

ESTUDO DA VIABILIDADE DE INCORPORAÇÃO DE PNEU TRITURADO COMO MATÉRIA-PRIMA DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA

L.D.A. Sousa

Graduando em Tecnologia em Materiais
Departamento de Recursos Naturais – CEFET-RN
Av. Salgado Filho, 1159 Morro Branco CEP 59.000-000 Natal-RN
E-mail: lidiadely@yahoo.com.br

M.K. Rocha

Graduando em Tecnologia em Materiais
Departamento de Recursos Naturais – CEFET-RN

V.S. Pinheiro

Graduando em Tecnologia em Materiais
Departamento de Recursos Naturais – CEFET-RN

F. S. D. Araújo

Professor do Departamento de Recursos Naturais – CEFET-RN
franciolli@cefetrn.br

J. Y. P. Leite

Professor do Departamento de Recursos Naturais – CEFET-RN
leite@cefetrn.br

RESUMO

Os pneus de borracha foram uma revolução no setor de transportes, mas trouxeram com ele uma grande problemática ambiental, uma vez que a maior parte dos pneus descartados são abandonados em locais inadequados, gerando grandes transtornos à saúde e qualidade de vidas humanas. Organizações internacionais estimam que no Brasil sejam produzidos 40 milhões de pneus por ano e quase metade disso são descartados no mesmo período. Uma forma de reduzir o problema foi a adoção de metodologias de reciclagem e reaproveitamento. A mais utilizada no Brasil é a recauchutagem, sendo o segundo maior recauchutador de pneus do mundo. Existem ainda as indústrias de reciclagem que utilizam material proveniente do processo de recauchutagem. Uma dessas indústrias envia os resíduos de borracha para a Holanda, onde é processada e enviada para empresas que aplicam asfalto, fábricas de artefatos de borracha e, como parte constituinte na fabricação de novos pneus. Este trabalho objetiva propor uma forma de deposição final dos rejeitos de pneus, incorporando-os a massa para produção de cerâmica vermelha. A prática de incorporar resíduos provenientes de outras operações à cerâmica vem se tornando comum devido às altas temperaturas associadas à sinterização dos corpos-cerâmicos. Neste trabalho são apresentados ensaios de caracterização das argilas e do resíduo de pneu bem como uma proposição de mistura otimizada para corpos prensados, dessa forma amenizando problemas ambientais causados pelo acúmulo de pneus velhos, diminuindo o impacto ambiental ocasionado pelas empresas cerâmicas devido à retirada da cobertura vegetal para exploração de suas jazidas.

PALAVRAS-CHAVE: pó de pneu; argila; cerâmica vermelha.

1. INTRODUÇÃO

No âmbito mundial há uma grande necessidade de encontrar soluções para os rejeitos de processos produtivos industriais lançados na natureza e que são aceitos por esta passivamente. O pneu é um material de difícil decomposição tendo um ciclo de vida de aproximadamente 600 anos. Devido à perda das propriedades dos pneus velhos não é possível recicla-los, segundo o Sebrae do Espírito Santo. Inúmeras alternativas vem sendo buscadas para a reutilização deste material de difícil disposição como tapetes para automóveis, solas de sapatos, pisos industriais e outros.

Além de um problema ambiental, as disposições dos pneus também é problema para a saúde pública, pois acumulam água das chuvas, formando ambiente propício à proliferação de insetos transmissores de doença como a dengue e a febre amarela. O acúmulo de pneus em terrenos baldios, praias, lixões contribui para a diminuição do espaço físico e podem causar contaminação do ar, do solo e do lençol freático, em caso de queima dos pneus devido a reação do dióxido de enxofre com água da chuva gerando ácidos sulfúrico.

A indústria cerâmica reconhecidamente tem assimilado a inclusão de inúmeros tipos de resíduos à sua composição resolvendo assim, o problema de disposição adequada de resíduos industriais provenientes de outros segmentos com ganhos operacionais e de qualidade.

