

# UTILIZAÇÃO DOS REJEITOS DO CAULIM E FELDSPATO NA FABRICAÇÃO DE PISO CERÂMICO

**Felipe PEIXOTO (1), Márcia FLORÊNCIO (2), Marcondes MENDES (3) e Raissa TATIANE (4).**

(1) Laboratório de Processamento Mineral e de Resíduos – IFRN, Av. Salgado Filho, 1559, CEP: 59015-000 Natal-RN, e-mail: [felipe-brito@hotmail.com](mailto:felipe-brito@hotmail.com)

(2) Laboratório de Processamento Mineral e de Resíduos – IFRN, e-mail: [marciamedeiros\\_mfm@yahoo.com.br](mailto:marciamedeiros_mfm@yahoo.com.br)

(3) Laboratório de Processamento Mineral e de Resíduos – IFRN, e-mail: [mmsouza2003@yahoo.com.br](mailto:mmsouza2003@yahoo.com.br)

(4) Laboratório de Processamento Mineral e de Resíduos – IFRN, e-mail: [raissa\\_tatiane@yahoo.com.br](mailto:raissa_tatiane@yahoo.com.br)

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo, por meio de uma pesquisa experimental e teórica, apresentar uma possibilidade de utilização do rejeito do caulim e do feldspato, gerado pelas mineradoras da região da Província Pegmatítica de Borborema do Seridó (RN e PB), na fabricação de piso cerâmico, como fonte alternativa de matéria-prima para esse setor, possibilitando também uma redução no impacto ambiental. As matérias-primas foram moídas e passadas na peneira de malha 200# (mesh) e feitas análises físicas, sendo preparadas três formulações de percentuais distintos. Os corpos de prova foram preparados por prensagem uniaxial, sinterizados a 1150° C, 1200° C e 1250° C e submetidos aos ensaios físicos para verificação da absorção de água, massa específica aparente e porosidade aparente. Segundo a ISO 13006, as formulações F1 a 1200° C e a 1250° C e F2 a 1250° C apresentaram características técnicas de porcelanato, enquanto que as demais formulações, exceto F3 a 1150° C, as de grês. Portanto, verificou-se a viabilidade técnica da incorporação dos rejeitos do caulim e feldspato na massa cerâmica para produção de porcelanato.

**Palavras-chave:** Porcelanato, Grês, Rejeito de caulim, Rejeito de feldspato.

## 1 INTRODUÇÃO

A geração de grandes quantidades de rejeitos industriais, um dos tipos de resíduos sólidos, foi consequência da crescente demanda da economia mundial por maiores índices de produtividade no setor de mineração. Pela dificuldade de reciclagem ou descarte, esse tipo de material tem gerado preocupações ambientais como contaminação e poluição do meio ambiente. Várias pesquisas têm sido dedicadas ao estudo da reutilização de resíduos da indústria de mineração e beneficiamento de minérios, como matérias-primas alternativas para a indústria de cerâmicas tradicionais. A utilização destes materiais para a obtenção de um produto apresenta, dentre outras, a vantagem de diminuir a quantidade de rejeito a ser descartada na natureza, além de agregar valor a um resíduo indesejável e possibilitar também a geração de novos empregos.

O Brasil detém cerca de 28 % das reservas mundiais de caulim, com reservas de feldspato suficientes para suprir o consumo interno por mais de 400 anos (Albuquerque et al, 2007). Estas matérias-primas são empregadas em vários setores da indústria e do comércio, cabendo destaque à indústria cerâmica, seja para fabricação de porcelanas e sanitários, pisos e revestimentos, restaurações dentárias, entre outros (Kelly et al, 1996).

Na região Nordeste, as principais indústrias mineradoras de caulim estão instaladas na região da Província Pegmatítica de Borborema do Seridó, localizada nos municípios do Equador (RN) e Junco do Seridó (PB) (Leite et al, 2007). O caulim é formado essencialmente pela caulinita, apresentando, em geral, aparência branca ou quase branca devido ao baixo teor de ferro, é um suporte fundamental de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), o qual, durante a fase de vitrificação da peça, regula a reação de equilíbrio.

