

Estudo Comparativo Entre Métodos De Medição De Plasticidade Em Materiais Argilosos

Bruno Almeida Gondim, Sérgio Neves Monteiro, Carlos Maurício Fontes Vieira

Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF

Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV

Av. Alberto Lamego, 2000, Campos dos Goytacazes, RJ, 28013-602, Brasil

bgondim@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar e comparar as medidas de índice de plasticidade em materiais argilosos de diferentes localidades do estado do Rio de Janeiro pelos métodos de Atterberg e Pfefferkorn. Através de valores de índice de plasticidade pode-se associar a adequação de uma massa cerâmica à sua respectiva etapa de conformação mecânica, o que faz com que o conhecimento prévio do índice de plasticidade seja de suma importância quando se deseja confeccionar peças cerâmicas. A avaliação da plasticidade de uma massa cerâmica está relacionada a fatores intrínsecos à massa, bem como a fatores extrínsecos, mas além desses fatores há ainda o fato da determinação da plasticidade depender frequentemente da habilidade do operador. Os resultados desse trabalho apontaram proximidades em alguns dos valores de índices de plasticidade obtidos para os diferentes métodos de medição empregados.

Palavras-chave: Plasticidade, Argilas, Atterberg, Pfefferkorn, Cerâmica Vermelha

INTRODUÇÃO

O conhecimento da plasticidade de uma massa cerâmica é de suma importância para a etapa de conformação de um produto cerâmico. Através de valores de índice de plasticidade, pode-se avaliar a adequação da matéria-prima utilizada com relação à moldagem de peças. Resultados obtidos em ensaios de plasticidade podem indicar que uma composição é apropriada para a confecção de peças cerâmicas por prensagem e não por extrusão, por exemplo, considerando que pelo processo de prensagem costumam ser empregadas massas menos plásticas do que pelo processo de extrusão.

O termo plasticidade está ligado ao comportamento mecânico particular de uma massa, sendo considerado seu grau de deformação até que ela entre em ruptura. Um material cerâmico plástico exibe uma deformação permanente sem ruptura quando uma carga compressiva produz uma tensão de cisalhamento que excede a resistência ao escoamento do material ⁽¹⁾.

A plasticidade em argilas está relacionada com a morfologia do tipo placa das partículas dos minerais argilosos que deslizam umas sobre as outras quando a água é adicionada, a qual atua como um lubrificante. À medida que o teor de água na argila é aumentado, a plasticidade aumenta até um valor máximo, em função da natureza da argila. Trabalhadores ceramistas costumam se referir à argila altamente plástica como “argila gorda” e para argilas não-plásticas como o caulim referem-se como “argila magra”, mas é muito difícil expressar esses termos em quantidades mensuráveis. Na indústria, a plasticidade é referida também como “extrudabilidade”, “ductilidade”, “trabalhabilidade” ou “consistência” ⁽²⁾.

As argilas com composições mineralógicas diferentes apresentam comportamentos plásticos diferentes, embora os seus teores de água possam ser iguais. Existe mesmo uma escala de plasticidade em função do tipo de material argiloso ⁽³⁾:

Bentonita > Argila plástica > Argila Refratária > Caulim (A)

Fatores extrínsecos à própria massa como: a temperatura ambiente, o tempo de contato da argila com a água, a quantidade de trabalho que a mistura foi submetida, a quantidade de água e a presença de eletrólitos na água utilizada, também podem vir a influenciar em suas propriedades plásticas.

Além dos fatores citados anteriormente, há ainda o fato da determinação da plasticidade depender frequentemente da habilidade do operador, que avalia indiretamente a plasticidade da argila através da medição de outras propriedades para as quais diferentes instrumentos são utilizados.