Dentre as atividades associadas ao processo produtivo da indústria cerâmica, a que causa maior impacto ambiental é a extração da matéria-prima, que pode causar, pela ação da retirada da cobertura vegetal, o assoreamento de rios, e fenômenos de desertificação.

Dados da Associação Brasileira de Cerâmica (ABC, 2004) indicam que o setor de cerâmica estrutural, conta atualmente, com aproximadamente 7.000 unidades produtoras gerando um faturamento de 4,2 bilhões e 214.000 empregos direto sendo assim um importante segmento industrial.

No Rio Grande do Norte (RN) o principal pólo ceramista é o Vale do Assu de importância significativa social e econômica para o Estado. A tabela I mostra o perfil da indústria cerâmica estrutural do RN.

Tabela I- Indústria cerâmica estrutural do RN (FIERN/CTGÁS 2000)

Empresas Cadastradas na FIERN	108
Empresas Sindicalizadas no SICERN	38
Nº Aproximado de Empregos Diretos	5.000
Peças Produzidas por mês	90.000.000
Faturamento Anual Aproximado	R\$ 72.000.000,00
Consumo de Lenha (m ³ /1000 peças)	1,7 a 4,1 m ³
Consumo Médio de Lenha (m ³ /1000 peças)	2,0 m ³
Consumo mensal de lenha	162.000 m ³
Custo da Lenha (m ³)	R\$ 3,50 a R\$ 8,00
Desmatamento do Setor	37.384 ha/ano*
Área Devastada pelo Setor	0,64% da área verde nativa do RN/ano

Com estes dados pode-se pensar em incorporar o pneu triturado como matéria-prima da massa cerâmica, objetivando a redução do resíduo disposto inadequadamente e aumentando a vida útil das jazidas, ganhando também em qualidade dos produtos, que passam a ter um processo de fabricação mais controlado.

O presente trabalho apresenta os resultados de ensaios de caracterização visando à incorporação de resíduo de pneu obtida pela recauchutagem como matéria-prima para produção de cerâmica estrutural. Os ensaios realizados foram: Limites de Atterberg (LL e LP), retração linear de secagem (RLS), retração linear de queima (RLQ), Absorção, Porosidade e massa específica (ME).

2. METODOLOGIA

As amostras de argila foram caracterizadas por Leite et al (2005). O fluxograma abaixo apresenta os ensaios de caracterização realizados no pneu triturado, bem como nas misturas argila + pneu.

