

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DO PROCESSO DE  
FABRICAÇÃO DE PAPEL EM MASSAS DE  
REVESTIMENTO CERÂMICO TIPO SEMI GRÉS**

***UTILIZATION OF PAPER MILL PROCESS WASTE IN  
CERAMIC TILE COMPOSITION***

---

Herbet A. Oliveira  
Edilene S. Cunha  
Ricardo M. Gibbo  
José C. Bressiani

CENATEC SENAI "MARIO AMATO"  
IPEN - INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

Português / Portuguese



# APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL EM MASSAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO TIPO SEMI GRÉS

Herbet A. Oliveira\*; Edilene S. Cunha\*, Ricardo M. Gibbo\*; José C. Bressiani.\*\*  
Centro Nacional de Tecnologia em Cerâmica, Plásticos e Química Senai Mario Amato\*  
Av. José Odorizzi, 1555 - São Bernardo do Campo/SP - 09861-000  
E-mail: herbert@sp.senai.br  
IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares\*\*  
Travessa R, 400 – Cidade Universitária – São Paulo/SP-Brasil - 05508-900

## RESUMO

*Do processo KRAFT de fabricação de celulose e papel é gerado, em apenas uma fábrica nacional, 600 ton./mês de um resíduo constituído basicamente de  $\text{CaCO}_3$  e matéria orgânica conhecido como DREGS, que atualmente é depositado em aterros, ocasionando problemas econômicos e ambientais. Neste trabalho, procurou-se avaliar a possibilidade de reaproveitamento deste resíduo em massas de revestimento cerâmico do tipo semi grés. Os corpos de prova foram preparados a partir de massas produzidas via moagem a úmido e conformados por prensagem uniaxial. As propriedades avaliadas foram: resistência mecânica após secagem a  $110^\circ\text{C}$ , retração de secagem, resistência mecânica após queima a  $1180^\circ\text{C}$  em ciclo de 30 minutos, absorção de água, retração total e influência do grau de defloculação da suspensão em revestimentos cerâmicos. Os resultados mostraram que o resíduo isento de matéria orgânica, e dentro de certos limites, pode ser utilizado para melhorar a resistência mecânica e absorção de água do produto final, reduzindo custos de produção e diminuindo o impacto ambiental.*

PALAVRAS CHAVES: Revestimento Cerâmico, Resíduo Industrial, Reaproveitamento.

## 1. INTRODUÇÃO

É cada vez maior a preocupação das indústrias com o meio ambiente, principalmente após sancionada a lei (nº 9605,12/02/1998), referente a ISO 14000, a qual determina que as empresas geradoras de resíduos devem buscar alternativas de controle da poluição ambiental.

A madeira é a principal matéria-prima utilizada na produção de celulose e papel, sendo que em uma das fases do processo, ela passa por diversos tratamentos e reações, onde é gerada a pasta celulósica que dá origem a um resíduo conhecido como DREGS.<sup>(1)(2)</sup> Ele é utilizado como fonte alternativa, em substituição ao calcário, no processo de fabricação de cimento, para corrigir a acidez de solos agrícolas e no processo de branqueamento ácido, em uma das fases do processo de fabricação de papel.<sup>(3)(4)</sup> No entanto, a quantidade desse resíduo gerado no processo de produção de celulose é muito grande; aproximadamente 600 ton./mês em apenas uma unidade produtiva nacional, que não é absorvida integralmente nestes ramos de atividade, gerando problemas econômicos e

ambientais. Desse resíduo pode ser separada uma fração rica em cálcio e sódio, isenta de matéria orgânica, conhecida como LAMA DE CAL, conforme Figura 1 abaixo.