Há dois métodos que se destacam para medição e caracterização da plasticidade em massas argilosas, estes são: índice de plasticidade de Atterberg e o índice de plasticidade de Pfefferkorn, cada qual com sua particularidade. Além desses dois métodos, atualmente tem-se utilizado para o estudo da plasticidade as curvas Tensão X Deformação através de ensaios de compressão, medições reológicas e técnicas de indentação. Contudo, os ensaios de Pfefferkorn e Atterberg têm suas utilidades destacadas em virtude do baixo custo e portabilidade do equipamento empregado, o que possibilita a instalação destes em laboratórios de pesquisa e também em locais de produção de materiais cerâmicos.

O presente trabalho visa avaliar e comparar os índices de plasticidade obtidos pelos métodos de Atterberg e Pfefferkorn para argilas obtidas de diferentes localidades do estado do Rio de Janeiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Matérias-primas

As Matérias primas utilizadas, para ambos os ensaios, foram quatro argilas extraídas de diferentes localidades do estado do Rio de Janeiro. As seguintes argilas foram utilizadas: argila **Amarela** de Campos dos Goytacazes, argila **Verde** e **Vermelha** de Itaboraí e a argila **Branca** de Silva Jardim, as quais foram fornecidas por empresas e grupos ceramistas de suas respectivas regiões ao Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV) da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF).

Cada uma das argilas utilizadas passou por três diferentes processos antes da medição da plasticidade. Inicialmente realizou-se o processo de destorroamento em moinho de bolas por cerca de uma hora e em seguida o processo de secagem em estufa a uma temperatura de cerca de 110°C por vinte e quatro horas. Após esse período em estufa, no qual as argilas deveriam perder parte de sua umidade, efetivou-se o peneiramento em uma peneira granulométrica #40 ASTM (mesh), a fim de se obter grânulos com dimensões inferiores a 0,425mm.

Após tais processos citados anteriormente, foi separada uma quantidade de cerca de 1,5 kg de cada argila em diferentes recipientes fechados para que fossem realizados os testes de plasticidade pelo método de Atterberg e pelo método de Pfefferkorn.

Determinação do índice de plasticidade de Atterberg

Quando pequenas quantidades de água são adicionadas, pouco a pouco, a uma massa seca, alcança-se inicialmente um estado em que esta começa a apresentar alguma coesão. Este estado corresponde à quantidade mínima de água requerida para formação de um filme estável envolvendo cada partícula argilosa. Se continuar a ser adicionada mais água, a massa plástica torna-se cada vez mais mole, alcançando-se um estado em que começa a fluir sob ação do seu próprio peso (passa a comportar-se como uma barbotina) ⁽⁴⁾.

A quantidade mínima de água necessária para recobrir cada partícula argilosa é expressa em percentual de umidade, o qual indica o limite em que a argila deixa de ter comportamento de um pó úmido e passa a adquirir características de uma massa coesiva plástica, tal limite também conhecido por Limite de Plasticidade de Atterberg (LP). Por outro lado, a quantidade máxima de água aceita pela massa argilosa, expressa em valores percentuais de umidade, para que ocorra a transição do estado de massa coesiva plástica para o estado de barbotina (lama) indica o Limite de Liquidez de Atterberg (LL).

O índice de plasticidade de Atterberg (IP) é obtido através da seguinte expressão:

$$IP = LL - LP \quad (B)$$

O limite plástico (LP) é o teor de água, expresso em percentagem do peso de massa seca a 110 °C, acima do qual a massa argilosa pode ser enrolada em rolos, com cerca de 3-4 mm de diâmetro e cerca de 15 cm de comprimento, e em que o limite líquido (LL) é o teor de água, expresso em percentagem do peso de massa seca a 110 °C, acima do qual a massa flui como um líquido quando ligeiramente agitada⁽⁴⁾.

Para a preparação das amostras utilizadas nos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade de Atterberg, foram separadas 350 g de cada uma das argilas citadas no tópico de “matérias-primas” e adicionou-se água destilada, pouco a pouco, misturou-se com auxílio de uma espátula metálica e um recipiente plástico

após cada adição de água a fim de se homogeneizar as massas até que adquirissem características plásticas.

A determinação do limite de liquidez de Atterberg foi realizada com auxílio de um aparelho de Casagrande elétrico com contador de golpes seguindo a norma regulamentadora NBR 6459.