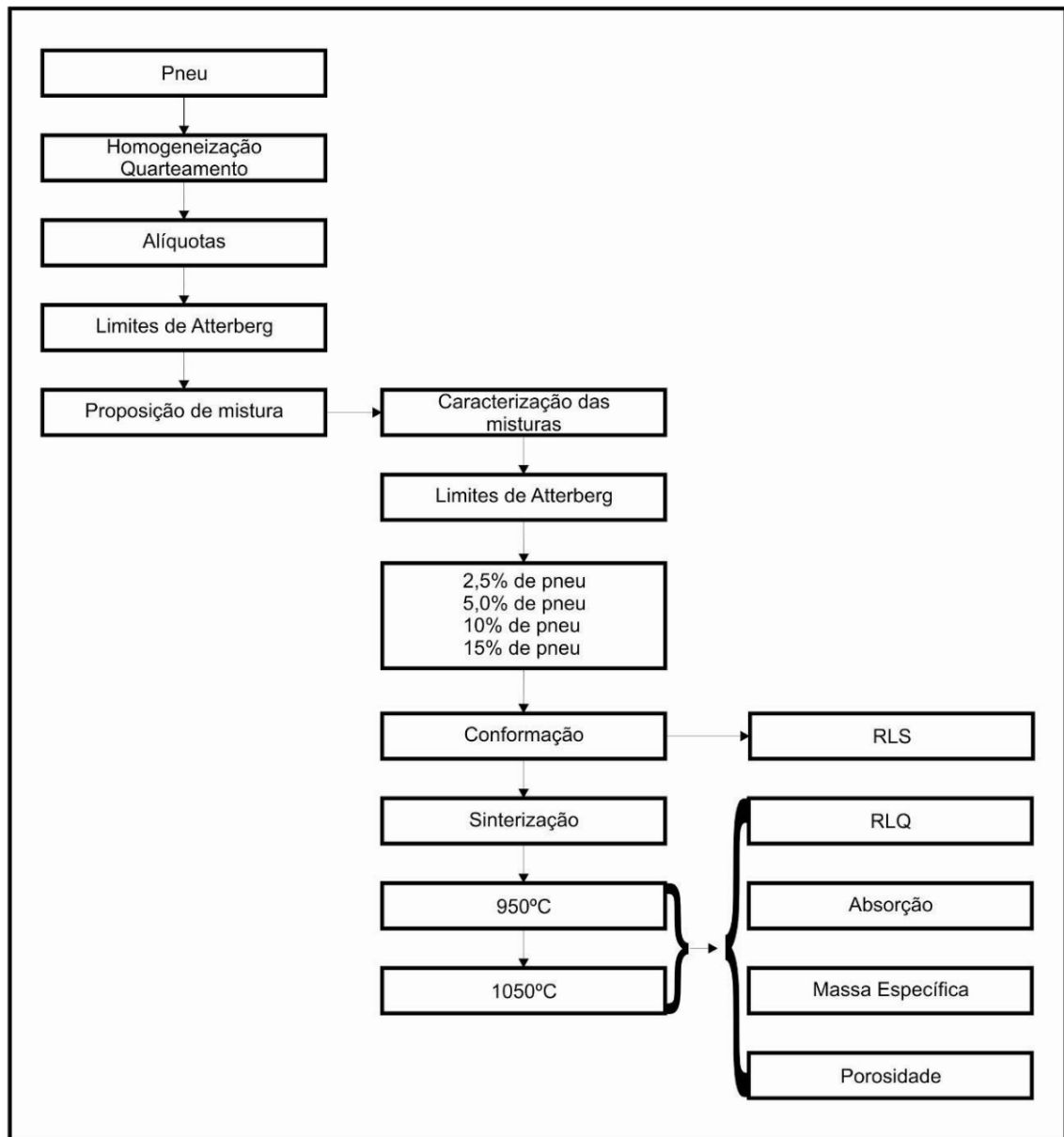


Figura 1. Fluxograma do processo cerâmico.

2.1. Limites de Atterberg

O pneu utilizado foi triturado e classificado em peneira, sendo incorporado à massa cerâmica na forma particulada com granulometria menor que 3mm. O pneu particulado foi então submetido a ensaios para determinação dos Limites de Atterberg e representados no diagrama de Casagrande, através do qual foram propostas misturas de argila mais pneu.

Os Limites de Atterberg foram determinados segundo as NBRs 7180 e 6459.

2.2. Conformação dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram prensados em molde metálico com dimensões de 60mm x 20mm x 5mm, em prensa hidráulica uniaxial marca Pavitest com capacidade máxima de 24.000 Kg, sob pressão de 200KgF/cm².

Foram prensados corpos de prova com as seguintes composições: 2,5% e 5,0%.



Figura 2. Prensa hidráulica utilizada na confecção dos corpos de prova.

2.3. Retração Linear de Secagem

Os corpos de prova verde tiveram suas dimensões determinadas e então foram levados à estufa, onde permaneceram durante 24h a 110°C para determinação da retração linear de secagem.

$$RLS = \frac{l_v - l_s}{l_v} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

Onde: RLS = Retração linear de secagem (%);
l_v = Comprimento do corpo de prova verde (mm);
l_s = Comprimento do corpo de prova seco (mm).

2.4. Retração Linear de Queima

Os corpos de prova foram sinterizados em forno Jung modelo 0713 1300°C nas temperaturas de 950°C e 1050°C.

