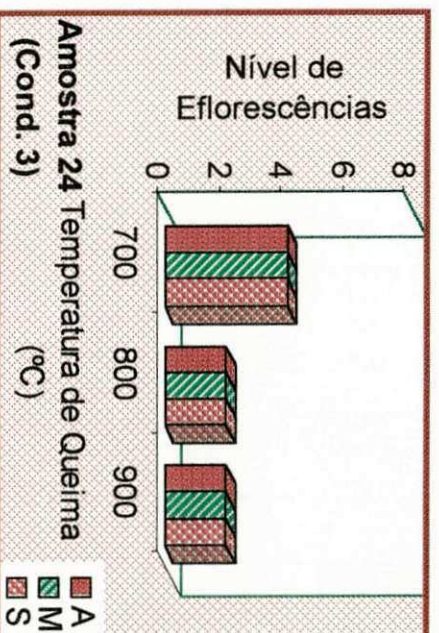


FIGURA A2.194 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 24 sob a condição 3.

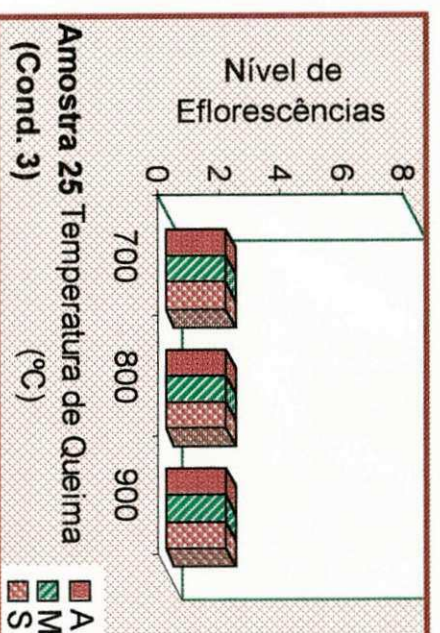


FIGURA A2.195 – Nível de eflorescências desenvolvido pela amostra 25 sob a condição 3.