O aparelho consiste, basicamente, de uma concha de latão fixada a um sistema que permite que esta seja levantada a 10 mm de altura de uma base dura e caia em queda livre sobre tal base. Sobre a concha deposita-se uma camada uniforme da massa preparada e nela abre-se uma ranhura com dimensões bem definidas utilizando um cinzel. Observa-se então o número de golpes dados no contador para que seja fechado cerca de 13 mm da ranhura e aproximadamente 1 cm² de amostra é coletada nesta mesma região ⁽⁵⁾.

Imediatamente após a coleta da amostra a mesma é pesada e colocada na estufa a 110°C para que após um período de secagem de vinte e quatro horas possa ser pesada novamente para que seja calculada a umidade percentual presente em cada amostra.

O resultado do limite de liquidez é obtido graficamente, onde no eixo das abscissas são apresentados o número de golpes mostrados no contador e no eixo das ordenadas a umidade percentual de cada amostra coletada. Com auxílio de um software é possível traçar uma linha de tendência logarítmica para os pontos coletados no ensaio e obtém-se a equação dessa linha de tendência, a partir da qual se calcula o teor de umidade correspondente a 25 golpes, que é o limite de liquidez ⁽⁵⁾.

Para a determinação do limite de plasticidade utilizou-se aproximadamente 1 g para confecção de cada corpo de prova, que consistiam em cilindros produzidos à mão sobre uma placa de vidro. O material deveria ser rolado sobre o vidro com intuito de perder umidade até que comece a se fragmentar. Então o corpo de prova era pesado e submetido à secagem assim como para o ensaio de limite de liquidez. O resultado final é a média dos valores percentuais de umidade ⁽⁶⁾.

Determinação do índice de plasticidade de Pfefferkorn

O método de Pfefferkorn avalia a plasticidade, de uma massa ou de uma argila, medindo o grau de deformação sofrido por um corpo de prova cilíndrico, sujeito à queda de um punção de uma altura constante e com um peso bem definido (1,192

kg). Para esse efeito fazem-se diversos ensaios sobre amostras da mesma massa com diferentes teores de água ⁽⁴⁾.

O índice de plasticidade de Pfefferkorn corresponde à porcentagem de água contida no corpo de prova cilíndrico submetido a uma compressão igual a 30% de seu nível inicial de altura ⁽⁴⁾.

Para a preparação de amostra são utilizadas massas cerâmicas com diferentes níveis de umidade. Com auxílio de um aparelho de preparação, são produzidos corpos de provas cilíndricos com diâmetro de 33 mm e 40 mm de altura.

O aparelho de medição consiste em uma haste fixada sobre uma base de e suporte que possui uma guia de deslize para uma punção de caída. A distância da queda até o primeiro ponto de contato com o corpo de prova é de 146 mm. No aparelho há escalas graduadas em que se pode ler o grau de deformação do cilindro (a) e a altura após a deformação (h_1).

O grau de deformação é uma grandeza adimensional calculada pela seguinte expressão:

$$a = h_0/h_1 \quad (C)$$

Onde h_0 é a altura inicial do corpo de prova (40 mm) e h_1 é altura após a deformação expressa em milímetros.

Por meio de testes práticos Pfefferkorn verificou a possibilidade de dividir o grau de deformação das argilas em três grupos:

- Grupo em que o grau de deformação (a) é inferior a 2,5 ($a < 2,5$): a mistura plástica da argila dificilmente poderá ser utilizada por ser demasiadamente seco, o que torna a massa difícil de ser trabalhada.
- Grupo em que o grau de deformação (a) se encontra entre os valores 2,5 e 4,0 ($2,5 < a < 4,0$): a argila pertence a uma categoria com características satisfatórias.
- Grupo em que o grau de deformação (a) é superior a 4,0 ($a > 4,0$): a argila começa a ser demasiadamente viscosa.