Após resfriamento, os corpos de prova foram medidos para determinação da retração linear de queima.

$$RLQ = \frac{l_s - l_q}{l_s} \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

Onde: RLQ = Retração linear de queima (%);
l_s = Comprimento do corpo de prova seco (mm);
l_Q = Comprimento do corpo de prova sinterizado (mm).

2.5. Absorção de Água, Porosidade aparente e Massa Específica

Os corpos de prova foram imersos em água para determinação da absorção, porosidade aparente e massa específica segundo a NBR 6220.

Os parâmetros citados são calculados a partir das equações abaixo.

$$A = \frac{m_U - m_S}{m_S} \cdot 100 (\%) \quad (3)$$

Onde: A = Absorção de água (%);
m_U = Massa saturada (g);
m_S = Massa seca (g).

$$P_A = \frac{m_U - m_S}{m_E \text{ líquido} \cdot V_A} \cdot 100 (\%) \quad (4)$$

Onde: P_A = Porosidade aparente;
m_U = Massa saturada (g);
m_S = Massa seca (g);
m_E líquido = Massa específica do líquido;
V_A = Volume aparente.

$$Meas = \frac{m_S}{V_{as}} (g / cm^3) \quad (5)$$

Onde: Meas = Massa específica aparente da parte sólida;
m_S = Massa seca (g);
V_{as} = Volume aparente da parte sólida.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Limites de Atterberg

Os ensaios para determinação do Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade para o pneu constataram que o material é considerado não plástico. A partir desse dado representado no Diagrama de Casagrande, foi calculada a quantidade máxima de pneu a ser incorporado à massa para produção de cerâmica vermelha e que ficou em 13,7%. O cálculo levou em consideração o deslocamento do ponto no diagrama onde se encontra a argila, de maneira linear, até o ponto zero do diagrama, onde se encontra os valores de limite líquido e índice de plasticidade do pneu.

Segundo Bruguera (1986), para uma argila ser utilizada de forma adequada é necessário que esta se enquadre dentro da área de máxima trabalhabilidade (área retangular no Diagrama de Casagrande).

Foram então propostas misturas baseadas na zona de máxima trabalhabilidade do Diagrama de Casagrande, onde esperava-se chegar a valores que estivessem dentro e fora da referida zona. Os valores propostos foram: 2,5%; 5,0%; 10% e 15%. Essas misturas foram então ensaiadas do ponto de vista dos Limites de Atterberg. A figura 3 apresenta os resultados das determinações dos Limite de Atterberg. A Figura 3 apresenta os resultados das determinações, bem como do valor para a argila sem mistura.

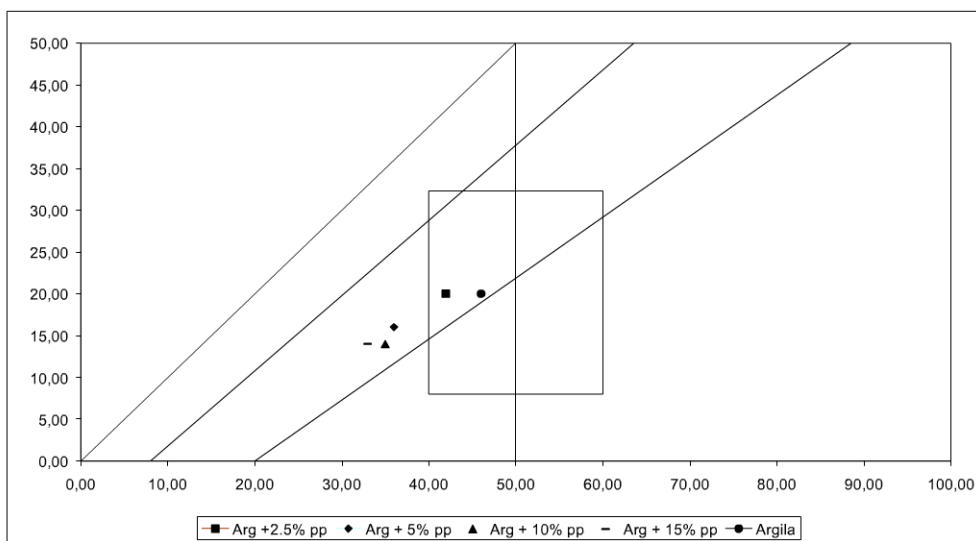


Figura 3. Diagrama de Casagrande.

