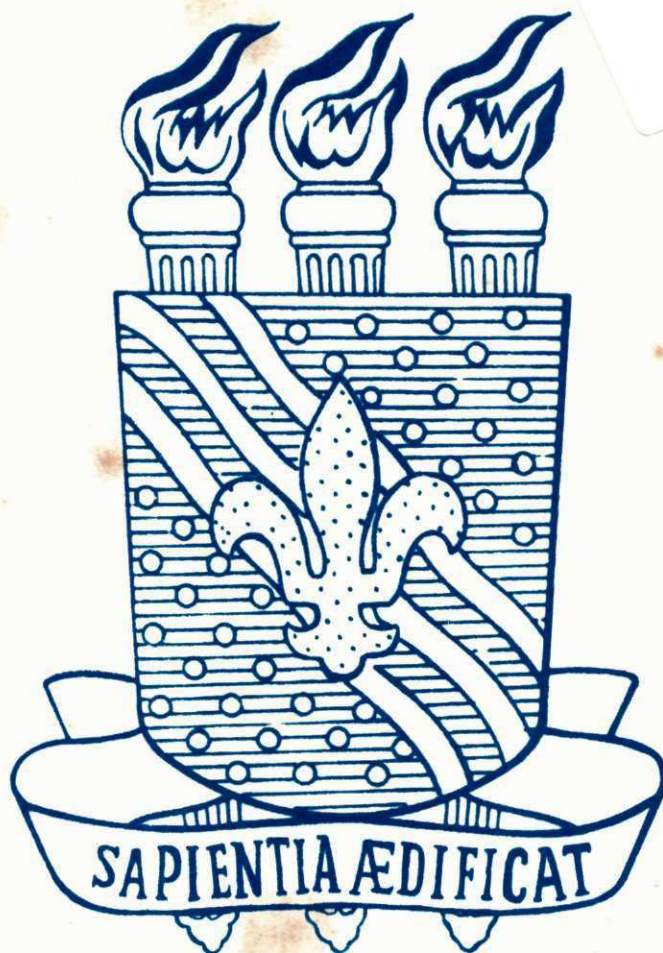


Universidade Federal da Paraíba

PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA



ESTÁGIO SUPERVISIONADO

ALUNA: Maria Roberta de Oliveira Pinto

MATRÍCULA: 8311467-9

ORIENTADORA: Laura Hecker de Carvalho

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

RELATÓRIO FINAL
ESTÁGIO SUPERVISIONADO

TÍTULO: ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO COMPOSTO
CERÂMICA ESTRUTURAL-POLÍMERO.

TRABALHO APRESENTADO POR: MARIA ROBERTA DE OLIVEIRA FIMTO
NÚMERO DE MATRÍCULA : 8311467-9
LOCAL DE ESTÁGIO : LABORATÓRIO DE ENG. DE MATERIAIS- UFPA
ORIENTADORA : LAURA HECKER DE CARVALHO
CO-ORIENTADOR : HELIO DE LUCENA LIRA

CAMPINA GRANDE, ____/____/____



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

ESTÁGIO SUPERVISIONADO - JULGADO EM 24 / 01 / 91

NOTA: 9,0 (nove)

EXAMINADORES:

Luca

[Signature]

Laura Hecker de Carvalho

Campina Grande, 24 / 01 / 91



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
D E Q - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Campina Grande, 17 de Janeiro de 1991

"A QUEM INTERESSAR POSSA"

Atendendo a solicitação da Sr^a Maria Roberta de Oliveira Pinto, informamos que a mesma estagiou no Laboratório de Engenharia de Materiais da UFPB - Campus II no período de 16/04/90 a 24/08/90, perfazendo um total de 720 horas.

Atenciosamente

LAURA HECKER DE CARVALHO
Coordenadora do Laboratório de Eng. de Materiais.

A G R A D E C I E M E N T O S

À DEUS, meu grande companheiro e guia em todos os meus caminhos.

À minha família, pela paciência, incentivo e confiança que me dedicaram.

Aos professores Laura Hecker de Carvalho e Hélio de Lucena Lira, que gentilmente orientaram-me neste trabalho.

Aos colegas do laboratório de Eng. de Materiais da UFPE, que junto aos seus conhecimentos, deram um sorriso, um impulso para que esse trabalho se concretizasse.

À Coordenadora de Estágio, Elida Eduarda Tamá, pela contribuição na realização desse trabalho.