A porcentagem de água correspondente a um grau de deformação de 3,3 nos dá o índice de plasticidade de Pfefferkorn, pois este valor trata-se da média entre os valores limites em que argila apresenta características satisfatórias de uma massa plástica ^(3,4).

Foram feitos seis corpos de prova cilíndricos com diferentes níveis de umidade para cada tipo de argila testada. Após a realização de cada ensaio, cada corpo de

prova teve seu peso aferido e foram colocadas em uma estufa a cerca de 110°C por um período de vinte e quatro horas. Após este período de secagem cada corpo de prova foi pesado novamente à temperatura e umidade ambientes.

Com os dados obtidos foi possível que se plotassem gráficos que expressavam em seu eixo de ordenadas o percentual de umidade de cada corpo de prova e no eixo das abscissas o grau de deformação (a). Com auxílio de um ajuste linear feito por software calculou-se a equação da reta de tendência para cada gráfico e substituiu-se o valor da incógnita X pelo valor 3,3, o qual fornece o valor em percentual de umidade para o índice de plasticidade de Pfefferkorn.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atterberg

Os resultados dos ensaios realizados para determinação do limite de liquidez nas seguintes argilas: **Amarela**, **Verde**, **Vermelha** e **Branca** são mostrados nas figuras a seguir:

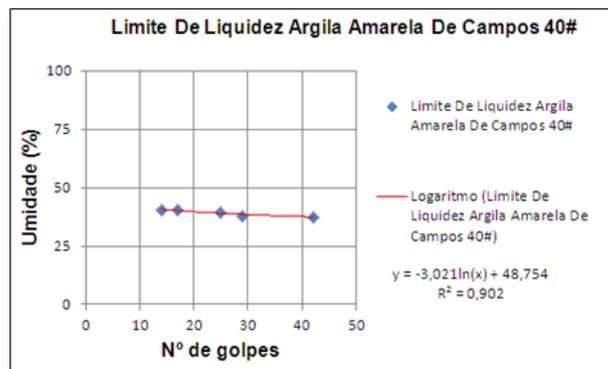


Figura 1 – Determinação do limite de liquidez na argila Amarela.

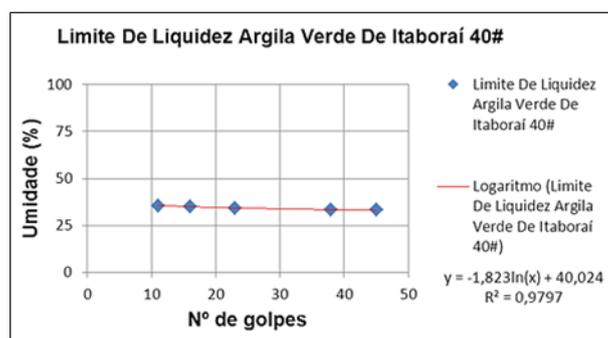


Figura 2 – Determinação do limite de liquidez na argila Verde.

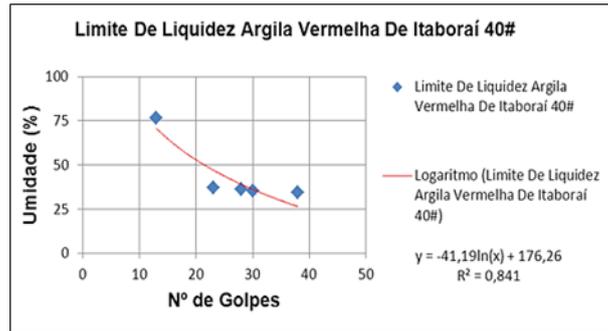


Figura 3 – Determinação do limite de liquidez na argila Vermelha.