Das composições testadas, apenas a de 2,5% de pneu ficou dentro da área de máxima trabalhabilidade, dessa forma, escolheu-se as composições de 2,5% e 5,0% de pneu para confecção dos corpos de prova, para que se pudesse comparar os comportamentos de secagem e sinterização das duas composições.

3.2. Retração Linear de Secagem

Após conformados, os corpos de prova foram medidos e então levados à estufa por 24 horas a 110°C para determinação da RLS, as quais estão representadas na Figura 4.

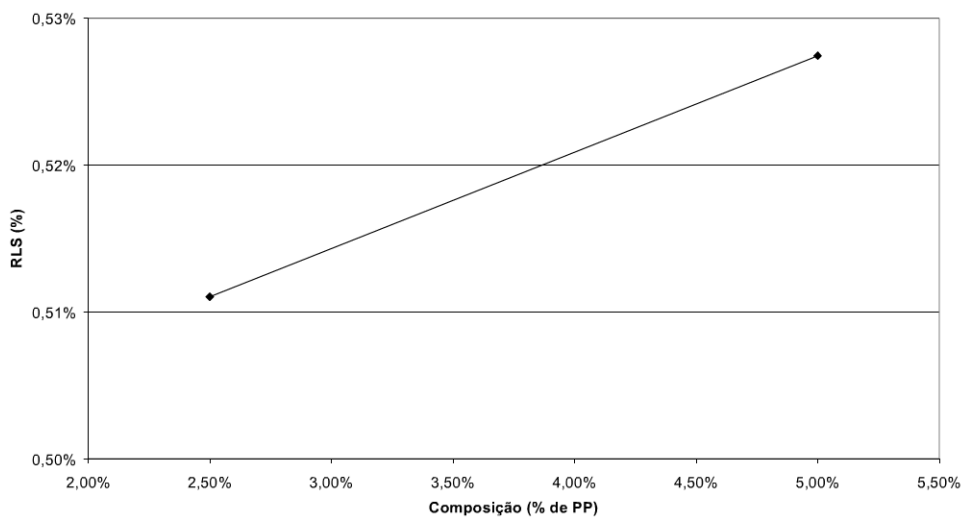


Figura 4. Retração Linear de Secagem.

Pode-se observar que a RLS dos corpos de prova nas duas composições permaneceram praticamente as mesmas, indicando que nestas composições a retração linear de secagem não foi alterada em virtude de sua composição.

3.3. Retração Linear de Queima

Após a etapa de secagem, os corpos de prova foram submetidos a ensaios de sinterização à 950°C e 1050°C e os resultados estão representados na figura abaixo.