R E S U M O

O presente trabalho foi desenvolvido durante as atividades de estágio no Laboratório de Engenharia de Materiais da UFPE, com o objetivo de melhor aprimorar nossos conhecimentos através da prática laboratorial, uma vez que estes eram fundamentados unicamente em teoria.

O compósito cerâmica estrutural-polímero é uma combinação de dois componentes onde cada qual mantém suas características individuais, formando uma estrutura bifásica em que a fase contínua é a cerâmica e a dispersa é o polímero. Nesta combinação, tem-se uma melhora bastante acentuada nas propriedades mecânicas da cerâmica, tais como, a porosidade aparente, a absorção de água e principalmente o módulo de ruptura à flexão.

A E S T R A C T

The present work was developed during my training period in the laboratory of Materials Engineering in the UFPB, in order to improve our theoretical knowledge through laboratory experiments.

The structural ceramic-polymer composite consists of a combination of two components each of which keeps its individual characteristics in order to form a two-phase structures in which the continuous phase is the ceramic and the dispersed phase is the polymer. This combination promotes good improvement on the ceramic's mechanical properties, such as, apparent porosity, water absorption and mainly, it greatly improves its flexural modulus.

SÍMBOLOS

Ca	- Cálcio
Mg	- Magnésio
K	- Potássio
Na	- Sódio
Fe	- Ferro
H_2SO_4	- Ácido sulfúrico
H_3PO_4	- Ácido fosfórico
SiO_2	- Óxido de silício
H_2CO_3	- Ácido carbônico
R.S.	- Retração de secagem
R.Q.	- Retração de queima
Lo	- Comprimento inicial
Ll	- Comprimento final
P.A.	- Porosidade aparente
Fu	- Peso úmido
Fs	- Peso seco
Pi	- Peso imerso
A.A.	- Absorção de água
M.E.A.	- Massa específica aparente
T.R.	- Módulo de ruptura à flexão
P	- Carga de rompimento
b	- Largura

- h - Espessura
- g - Gramas
- cm³ - Centímetros cúbicos
- cm² - Centímetros quadrados
- Kgf - Kilogramas força
- MPI - Massa de polímero impregnado
- PA/I - Porosidade aparente após a impregnação
- AA/I - Absorção de água após a impregnação
- MEA/I - Massa específica aparente após a impregnação
- TR/I - Tensão de ruptura à flexão após a impregnação

Í N D I C E

PÁGINAS

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

SÍMBOLOS

1.	INTRODUÇÃO	01
2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	02
	2.1 - COMPÓSITO	02
	2.2 - CERÂMICA ESTRUTURAL	05
	2.3 - POLIESTIRENO	08
	2.4 - CATALIZADOR AZDN (AZCISOBUTIRONITRILA)	10
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	11
4.	RESULTADOS	16
5.	DISCUSSÕES	21
6.	CONCLUSÃO	24
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

A cerâmica estrutural é amplamente utilizada na construção civil, pavimentação e artigos diversos, contribuindo decisivamente para a melhoria da qualidade de vida e para o bem estar do homem.

Com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas de cerâmica estrutural, desenvolveu-se compósitos de cerâmica estrutural-polímero. Estes materiais são resultantes da impregnação de cerâmica por monômeros líquidos, os quais são posteriormente polimerizados "in situ" por simples aquecimento envolvendo a utilização de iniciadores químicos.

Esses materiais têm um desempenho bem melhor quando comparados com a cerâmica não tratada. Em geral, a porosidade aparente, a absorção de água e o módulo de ruptura à flexão são drasticamente alterados. Com isso, o compósito cerâmica estrutural-polímero pode substituir a cerâmica estrutural em várias aplicações.

Entretanto, raríssimas pesquisas foram feitas com relação à análise da estrutura microscópica dos compósitos cerâmica estrutural-polímero. Não se verifica uma preocupação com relação à distribuição do polímero formado na matriz cerâmica, como também não se verifica nenhum estudo das características ^{influência} do polímero sobre as propriedades do compósito. Não se tem esclarecimentos a respeito das forças de interação entre o polímero e a cerâmica, se ocorrem ligações químicas entre as duas fases, ou somente interações físicas.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 - COMPÓSITO

2.1.1 - DEFINIÇÃO

A palavra compósito significa que dois ou mais materiais estão combinados numa escala macroscópica para formar um material útil. Diferentes materiais podem ser combinados numa escala macroscópica tal como nas ligas metálicas, todavia, o material resultante é macroscópicamente homogêneo. A vantagem dos compósitos é que estes usualmente exibem qualidades superiores as dos seus constituintes e frequentemente algumas qualidades que nenhum dos seus constituintes em separado, possui. As propriedades que podem ser melhoradas pela formação do material compósito inclui:

- . Dureza
- . Resistência à flexão
- . Resistência a corrosão
- . Resistência ao desgaste
- . Resistência a tração
- . Isolamento térmico
- . Condutividade térmica
- . Isolamento acústico, etc.