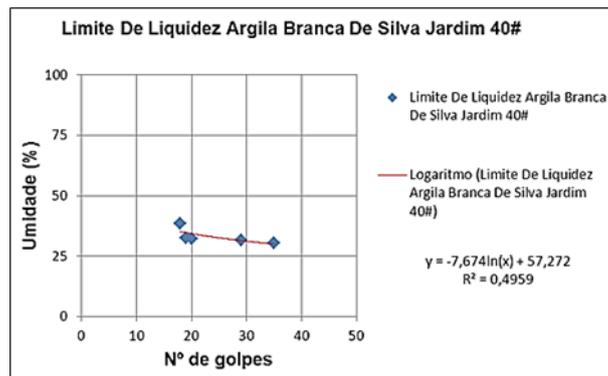


Figura 4 – Determinação do limite de liquidez na argila Branca.

Nota-se que em cada gráfico foi colocada uma linha de tendência logarítmica, a fim de calcular o teor de umidade correspondente a 25 golpes, ponto o qual correspondente ao limite de liquidez da argila em um valor percentual de umidade. Esse cálculo é feito substituindo o X na equação por 25. Os valores obtidos foram: 39,03% para argila Amarela; 34,15% para argila Verde; 43,67% para argila Vermelha; 32,57% para argila Branca de Silva Jardim.

Os resultados para o limite de plasticidade são obtidos através da média da umidade de quatro corpos de prova na forma de um cilindro com aproximadamente 100 mm de comprimento e 3 mm de diâmetro, os quais são feitos com as mesmas massas utilizadas nos ensaios de limite de liquidez.

As médias obtidas para o limite de plasticidade foram: 25,36% para a argila Amarela; 21,42% para a argila Verde; 21,32% para Argila Vermelha; 20,28% para a argila Branca.

Tabela 1 – Resultados gerais dos ensaios de plasticidade pelo método de Atterberg.

	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
Amarela	39,03	25,36	13,67
Verde	34,15	21,42	12,73
Vermelha	43,67	21,32	22,35
Branca	32,57	20,28	12,29

Os índices de plasticidade de Atterberg para as argilas testadas são obtidos através da subtração do limite de plasticidade do respectivo limite de liquidez para cada uma das argilas testadas, obtendo os seguintes resultados demonstrados na Tabela 1.

Pfefferkorn

O resultado desse tipo de ensaio é expresso em forma de gráfico, onde o eixo das abscissas é a relação das alturas (a) e o eixo das ordenadas é a umidade percentual.

A seguir, os gráficos de cada ensaio das mesmas argilas utilizadas anteriormente para calcular os limites de Atterberg:

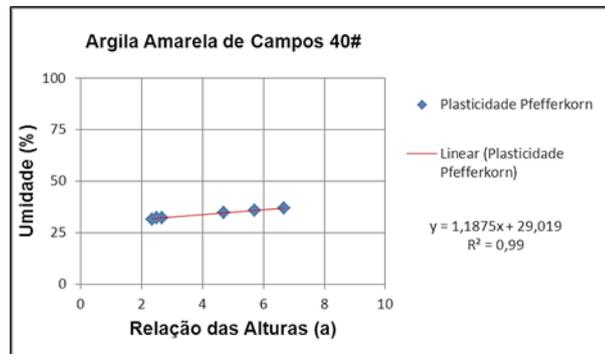


Figura 5 – Determinação do índice de plasticidade de Pfefferkorn da argila Amarela.

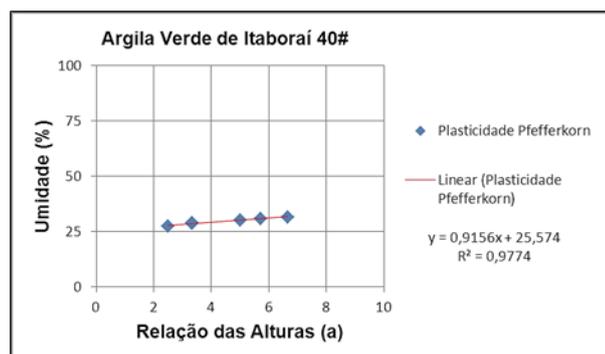


Figura 6 – Determinação do índice de plasticidade de Pfefferkorn da argila Verde.