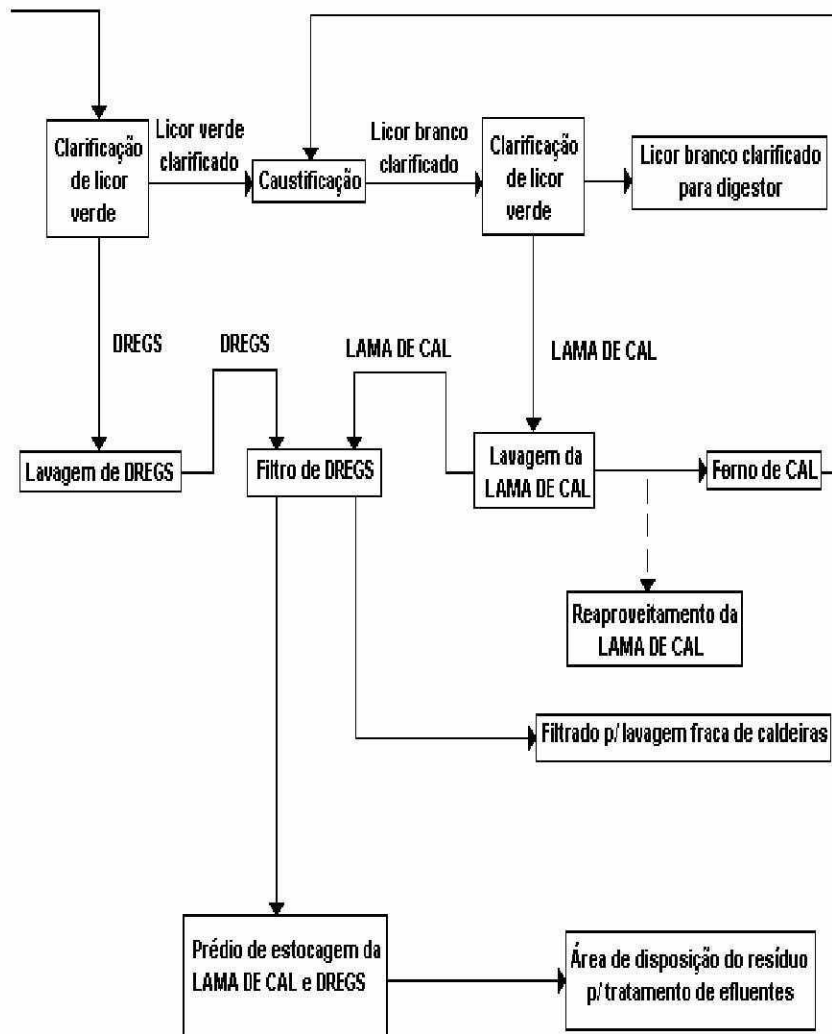


Figura 1: Fluxo do processo KRAFT de recuperação da soda

O objetivo desse trabalho é o estudo do reaproveitamento do resíduo LAMA DE CAL em massas de revestimento cerâmico do tipo semi grés.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1. Caracterização dos Resíduos LAMA DE CAL e DREGS

Inicialmente, foi realizada uma caracterização do resíduo dos DREGS e LAMA DE CAL, envolvendo análise química, ATD (Análise Térmica Diferencial), análise granulométrica e difração de raios X. Os resultados dessa caracterização são mostrados a seguir. A Tabela I abaixo mostra a análise química dos resíduos.

Tabela I: Composição química da LAMA DE CAL e DREGS

MATÉRIA PRIMA	PF	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ZnO	Mn <sub>2</sub> O	PbO	BaO	SO <sup>4</sup>
				3									
LAMA DE CAL	42,72	0,37	1,96	0,09	53,01	0,73	0,74	0,04	-	-	-	-	0,43
DREGS	33,03	2,18	0,80	0,49	38,13	1,98	16,65	0,75	0,08	0,73	0,4	1,97	3,3

A composição química da LAMA DE CAL é similar a uma calcita comercial. Já os DREGS possuem impurezas como metais pesados, sulfatos e principalmente matéria orgânica que é indesejável em processos de fabricação de revestimentos cerâmicos, pois geram defeitos como empenamentos.

A seguir foi realizado o ensaio de ATD (Análise térmica diferencial) que avalia o comportamento de uma matéria-prima sob aquecimento, visando avaliar as possíveis reações que podem ocorrer durante a queima. Conforme pode ser visto na Figura 2 abaixo, os DREGS apresentaram picos exotérmicos nas temperaturas de 380°C e 580°C, decorrente da presença de matéria orgânica, e outro pico a 925°C, devido à liberação de CO<sub>2</sub>. Já a LAMA DE CAL apresentou somente o pico referente à liberação de CO<sub>2</sub>.