Naturalmente, nem todas as propriedades acima são melhoradas ao mesmo tempo ou com a mesma intensidade. porém, geralmente não é necessário todos esses requerimentos.

CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS

Existem várias formas de se classificar os compósitos. De todas, quatro são as mais aceitas em se tratando do tipo de carga:

- Compósitos fibrosos que consistem de fibras numa matriz;
- Compósitos laminados consistindo de camadas de vários materiais;
- Compósitos particulados ou aglomerados que são compostos de uma matriz recheada de partículas; e
- Revestimentos superficiais formados pela superposição de camadas finas de tintas, vernizes, esmaltes, ou qualquer tipo de agente anti-corrosivo, na superfície de um material.

1 - Compósitos Fibrosos

Fibras longas em várias formas são inerentemente muito mais resistentes que seus constituintes na forma não fibrosa. A geometria da fibra favorece ao aumento da resistência, e esta característica é levada em conta em aplicações estruturais.

2 - Compósitos Laminados

A laminação é utilizada para combinar os melhores aspectos dos constituintes das camadas, com o objetivo de se obter um material de melhor aplicabilidade. As propriedades que podem ser acentuadas através da laminação são a resistência mecânica, a rigidez, o baixo peso, a resistência a corrosão e às intempéries, o isolamento térmico e acústico, entre outros.

3 - Compósitos Particulados

Compósitos particulados consistem de partículas de um ou mais materiais dispersos em uma matriz de um outro material. As partículas e as matrizes podem ser de natureza diversa e as combinações mais comuns destas possibilidades são: não-metais em não-metais, metal em não-metal, metal em metal e não-metal em metal.

4 - Revestimentos Superficiais

A função primária de um tratamento superficial é proteger o material no qual este tratamento é feito. Entretanto, pode servir também como efeito decorativo. Classificamos os revestimentos superficiais como: metálicos, inorgânicos e orgânicos.

2.1.3 - CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS QUANTO À FASE DA MATRIZ E DA CARGA

Os compósitos sendo materiais multi-fases podem ainda ser classificados quanto ao tipo de fase matriz/reforço.

Fase matriz/reforço	Exemplos
- Cristalina/cristalina	Todos os sistemas metálicos como aço, ferro fundido, além dos granitos e mármorees.
- Cristalina/amorfa	Nenhuma importância prática.
- Amorfa/cristalina	Cerâmicas sintéticas (tijolos, porcelanas), concreto, polímeros parcialmente cristalinos.
- Amorfa/amorfa	Fiberglass, asfalto, madeira,

cimento hidratado e outros géis

2.2 - CERÂMICA ESTRUTURAL

2.2.1 - DEFINIÇÃO

Chama-se cerâmica à pedra artificial obtida pela moldagem, secagem e cozimento de argilas ou de misturas contendo argilas. Em certos casos pode-se suprimir algumas das etapas citadas, mas a matéria prima é a argila.

Argilas são materiais terrosos naturais que, quando misturados com água, adquirem a propriedade de apresentar alta plasticidade. As argilas são constituídas essencialmente de partículas cristalinas extremamente pequenas, formadas por um número restrito de substâncias. Estas substâncias são chamadas argilo-minerais. Uma argila pode ter um ou mais argilo-minerais.

De acordo com a ABNT, as argilas são compostas de partículas coloidais de diâmetro inferior a $0,005^2\text{mm}$, com alta plasticidade quando úmidas e que, quando secas, formam torrões dificilmente desagregáveis pela pressão dos dedos.

2.2.2 - ARGILO-MINERAIS

Os argilo-minerais são silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, comumente com alguma porcentagem de álcalis e de alcalino-terrosos. Junto com esses elementos básicos vem a sílica, a alumina, a mica, o ferro, o cálcio, o magnésio, a matéria orgânica, etc.