Na verdade, durante a queima a temperaturas superiores a 1000° C, o caulim se converte para mulita ( $Al_2O_3.2SiO_2$ ), formando uma fase vítrea que, devido à sua estrutura, atua como esqueleto para os produtos

resultantes, além de contribuir para o aumento da resistência mecânica e redução da deformação piropelástica durante o processo de queima (Luz et al, 2005).

Os feldspatos são silicatos de alumínio contendo diferentes proporções de cálcio, potássio e sódio. Eles ocorrem em rochas pegmatíticas, associados a diversos outros minerais, o que torna bastante difícil a quantificação de suas reservas com alto grau de precisão.

As indústrias de cerâmica e vidro são os principais consumidores de feldspato no Brasil. Na indústria cerâmica o feldspato atua como fundente (diminuindo a temperatura de fusão), além de fornecer SiO<sub>2</sub> (sílica) (Galinari, 2009). O crescimento do setor de revestimentos cerâmicos, principalmente no que se refere aos porcelanatos, aponta para um aumento do consumo de feldspato no Brasil e no mundo.

A indústria de revestimentos cerâmicos vem passando por um grande aumento na produção de porcelanatos e grês polidos nos últimos anos, devido o elevado valor agregado desses materiais. Em 1996 apenas uma empresa produzia porcelanato no país, no entanto, atualmente, várias empresas produzem tanto porcelanato como grês polido, atingindo em 2006 uma produção de 33 milhões de m<sup>2</sup>.

O porcelanato é um revestimento cerâmico com absorção de água inferior a 0,5% e elevada resistência mecânica. É caracterizado por uma microestrutura densa, constituída por fases cristalinas, mulita e quartzo, em quantidade minoritária, imersas em uma fase vítrea majoritária. No mercado atual pode ser classificado como esmaltado ou técnico (polido ou não).

Este projeto tem como objetivo a utilização do rejeito do caulim e feldspato gerado pelas minas da região de Equador-RN, visando o melhor aproveitamento desses resíduos na fabricação de piso cerâmico.

## 2 MATERIAIS

Foram utilizadas três matérias primas básicas: argila plástica, rejeito de caulim e feldspato, totalizando em três formulações diferentes, como mostrado na tabela 01 a seguir, denominadas de Fórmula 1 (F1), Fórmula 2 (F2) e Fórmula 3 (F3). Cada formulação teve dezoito corpos de prova sinterizados em três temperaturas diferentes, 1150° C, 1200° C e 1250° C; sendo 6 corpos de cada formulação para uma temperatura, assim cada uma das três formulações teve seus corpos de prova sinterizados nas três temperaturas. A argila plástica, o caulim e o feldspato foram coletados e extraídos da mina Pedra Redonda, situada no município de Equador no Rio Grande do Norte, e beneficiado pela a empresa ARMIL MINERAÇÃO, no Junco do Seridó na Paraíba.