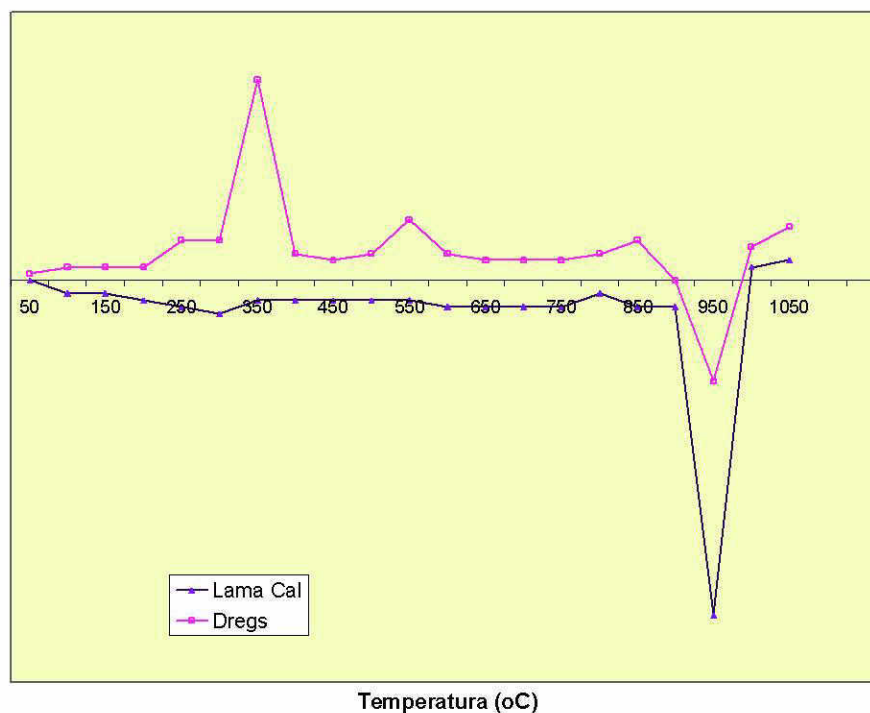


Figura 2 : Análise térmica diferencial do resíduo LAMA DE CAL e DREGS

Na Tabela II é mostrada a análise granulométrica somente da LAMA DE CAL, pois os DREGS foram descartados porque apresentam matéria orgânica.

Tabela II: Análise granulométrica da LAMA DE CAL

Nº da peneira em Malhas	(%) Retido
	Lama de Cal
32	-
60	-
100	-
150	0,3
200	0,3
325	49,2
Passante 325	50,2

A granulometria da calcita é fundamental para garantir a formação das fases cristalinas nas massas de revestimento, seu valor deve ser inferior à 125µm, peneira (ABNT-115). Nota-se que a LAMA DE CAL apresenta granulometria fina, não necessitando moagem adicional. A análise de difratograma de raios X na Figura 3 mostra a presença predominante de carbonato de cálcio na forma de calcita e pequenas quantidades de feldspato e quartzo.<sup>(5)</sup>