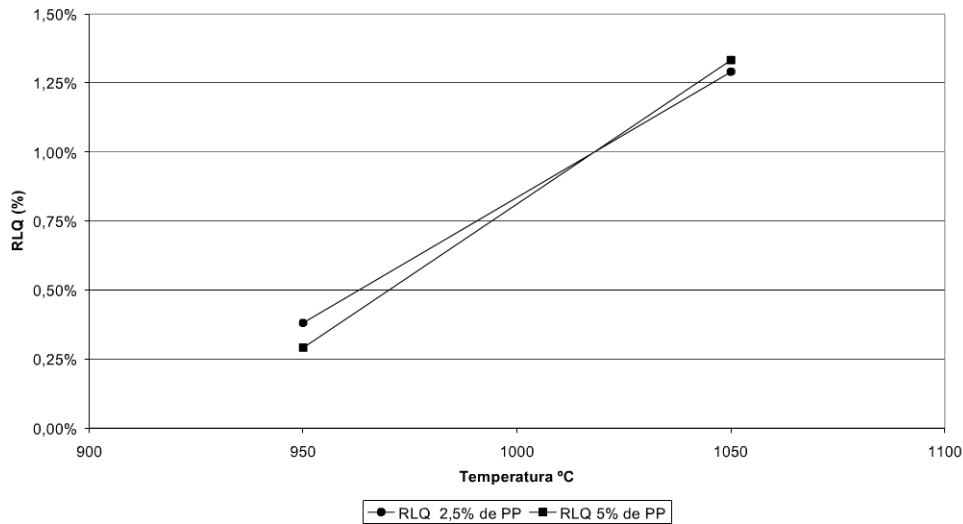


Figura 5. Retração Linear de Queima

As variações resultantes nos ensaios de RLQ são muito pequenas e chegam a sobrepor-se. Dessa forma concluímos que, para as composições estudadas, a quantidade de pneu a ser incorporado a massa não altera de maneira significativa a retração linear de queima.

3.4 Absorção de Água, Porosidade aparente e Massa Específica

As figuras abaixo apresentam os resultados dos ensaios de absorção de água, porosidade aparente e massa específica para as duas composições nas temperaturas ensaiadas.

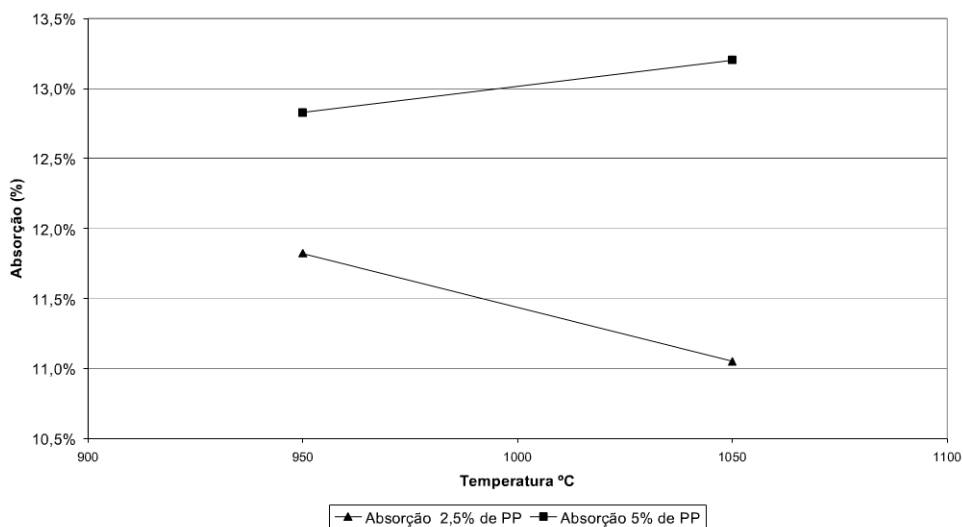


Figura 6. Absorção de água

Os resultados obtidos mostram que os corpos de prova com 2,5% de pneu obtiveram melhor desempenho por apresentarem menor absorção de água. Os corpos de prova com 5,0% de pneu sofreram inchamento que contribuiu para o aumento do parâmetro absorção, tendo sido mais acentuado na temperatura de 1050°C, gerando um crescimento atípico do parâmetro de absorção, que deveria ser reduzido em função da formação de fases vítreas que causam a densificação do material pelo fechamento dos poros.

A figura 7 apresenta uma visão superior dos corpos de prova com as duas composições, onde é possível observar a quantidade de fálhas geradas nos corpos de prova sinterizados à 1050°C em virtude da expansão dos gases.

Mesmo apresentando aberturas e inchamento, os corpos de prova apresentaram valores inferiores aos máximos exigidos pela NBR 7171/92, que estabelece que os níveis de absorção de água não devem ser inferiores a 8% e nem superiores a 25%.