2.2.3 - TIPOS DE ARGILAS

De maneira geral, podem-se ter:

- a. Argilas de cor de cozimento branca: caulins e argilas plásticas;
- b. Argilas refratárias: caulins, argilas refratárias e argilas altamente aluminosas;
- c. Argilas para produtos de grés;
- d. Argilas para materiais cerâmicos estruturais, amarelas ou vermelhas.

As argilas são classificadas como gordas e magras conforme seu maior ou menor teor de colóides. Por essa razão, as argilas gordas são muito plásticas, e, devido à alumina, deformam-se muito mais no cozimento. As argilas magras, devido ao excesso de sílica, são mais porosas e frágeis

2.2.4 - PROPRIEDADES DAS ARGILAS

As propriedades mais importantes das argilas são a plasticidade, a retração e o efeito do calor.

Nas cerâmicas o interesse se situa no peso, resistência mecânica, resistência ao desgaste, absorção de água e vida média.

- Plasticidade das argilas

É a propriedade do corpo que, submetido a força determinada, se deforma e conserva indefinidamente a deformação, quando se anula a força.

Juntando-se água lentamente a uma argila, notam-se duas fases: No início ela se desagrega facilmente, e no fim ela fica mole demais. O ponto em que se limitam essas fases, ou seja, quando a argila não mais se desagrega, mas ainda não é pegajosa, é chamado ponto de maior plasticidade.

- Retração

Um bloco de argila úmida, quando exposto ao ar, tem inicialmente, uma velocidade de evaporação de água igual a evaporação que teria uma superfície de água, igual à do bloco. Depois, a velocidade de evaporação vai diminuindo, porque as camadas externas, ao secarem, vão recebendo a água das camadas internas por capilaridade, de modo que o conjunto tende a se homogeneizar continuamente.

Por isso, as quantidades de água vindas das camadas internas são cada vez menores. Em todo esse processo, no lugar antes ocupado pela água vão ficando vazios e, conseqüentemente, o conjunto se retrai. Essa retração é proporcional ao grau de umidade e varia também com a composição da argila: quanto maior for o teor de caulinita, maior será a retração.

- Efeitos do Calor Sobre as Argilas

Aquecendo-se uma argila entre 20 e 150°C, ela somente perde água de capilaridade e amassamento. De 150 a 600°C, a argila perde água adsorvida, e a argila vai se enrijecendo. Mas, a partir dos 600°C, começam as alterações químicas, em três estágios. Num primeiro estágio há a desidratação química onde a água de constituição também é expulsa, resultando o endurecimento, e as matérias orgânicas são queimadas. O segundo estágio é a oxidação, onde os car

bonetos são calcinados e se transformam em óxidos. A partir do terceiro estágio, que se inicia a temperatura de cerca de 950°C , ocorre a vitrificação. A sílica de constituição e a das areias forma uma pequena quantidade de vidro, que aglutina os demais elementos, dando dureza, resistência e compactação ao conjunto: aparece a cerâmica propriamente dita.

2.2.5 - PROPRIEDADES DAS CERÂMICAS

Em relação ao peso, há cerâmicas mais leves que a água, e outras de grande peso.

Volume aparente é o volume de água deslocado por uma peça já saturada por 24 horas de imersão. Peso específico aparente é a relação entre o peso da peça seca ao ar e seu volume aparente.

A resistência ao desgaste depende muito da quantidade de vidro formado. *muito vidro pouco desgaste ao contrário*

A absorção de água depende da compactação, das constituições iniciais, etc.

Chama-se absorção ou porosidade aparente à porcentagem de aumento de peso que a peça apresenta após 24 horas de imersão em água.

A resistência mecânica depende muito da quantidade de água usada na moldagem. O excesso de água remove as partículas menores, que mais facilmente fundirão para formar o vidro.

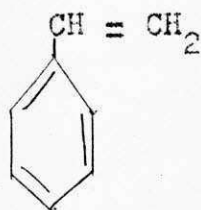
2.3 - POLIESTIRENO

O poliestireno é um material que se adapta muito bem às condições de produção em massa. É usado na fabricação de brinquedos, painéis para geladeiras e carcaças para aparelhos. É resistente a água, é frágil, tem limitada resistência a quente e à exposição ao tempo e apresenta reduzida densidade (1,05), o que o torna mais facilmente moldável do que outros plásticos. É obtido pela polimerização do estireno.