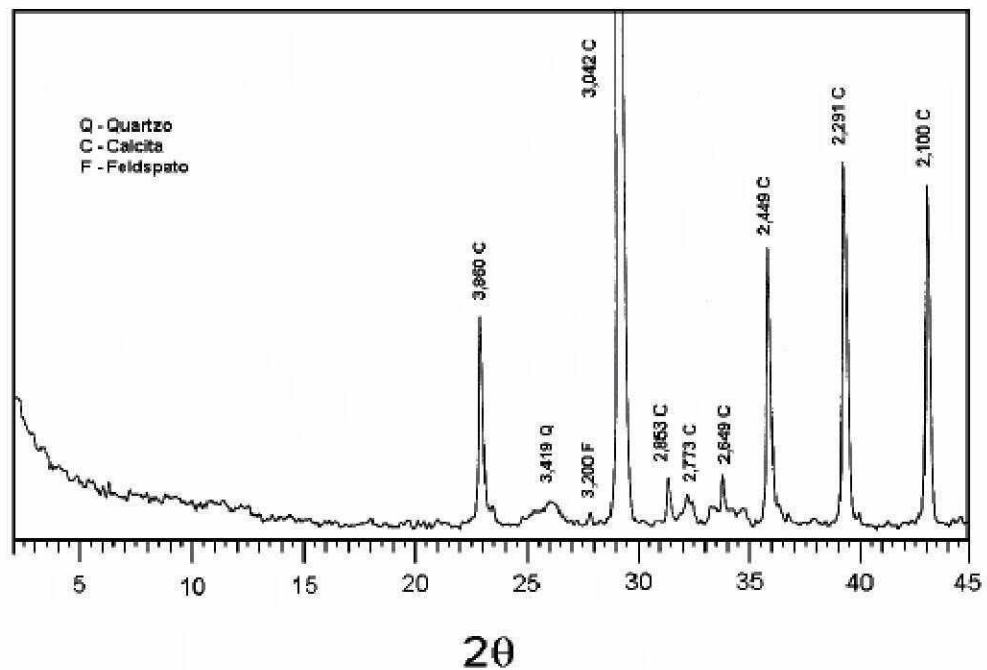


Figura 3: Difratograma de raios X do resíduo LAMA DE CAL

## 2.2. Preparação das Massas

As massas foram preparadas a partir das matérias-primas mostradas na Tabela III a seguir.

Tabela III: Análise química das matérias-primas que compõem massas de Revestimento semi grés

<b>Matéria prima</b>	<b>P.F</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
Argia magra.	15,66	44,67	0,33	31,65	1,22	0,18	0,63	4,60	0,77
Argila plástica	11,71	48,23	0,17	29,62	4,5	0,33	0,57	2,12	1,47
Filito	3,40	72,91	0,17	17,50	1,57	0,01	1,38	0,26	2,82
Feldspato	6,30	51,12	0,19	29,20	6,16	0,09	0,49	0,81	5,59
Talco	4,30	68,27	-	1,10	0,79	0,04	24,88	-	-

As massas foram preparadas utilizando-se como base uma fórmula padrão de uma empresa nacional, conforme Tabela IV abaixo, seguindo-se as recomendações de SANCHES (1998)<sup>(6)</sup> que aconselha a utilização de no máximo 3% de carbonatos, em massas de revestimento cerâmico semi grés. Estabeleceu-se como padrão substituir o feldspato pela LAMA DE CAL.

As matérias-primas foram então cominuídas em moinhos de bolas a úmido. No processo de moagem, manteve-se o resíduo na peneira ABNT 325 (0,044mm de abertura) entre 1 e 3%. Após moagem, a suspensão foi seca e moída novamente em moinhos de disco e peneirados em peneira ABNT 40 (0,420 mm abertura). Após, cada mistura foi vertida para um misturador planetário para homogeneização e umidificação. Em seguida, foram efetuadas granulações em peneira ABNT 16 (1,2mm abertura). As massas umidificadas ficaram em descanso por 24hs em recipiente plástico fechado para a homogeneização da umidade.

Os corpos de prova foram confeccionados utilizando-se prensagem uniaxial, com força oscilando entre 20 e 32 ton. e umidade entre 6 e 6,5%, para manter-se constante a densidade dos corpos de prova após secagem em 1,95 g/cm<sup>3</sup>. Os corpos de prova foram secos em estufa a 100° C e queimados em forno a rolo a 1180°C e em um ciclo de 30 minutos. <sup>(7)</sup>

Tabela IV: Composição das massas de semi grés

<b>Matéria-prima</b>	<b>Padrão</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
Argila Magra	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Argila Plástica (%)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Filito (%)	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5
Talco (%)	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Feldspato (%)	9,5	7,5	6,5	5,5	4,5	2,0
Resíduo Lama de Cal	-	2,0	3,0	4,0	5,0	7,5

### 2.3. Caracterização

Os corpos de prova foram caracterizados quanto à: resistência mecânica a verde, retração de secagem, resistência mecânica a seco, retração de queima, absorção de água, massa específica aparente após queima e coeficiente de dilatação térmica linear. Após escolhidas as formulações que obtiveram os resultados mais satisfatórios, realizou-se também um estudo de defloculação das massas, para avaliar a influência da introdução do resíduo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela V a seguir apresenta os dados de caracterização física das massas de revestimento estudadas.