**Tabela 01 - Formulações para piso cerâmico**

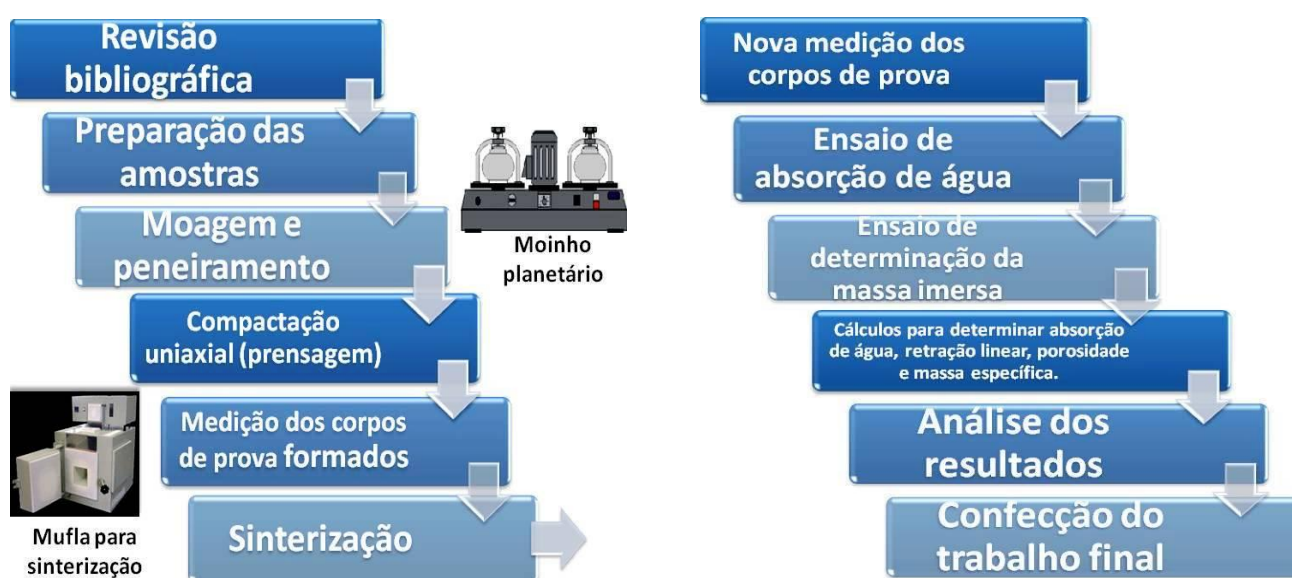
MATERIAIS	F1	F2	F3
Argila	30%	40%	50%
Rejeito de Caulim	20%	20%	20%
Rejeito de Feldspato	50%	40%	30%

## 3 MÉTODOS

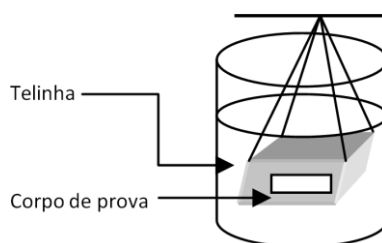
Como se pode observar na figura 1, a metodologia segue as seguintes etapas: as matérias-primas foram submetidas a processos de cominuição utilizando os seguintes equipamentos: moinho planetário (via úmida); peneiramento em malha de 200#, em seguida foram colocadas para secar numa estufa a 110°C. É importante ressaltar que cada formulação foi feita separadamente, assim o processo que descrevemos agora foi repetido três vezes, equivalente ao número de formulações preparadas.

Após secagem, a matéria-prima foi moída manualmente com o auxílio de pistilo e gral e peneirada em malha de 65#; adicionou-se 10% da massa de água para hidratar e o material foi armazenado por 24 horas em sacolas plásticas de 1 kg, para que essa hidratação se desse de forma homogênea. Após esse período de tempo, foram feitos os corpos de prova em uma prensa hidráulica de capacidade de 15 t da empresa Marcon.

Esses corpos foram medidos (comprimento e largura com paquímetro Mitutoyo) e sinterizados (6 corpos de prova para cada temperatura) numa mufla marca Jung (modelo 0713) e, após a sinterização, submetidos a novas medições (massa, comprimento, largura e espessura). Depois desses procedimentos, as amostras foram submetidas a um teste de absorção de água e determinação da massa imersa para determinar absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente. Para realizar o ensaio de absorção de água todos os corpos de prova são imersos por um período de 24 horas. Decorrido esse tempo, cada corpo é retirado do recipiente onde estava imerso, passado um tecido levemente úmido para retirar o excesso de água e o corpo é pesado para se saber o valor da sua massa saturada em água. Já no ensaio de determinação da massa imersa, repetiu-se o procedimento de deixar os corpos de prova imersos em água por 24 horas, e após esse tempo colocou-se o aparato mostrado na figura 2 abaixo, composto de um béquero e uma pequena tela para segurar o corpo de prova, em uma balança, tarou-se o sistema e depois se mediu cada corpo de prova separadamente.