Pode ser moldado por injeção ou extrusão. É também usado na forma de espuma (isopor), em que bolhas diminutas de gás reduzem a densidade a apenas 2 a 3% do valor original; é um isolante térmico para baixas temperaturas, imune ao apodrecimento, à decomposição ou aos efeitos da umidade.

- O Monômero de Estireno

É o composto aromático mais simples, também conhecido pelo nome de vinilbenzeno. Tem a seguinte fórmula:



O estireno puro é um líquido, que ferve a 145°C e polimeriza lentamente à temperatura ambiente. Pode ser inalterado por longos períodos se lhe for adicionado uma pequena quantidade de inibidor (hidroquinona) que, antes da polimerização, é removido por lavagem ou destilação.

A polimerização do estireno pode ser levada a efeito por quatro métodos: (a) processo em massa; (b) processo em so

lução; (c) processo em emulsão e (d) processo em suspensão.

2.4 - INICIANTE AZDN (AZCISOBUTIRONITRILA)

O AZDN é largamente usado como iniciante na polimerização em massa, em solução e em suspensão de todos os monômeros vinílicos comuns. Mas ele não é suficientemente solúvel em água para ser capaz de iniciar a polimerização em emulsão.

O AZDN pode ser usado em temperaturas relativamente baixas, em concentrações baixas, não é facilmente envenenado por metais, enxofre e outros contaminantes e a decomposição não é acelerada por aditivos químicos.

O AZDN é amplamente usado nas seguintes aplicações:

- Na produção de fibras de acrilonitrila;
- Na produção de lâminas de metilmetacrilato;
- Polimerização de acetato vinílico em solvente metanol e na produção de acetatos polivinílicos;
- Polimerização de cloretos vinílicos e copolímeros, etileno, estireno, etc;
- Curas de resinas poliésteres insaturadas à temperaturas elevadas;
- Em reações de halogênios, etc.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - MATERIAIS

Para o estudo das propriedades cerâmicas do composto cerâmica estrutural-polímero foram utilizados os seguintes materiais:

- Argila plástica da região de Santa Rita-PE.
- Mucilagem (resíduo do sisal). As cinzas do resíduo obtido, segundo Medina⁽⁴⁾ apresentam a seguinte composição:

SiO ₂	= 0,16%	Ca	= 33,4%
Cloro	= 0,28%	Mg	= 15,37%
H ₂ SO ₄	= 0,88%	K	= 18,8%
H ₃ PO ₄	= 3,29%	Na	= 1,42%
Fe	= 0,69%	H ₂ CO ₃ e outros	= 25,71%

- Monômero de estireno - cedido pela EDN (Estireno do Nordeste S.A.)

Catalizador AEDN (azoisobutironitrila) - 0,2% em peso. - Cedido pela CPB (Central de Polímeros da Bahia)

3.2 - MÉTODOS

- Preparação da massa semi-seca

Inicialmente a argila foi passada em um moinho de discos durante 4 horas, para que adquirisse uma granulometria adequada, isto é, que passasse totalmente em peneira USS nº 80 (abertura de 0,18 mm); esta peneira corresponde à granulometria usual da prensagem industrial de massas cerâmicas semi-secas.

Em seguida, foi adicionada cerca de 10% de água destilada à argila. Esta umidade de prensagem deve ser próxima à natural e é acertada por tentativa (é geralmente a metade do limite de plasticidade de Atterberg), até se obter um corpo de prova que possa ser facilmente extraído do molde e manuseável sem deformar. A massa semi-seca é passada em peneira USS nº 14 para que fique bem homogênea, permitindo assim, uma uniformidade durante a prensagem.

Após o preparo da massa semi-seca foram adicionados teores de 0,0; 0,5; 1,0; 1,5; e 2,0% de mucilagem.

- Moldagem dos corpos de prova

Com a massa semi-seca foram moldados corpos de prova de perfil retangular com dimensões de 6,0 x 2,0 x 0,5 cm, prensados sob pressão de 200 Kgf/cm² em prensa de laboratório.

Com estes corpos de prova é possível medir as seguintes características cerâmicas após a secagem a 110°C e após a queima: cor, retração linear ou volumétrica, módulo ou tensão de ruptura à flexão, absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente.

- Secagem e sinterização dos corpos de prova

Os corpos de prova foram secados ao ar durante alguns dias até o desaparecimento da umidade superficial e depois, em estufa à temperatura de 110°C por 24 horas.