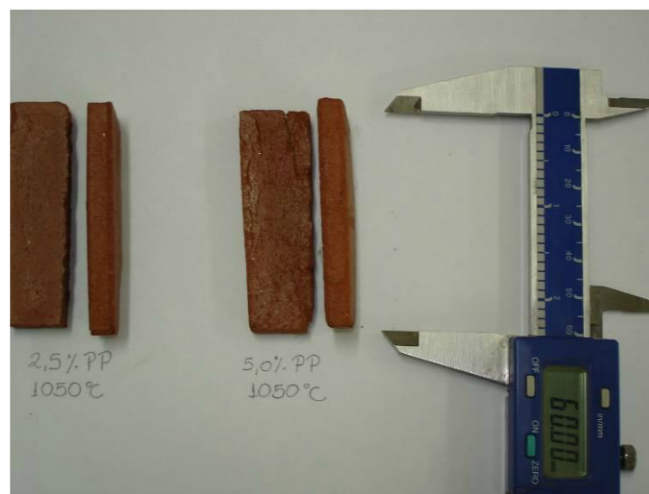


Figura 7. Corpos de prova sinterizados à 1050°C.

O gráfico de porosidade aparente se assemelha ao gráfico de absorção de água, o que já era de se esperar.

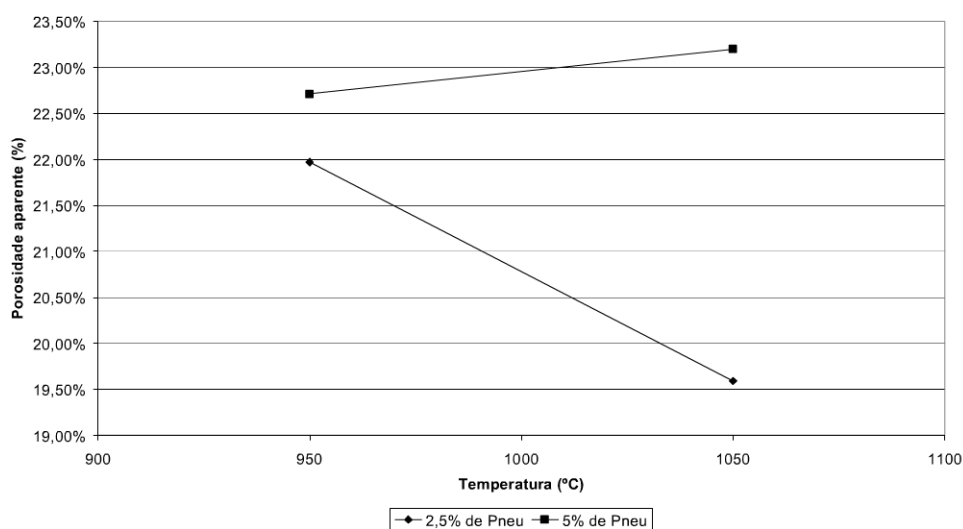


Figura 8. Gráfico de porosidade aparente em função da composição e temperatura.

A densificação dos corpos de prova pode ser representada pelo aumento da massa específica como representado na figura 9.