**Figura 1- Esquema da metodologia utilizada**



**Figura 2- Esquema utilizado para determinação da massa imersa**

Com esses dados, calculamos a absorção de água, massa específica aparente e porosidade aparente.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

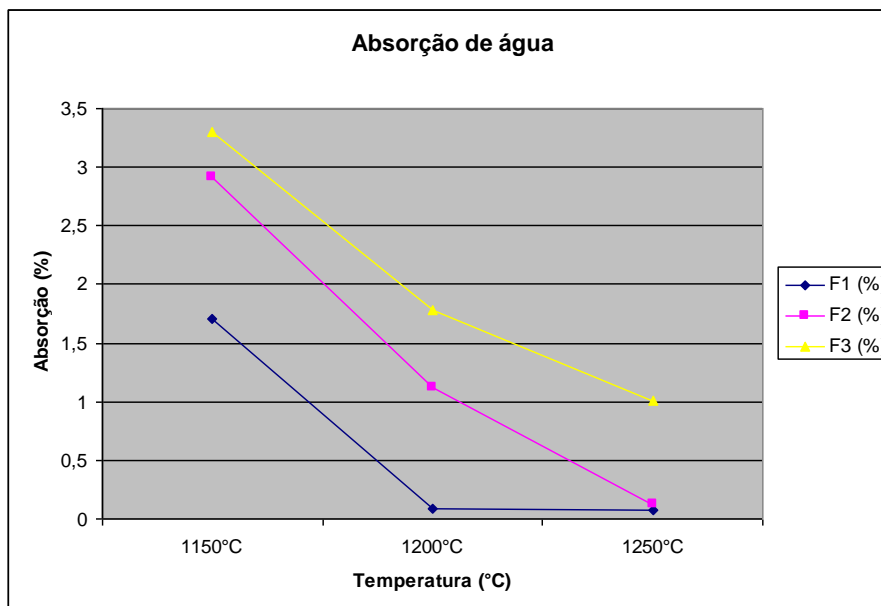
Um dos parâmetros de classificação das placas cerâmicas é a absorção de água, que tem influência direta sobre outras propriedades do produto. A resistência mecânica do produto, por exemplo, é tanto maior, quanto mais baixa for a absorção e a porosidade.

As placas cerâmicas para revestimentos são classificadas, em função da absorção de água da seguinte forma:

**Tabela 02 - Classificação técnica dos revestimentos cerâmicos segundo a norma ISO 13006**

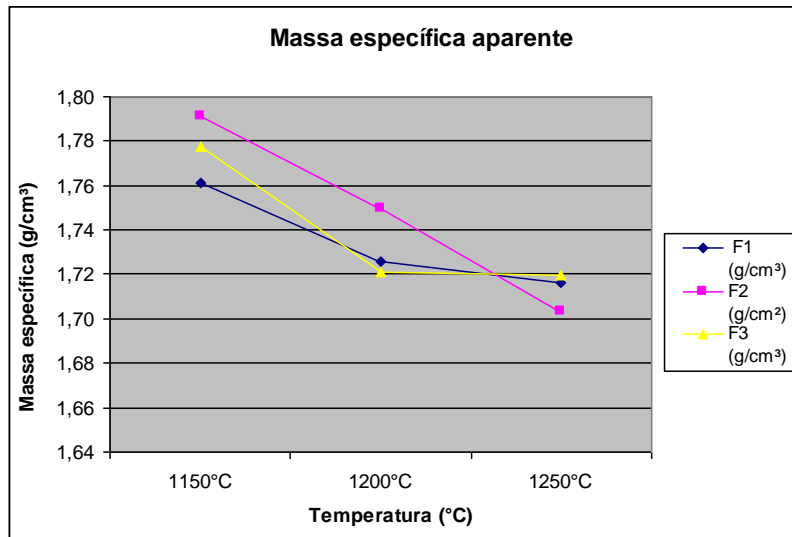
ISO 13006	AA (%)	Produto	Uso recomendado
1a	0 - 0,5	Porcelanato	Piso e parede
1b	0,5 - 3	Grês	Piso e parede
2a	3 - 6	Semi-Poroso	Piso e parede
2 b	6 - 10	Poroso	Piso e parede

A formulação F3 apresentou uma maior absorção de água, absorvendo 3,30% depois de sinterizada a 1150°C, 1,78% na sinterização a 1200°C e aproximadamente 1,00% na sinterização a 1250°C. A formulação F2 apresentou absorção menor que a formulação F3 e maior que a formulação F1, sendo seus valores aproximadamente 2,92% a de 1150°C, 1,12% na temperatura de 1200°C e 0,13% em 1250°C. A formulação F1 foi a que apresentou o menor índice de absorção porque absorveu 1,70% as amostras de 1150°C e 0,08% as de 1200°C e 1250°C. Percebe-se que o aumento da temperatura de queima diminui a absorção de água e conseqüentemente melhora a qualidade do produto. Além disso, a formulação F1, caracterizada por uma grande quantidade de feldspato, foi a que apresentou melhores resultados no ensaio.