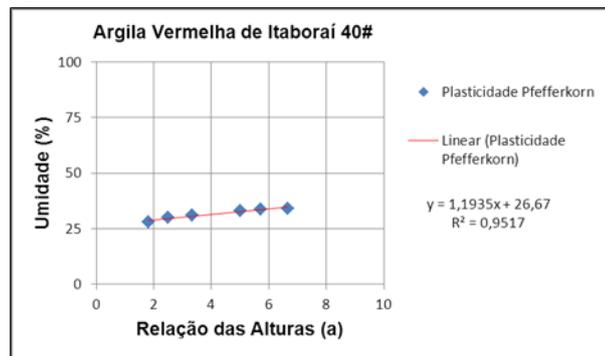


Figura 8 – Determinação do índice de plasticidade de Pfefferkorn da argila Vermelha.

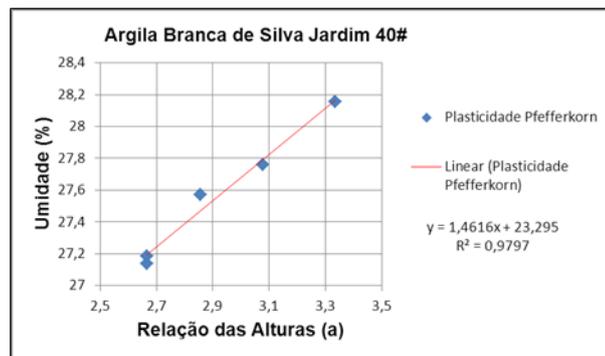


Figura 7 – Determinação do índice de plasticidade de Pfefferkorn da argila Branca.

Em cada gráfico foi utilizada uma linha de tendência linear a fim de se obter a equação do gráfico, essa equação tem como função calcular o valor exato do índice de plasticidade Pfefferkorn, que é indicado na ordenada do gráfico (percentual de umidade) quando a abscissa (relação das alturas (a)) tem valor igual a 3,3.

A partir das equações de ajuste linear dos gráficos apresentados nas figuras 5,6,7 e 8 obtiveram-se os seguintes resultados para os índices de plasticidade de Pfefferkorn ao substituir “X” pelo valor 3,3 como relação das alturas: 32,94% para argila Amarela; 28,60% para argila Verde; 30,61% para argila Vermelha; 28,12% para argila Branca.

Assim, por meio dos dados coletados nos ensaios e após a realização dos cálculos necessários obtiveram-se os seguintes resultados divulgados na seguinte tabela:

Tabela 2 – Tabela de resultados gerais.

	LL (%)	LP (%)	Média (LP+LL)/2	IP Atterberg (%)	IP Pfefferkorn (%)
Amarela	39,03	25,36	32,19	13,67	32,94
Verde	34,15	21,42	27,78	12,73	28,60
Vermelha	43,67	21,32	32,49	22,35	30,61
Branca	32,57	20,28	26,42	12,29	28,12

Os métodos de Atterberg e Pfefferkorn utilizam diferentes princípios de medida, diferentes parâmetros medidos ou calculados e apresentam diferentes reprodutibilidades. Além disso, determinação experimental, em alguns casos, é dependente do operador, que por sua vez pode produzir resultados diferentes quando diferentes métodos são comparados ⁽⁷⁾.

Os índices de plasticidade de Atterberg e Pfefferkorn calculados neste experimento foram mais próximos para a argila Vermelha, no entanto, esses índices não devem ser comparados diretamente, visto que são determinados de modos diferentes e apresentam diferentes significados.

Como foi visto, o índice de plasticidade de Atterberg expressa a faixa plástica do material argiloso entre os limites de liquidez e de plasticidade do mesmo, já o índice de plasticidade de Pfefferkorn expressa a quantidade de água presente em percentual de umidade correspondente a um grau de deformação (a) igual a 3,3, valor o qual corresponde a uma aproximação da média aritmética entre os valores limites em que o material argiloso é considerado demasiadamente seco ($a \leq 2,5$) e demasiadamente viscoso ($a \geq 4$).