Tabela V: Resultados das análises para caracterização das massas

PROPRIEDADES	Padrão	A	B	C	D	E
MRF a verde (MPa)	1,86	2,01	1,96	1,89	2,01	2,00
MRF após secagem (MPa)	5,17	5,38	5,14	5,00	5,20	5,25
Mea ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) após secagem	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95
Retração de secagem (%)	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
Retração total (%)	5,6	6,0	6,1	6,4	5,7	3,8
MRF após queima (MPa)	34,0	34,4	34,7	34,9	35,0	32,6
PF (%)	5,7	6,7	7,1	7,5	7,9	8,8
Absorção de água(%)	6,4	5,4	4,6	2,9	3,8	9,0
Mea ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )-após queima-	2,24	2,25	2,27	2,29	2,24	2,05
Cor de queima	Laranja	Marrom	Marrom	Marrom	Marrom	Marrom
Coef.de Dilatação $\times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ a $325^\circ\text{C}$	70,4	70,9	71,5	72,3	71,9	71,1

As peças cerâmicas, após secagem, devem apresentar valores superiores a 2,5 MPa, para garantir que elas possam percorrer todo o processo, desde a entrada em esmaltadeiras até a saída do forno sem quebrar. As formulações apresentaram valores superiores ao limite pré-estabelecido mínimo de 2,5 MPa.

Os resultados de retração de queima mostraram que as formulações A B e C apresentam valores próximos ao padrão, já para as formulações D e E, nota-se uma retração menor. Para atender a especificação de produto semi grés, os resultados de absorção devem oscilar entre 3 e 6%.<sup>(8)</sup> Nota-se que, com a adição da LAMA DE CAL, nas formulações A B e C, a absorção foi caindo com a introdução do resíduo. Já nas formulações D e E, a absorção foi aumentando, conforme apresenta a

Figura 4 abaixo. Os resultados de coeficiente de dilatação térmica, entre a temperatura ambiente até 325°C, mostraram resultados similares ao padrão.

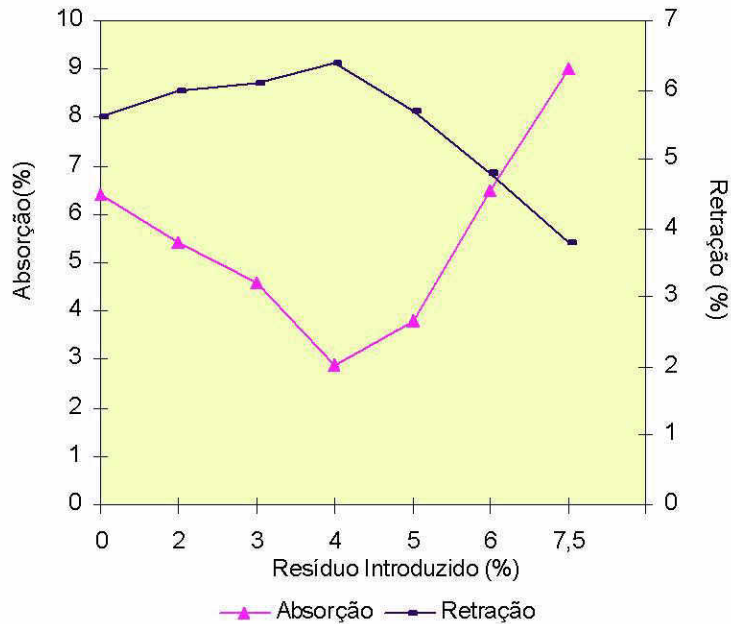


Figura 4: Curva de absorção de água e retração de queima das massas em estudo

As especificações da viscosidade ideal para operação com barbotinas oscilam entre 400 e 1000 cps. Foram testadas as massas padrão e B que apresentou melhor resultado. Foi testado com as densidades de 1,66 e 1,70 g/cm<sup>3</sup>. Nota-se que todas as massas apresentaram-se dentro da faixa. No entanto, o consumo de defloculante nas formulações contendo a LAMA DE CAL aumenta, provavelmente devido a presença de sulfatos.<sup>(9)</sup> Vide Figura 5 a seguir.