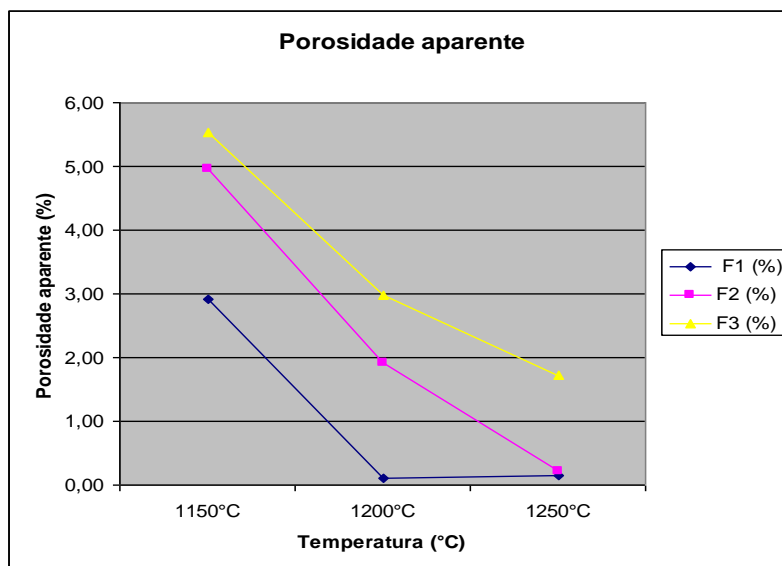
**Gráfico 01 – Ensaio de absorção de água**

A massa específica das formulações F1, F2 e F3, mostradas no gráfico seguinte, apresentaram índices bastante parecidos. A formulação F1 teve uma variação muito pequena e de forma suave. A formulação F2 foi a que apresentou variação mais acentuada se compararmos os valores da primeira temperatura (1150°C) com a temperatura de 1250°C. No gráfico da formulação F3, percebemos um decréscimo considerável de 1150°C para 1200°C, mas de 1200°C a 1250°C, a diferença foi mínima. Quanto maior a massa específica aparente, menos poros irá apresentar o corpo cerâmico porque será mais compacto e, conseqüentemente, poderá apresentar maior resistência.



**Gráfico 02 – Ensaio de massa específica aparente**

Com relação à porosidade, a formulação F3 apresentou maior quantidade de poros que as demais, totalizando 5,54% em 1150°C, 2,97% em 1200°C e 1,72% em 1250°C. A formulação F2 mostrou uma porosidade elevada na temperatura de 1150°C (4,96%), mas na de 1200°C houve grande decréscimo, continuando em seguida, mas não de forma brusca, a descer (0,21%) em 1250°C. A formulação F1 apresentou as menores porosidades da temperatura entre todos os corpos de prova, sendo a 1250°C o seu menor valor de porosidade. Este ensaio confirma o de absorção de água, assim como o da massa específica aparente, pois quanto menor a quantidade de poros na peça, menos água será absorvida e mais resistência ela terá.



**Gráfico 03 – Ensaio de porosidade aparente**

Na tabela 03, a formulação F1 (absorção de 1,70%) sinterizada a 1150°C; na tabela 04, a formulação F2 (absorção de 2,92%) sinterizada a 1150°C e F2 (absorção de 1,12%) sinterizada a 1200°; e a formulação F3 (absorção de 1,78%) sinterizada a 1200° e F3 (absorção de 1,00%) sinterizada a 1250° resultaram num grês, visto que apresentaram valores de absorção aparente fora das especificações da Norma 13006 para porcelanato, podendo ser mais bem observado no gráfico 1. Na tabela 05, a formulação F3 (absorção a

3,30%) sinterizada a 1150°C obteve valores dentro da norma ISO 13006 que caracteriza o grupo dos Semi-porosos.