Comparando o modo como é calculado o índice de plasticidade de Pfefferkorn, pela média dos limites e aplicando para o método de Atterberg através do cálculo da média aritmética dos limites de liquidez e de plasticidade, obteve-se uma boa proximidade de resultados entre o índice de plasticidade de Pfefferkorn e a média dos limites de Atterberg, o que pode vir indicar uma relação entre tais medidas.

CONCLUSÃO

Após a análise de resultados dos ensaios realizados, foi possível perceber que apesar de cada uma das argilas testadas apresentarem diferentes valores de índices

e limites de plasticidade, trata-se de materiais plásticos e que podem ser conformados pelo processo de extrusão.

Ambos os ensaios realizados conseguem proporcionar uma boa noção da plasticidade do material argiloso testado, por isso, podem ser utilizados em indústrias a fim de aperfeiçoar a etapa de conformação. Além disso, os equipamentos para realização de ensaios pelos métodos de Atterberg e Pfefferkorn são baratos e relativamente fáceis de realizar.

O ensaio de pelo método de Atterberg requer maior habilidade manual do operador e há maior contato das mãos do operador com o material testado, principalmente durante a etapa de medição do limite de plasticidade. Por outro lado, o ensaio de plasticidade pelo método de Pfefferkorn torna-se mais simples neste aspecto, visto que os corpos de prova são produzidos em um molde específico. A habilidade do operador pode ser um fator relevante durante o processo de aferição da plasticidade.

Ao relacionar os limites de Atterberg da mesma forma como foi calculado o índice de Pfefferkorn, pela média aritmética dos valores considerados limites, notou-se que os resultados para a média dos limites de Atterberg se aproximam dos valores encontrados para os índices de plasticidade de Pfefferkorn das argilas testadas, o que pode vir indicar uma relação próxima entre os limites estabelecidos por Atterberg e por Pfefferkorn, mesmo após terem determinado tais limites utilizado diferentes princípios de medida. Para tanto, se faz necessária a realização um maior numero de ensaios e de outros estudos, dentre eles estudos de repetibilidade e reprodutibilidade de resultados.

REFERENCIAS

- 1) REED, J. S. Principles of ceramic processing. 2nd. ed. New York, Wiley-Interscience, 1995.
- 2) HÄNDLE, F. (Ed.), 2007. Extrusion in Ceramics. Springer, New York.
- 3) GOMES, C.F. “Argilas - O que são e para que servem”, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1988.

- 4) RIBEIRO, M. J; FERREIRA, A. A. L.; LABRINCHA, J. A. Aspectos Fundamentais Sobre a Extrusão de Massas de Cerâmicas Vermelha. *Cerâmica Industrial*, vol. 8, n. 1, p. 37–42, 2003.
- 5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação do limite de liquidez: Procedimento, NBR 6459. Rio de Janeiro, p. 1-6, 1984.
- 6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação do limite de plasticidade: Procedimento, NBR 7180. Rio de Janeiro, p. 1-3, 1984.
- 7) ANDRADE, F.A.; AL-QURESHI, H.A.; HOTZA, D. Measuring the plasticity of clays: A review. *Applied Clay Science*, v. 51, p. 1–7, 2011.

COMPARATIVE STUDY BETWEEN MEASUREMENT METHODS OF PLASTICITY IN CLAY MATERIALS

This study aims to evaluate and compare the measures of plasticity index of clay materials from different localities of the state of Rio de Janeiro by the methods of Atterberg and Pfefferkorn. Through values of plasticity index can be associated the

adequacy of a ceramic to their respective stage of mechanical forming, which makes the prior knowledge of the plasticity index very important when you want to fabricate ceramic parts. The evaluation of the plasticity of a ceramic is related to factors intrinsic to the mass as well as extrinsic factors, but beyond these factors there is still the fact of determining the plasticity often depends on the operator skills. The results of this study showed some nearby values of plasticity index obtained by the different measuring methods used.

Key-words: Plasticity, Clays, Atterberg, Pfefferkorn, Red Ceramic