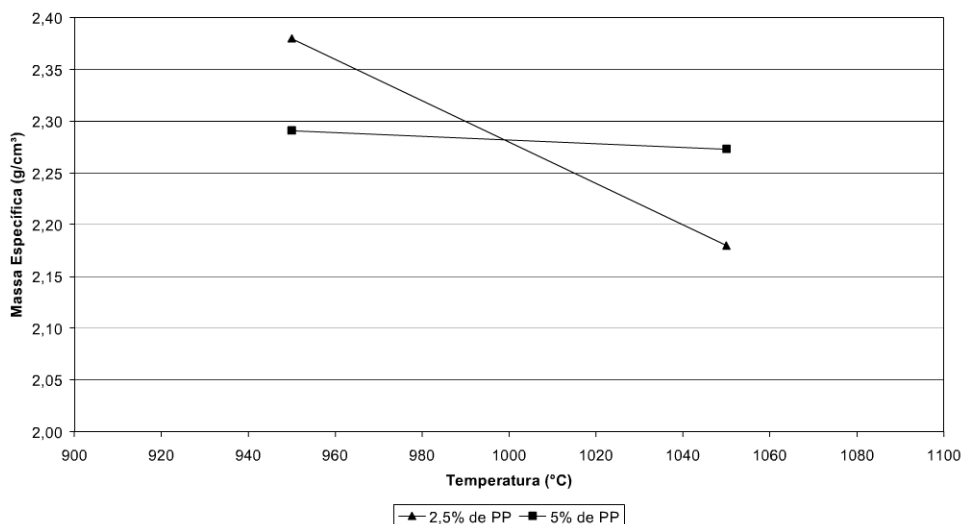


Figura 9. Gráfico da massa específica dos corpos de prova em função do teor de pneu triturado e temperatura de sinterização.

Para as duas composições, foi verificado uma redução da massa específica dos corpos de prova, o que pode estar atribuído a formação de poros fechados.

4 – CONCLUSÕES

Dos dois casos analisados, o que se mostrou mais favorável foi a incorporação de 2,5% de pneu à massa cerâmica para confecção de cerâmica vermelha. As retrações lineares de secagem e de queima apresentaram valores bem próximos para as duas composições, mas os parâmetros de absorção e porosidade variaram em relação à quantidade de pneu na massa cerâmica.

A absorção dos corpos de prova variou em virtude da temperatura e composição. Neste ensaio, novamente os corpos de prova com adição de 2,5% apresentaram melhores resultados, diminuindo o parâmetro absorção de água. Os corpos de prova com 5,0% de adição de pneu variou a absorção, aumentando este parâmetro em relação a temperatura de sinterização a 950°C. Esse fato ocorreu em virtude do inchamento das peças e da presença de poros abertos. O valor de absorção de água ficou bem abaixo do máximo recomendado para produção de cerâmica vermelha, que é de 22%.

A massa específica dos corpos de prova sofreu uma redução com o aumento da temperatura. Analisando os gráficos de porosidade, absorção e massa específica é possível admitir que a decomposição do pneu presente na massa cerâmica gerou uma quantidade de poros fechados, o que contribuiu para a redução no parâmetro densidade específica.

Testes de resistência à flexão, ainda serão realizados para corroborar a utilização do rejeito de recauchutagem de pneu à massa para produção de cerâmica vermelha, mas os resultados obtidos neste trabalho provam que é possível utilizar até 2,5% desse rejeito para a produção de cerâmica vermelha, sinterizados a 950°C, gerando um bom desempenho nos quesitos absorção de água e massa específica aparente, fato que está indicado pelo posicionamento desta composição na zona de máxima trabalhabilidade no Diagrama de Casagrande.

5 – REFERÊNCIA

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459, **Determinação do Limite de Liquidez**, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180, **Determinação do Limite de Plasticidade**, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6220, **Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente, absorção e massa aparente da parte sólida**, 1989.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7171, **Bloco cerâmico para alvenaria**, 1992.

Bruguera, J. **Manual Práctico de Cerámica**. Ediciones Omega S.A., Barcelona, p. 156-158, 1986

Leite, J. Y. P., Araújo, A. L. C., Araújo, F. S. D. A., Ingunza, M. P. D., Santos Junior, O. F. **Characterization of sewage sludge and clays for application in ceramic bricks**. Second International Conference: Sustainable development indicators in the minerals industry – SDMI, Institute of Mining Engineering I. RWTH Aachen University. Aachen. Alemanha, v4. p. 283-291, 2005.

Luz, A. B. e Lins, F. A. F., **Rochas & Minerais Industriais: uso e especificações**. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, p. 584, 2005.

Santos, P. S **Tecnologia de Argilas**. Edição da Universidade de São Paulo, p. 393-398, v.2, 1975.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de Espírito Santo, Sebrae ES, disponível em: <http://www.sebraees.com.br/IdeiasNegocios>, acessado em 22 de junho de 2006.