De acordo com os ensaios realizados, obtiveram-se dentro do padrão para porcelanato as formulações F1 sinterizadas a 1200°C e 1250° e F2 sinterizada a 1250°, pois mostraram boa resistência devido à baixa absorção apresentada. Essa formulação tem como característica uma porcentagem maior de feldspato (50%) do que dos outros materiais, o que esse material aumenta a resistência mecânica da peça.

**Tabela 03 – Média dos resultados do ensaio físico para F1**

<b>Resultados - F1</b>			
<b>Temperaturas</b>	<b>1150°C</b>	<b>1200°C</b>	<b>1250°C</b>
<b>Absorção (%)</b>	1,70	0,08	0,08
<b>Porosidade (%)</b>	2,91	0,11	0,14
<b>MEA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,76	1,73	1,72

**Tabela 04 – Média dos resultados do ensaio físico para F2**

<b>Resultados - F2</b>			
<b>Temperaturas</b>	<b>1150°C</b>	<b>1200°C</b>	<b>1250°C</b>
<b>Absorção (%)</b>	2,92	1,12	0,13
<b>Porosidade (%)</b>	4,96	1,92	0,21
<b>MEA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,79	1,75	1,70

**Tabela 05 – Média dos resultados do ensaio físico para F3**

<b>Resultados- F3</b>			
<b>Temperaturas</b>	<b>1150°C</b>	<b>1200°C</b>	<b>1250°C</b>
<b>Absorção (%)</b>	3,30	1,78	1,00
<b>Porosidade (%)</b>	5,54	2,97	1,72
<b>MEA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,78	1,72	1,72

## **5 CONCLUSÃO**

Os ensaios realizados neste trabalho indicam que a massa cerâmica preparada com rejeito de caulim e rejeito de feldspato pode ser fonte para material de piso cerâmico do tipo porcelanato, grês e semi-poroso, quando sinterizados a temperaturas superiores a 1150°C. A adição de feldspato em grande quantidade elevou de forma considerável a resistência dos corpos de prova e quanto maiores as temperaturas de queima, mais essas propriedades de resistência aumentam. Sugerimos, por fim, a realização de outros ensaios como o de flexão à ruptura em três pontos, para que seja avaliada com maior precisão a resistência e conseqüente qualidade das peças.

## REFERÊNCIAS

F. R. Albuquerque; I. M. G. Santos; S. J. G. Lima; M. R. Cássia-Santos; L. E. B. Soledade; A. G. Souza; A. E. Martinelli; **Planejamento experimental aplicado à otimização de massas cerâmicas contendo matérias-primas naturais**. Setembro, 2007.

J. R. Kelly, I. Nishimura, S. D. Campbell, J. Prosthet. Dent. **75**, 1 (1996) 18.

LEITE, J. Y. P. **Technological Characterization of kaolin tailing from small scale mining in RN and PB states – Brazil**. MEI - Conferences Material, Minerals & Metal Ecology 06. 14-15 Nov. 2006.

LUZ, et al. **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro. CETEM. (2005).

**Feldspato**. Disponível em:

<[http://www.dnpm.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=4365](http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=4365)> Acesso em: 04/06/10.

**Feldspato**.

Disponível

em:

<

<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/feldspato.pdf>>.

Acesso

em

03/06/2010.

INMETRO.

**Revestimentos**

e

**pisos**

**cerâmicos**.

Disponível

em:

<

<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/revestimentos.asp>>. Acesso em 11/05/2010.

MARQUES, et al. **Reaproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos. (2005).

MOTHÉ, et al. **Reciclagem de resíduos sólidos de rochas ornamentais**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. (2005)

Sumário Mineral 2005, desenvolvido pelo DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral / Ministério de Minas e Energia. Disponível em [www.dnpm.gov.br](http://www.dnpm.gov.br), acesso em 19/11/2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13818. Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1982.