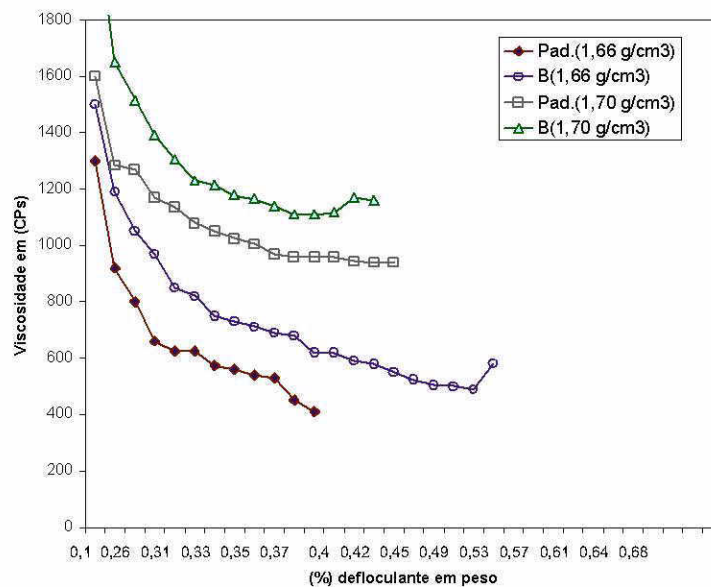


Figura 5: Curva de defloculação das massas de revestimento semi grés



## 4. CONCLUSÕES

A introdução do resíduo LAMA DE CAL, proveniente da fabricação de papel, mostra que este pode ser, apropriadamente, utilizado como fundente, até o limite de 4%, o que pode representar cerca de 160 t/mês para uma fábrica que produz 250.000 m<sup>2</sup>/mês de revestimento cerâmico. Além disso, seu uso não modifica significativamente as propriedades do produto, levando a um barateamento do custo de produção, além de contribuir com a redução do impacto ambiental. Quanto ao resíduo DREGS, para ser reaproveitado deve ser calcinado à temperatura de 600°C, para eliminação da matéria orgânica.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. KNIGHT, P. **Um futuro em transformação para o papel**. International Institute for Environment and Development. London, (1996).
2. PHILIPP, P. **Tecnologia de Fabricação do Papel –VII**, Editora IPT, Escola Senai Theobaldo de Nigris, SP, (1988).
3. ABTCP-Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Resíduo de Celulose Corrigirá o Solo, "**O Papel**", São Paulo, (1997).
4. LANDIM, B. A. Reciclagem de resíduos sólidos, parte 1: Adição de Dregs ao efluente do branqueamento ácido. **27<sup>o</sup> CONGRESSO BRASILEIRO DE PAPEL E CELULOSE**, São Paulo: SP- Brasil, 7 a 11 de nov. (1994).
5. SANTOS, P.S. **Tecnologia de Argilas** – Identificação Mineralógica de Argilas, Análise Térmica Diferencial, Ed. Blucher, São Paulo, Brasil (1975), Vol 1, p.277.
6. E. SANCHES; BARBA, A. **Defeitos em Revestimentos Cerâmicos: Suas causas e soluções** – Apostila da Associação Brasileira de Cerâmica, (1998).
7. AMORÓS, J. L.; E. SANCHES et al. **Manual para el control de la calidad de materias primas arcillosas**, ITC-Instituto de Tecnologia Cerámica Asociación de Investigación de las Industrias cerámicas- Universitat Jaume I de Castellón, (1998).
8. Associação Brasileira de Normas Técnicas-**NBR** –13818/97.
9. GALASSI, C.; POZZI, P. **La reologia dei materiali ceramici tradizionali**. La barbotina per la Atomizazione., Editoriale Faenza editrice s.p.a-Italy, (1994), pp. 141-146.

### AGRADECIMENTOS:

ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland – Ricardo Valverde e Marcelo Peccio- por realizar os ensaios de Análise Térmica Diferencial e difração de raios X.

COMPANY ELECTRIC- Pelo apoio financeiro e a oportunidade de realizar esse trabalho.

IPEN/USP - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares na pessoa do Dr. Reginaldo Mucillo, pela execução dos ensaios de Análise Térmica Dilatométrica.