Em seguida, foram queimados a 700, 850 e 950°C respectivamente em forno elétrico, de resistência de Kanthal, em atmosfera oxidante, com velocidade constante de $2^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$, tendo permanecido na temperatura máxima por 2 horas. O resfriamento se deu naturalmente durante a noite, até a temperatura ambiente.

- Impregnação e polimerização

Inicialmente foi preparada uma solução de estireno com AZDN na concentração de 0,2%. Em seguida, borbulhou-se o gás argônio nesta solução, por pelo menos 15 minutos, para que fosse retirado o oxigênio.

Os corpos de prova foram impregnados com esta solução, sendo utilizado o método de vácuo-pressão.

Após a impregnação, as amostras foram cuidadosamente envolvidas com papel alumínio, para evitar ao máximo a evaporação de monômeros. Finalmente as amostras foram introduzidas numa estufa a 65°C , até que a reação de polimerização se completasse.

- Ensaaios

Após a preparação das amostras acima descritos, foram feitas as determinações cerâmicas: retração linear, porosidade aparente, absorção de água, massa específica aparente e módulo de ruptura à flexão.

a) Variação das dimensões lineares após secagem a 110°C e após queima a 700, 850 e 950°C:

$$R.S. (\%) = \frac{L_0 - L_1}{L_1} \times 100$$

$$R.Q. (\%) = \frac{L_{11} - L_1}{L_1} \times 100$$

Onde R.S. e R.Q. são as variações das dimensões lineares após secagem e após queima; L_0 o comprimento inicial do corpo de prova (em cm); L_1 o comprimento (em cm) do corpo de prova após secagem; e L_{11} o comprimento (em cm) do corpo de prova após queima.

b) Porosidade aparente

$$P.A. (\%) = \frac{P_u - P_s}{P_u - P_i} \times 100$$

Onde P.A. é a porosidade aparente (em %); P_u o peso do corpo de prova úmido (em g); P_s o peso do corpo de prova seco (em g); e P_i o peso do corpo de prova imerso em água (em g).

c) Absorção de água

$$A.A. (\%) = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100$$

Onde A.A. é a absorção de água (em %); P_u o peso do corpo de prova úmido (em g); e P_s o peso do corpo de prova

seco (em g).

d) Massa específica aparente

$$M.E.A. \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{P.A.}{A.A.}$$

Onde M.E.A. é a massa específica aparente (em g/cm³); P.A. a porosidade aparente do corpo de prova (em %); e A.A. a absorção de água do corpo de prova (em %).

e) Tensão de ruptura à flexão

$$T.R. \text{ (Kgf/cm}^2\text{)} = \frac{3 PL_0}{bh^2}$$

Onde T.R. é a tensão de ruptura à flexão (em Kgf/cm²); P a carga de rompimento (em Kgf); L₀ a distância entre os dois apoios (5 cm); b a largura do corpo de prova (em cm); e h a espessura do corpo de prova (em cm).

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos do compósito cerâmica-estrutural-polímero, com teores de mucilagem variando de 0,0 a 2,0% e nas temperaturas de queima de 700, 850 e 950°C, estão apresentados nas tabelas 1, 2, 3, 4 e 5.

Tabela 1: Propriedades cerâmicas dos corpos de prova queimados nas temperaturas de 700, 850 e 950°C

PROPRIEDADES	TEMPERATURA DE QUEIMA		
	700°C	850°C	950°C
R.C. (%)	0,273	0,495	0,969
P.A. (%)	31,08	37,01	35,26
A.A. (%)	17,84	23,60	21,85
T.R. (Kgf/cm ²)	65	86	104
COR	LARANJA	VERMELHO	VERMELHO

Tabela 2: Propriedades cerâmicas dos corpos de prova secados a 110°C.

PROPRIEDADES	AMOSTRAS SECAS A 110°C
R.S. (%)	1,224
T.R. (Kgf/cm ²)	38
COR	CINZA

Tabela 3: Corpos de prova queimados a 700°C.

PROPRIEDADES	TEORES DE MUCILAGEM (%)				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
P.A. (%)	31,08	28,15	25,22	26,04	26,37
A.A. (%)	17,84	15,95	14,06	14,64	14,58
M.E.A. (g/cm ³)	1,74	1,76	1,79	1,78	1,81
T.R. (Kgf/cm ²)	65	65	65	67	62
M.P.I. (%)	7,63	6,18	4,74	7,33	5,70
P.A./I. (%)	16,28	16,86	17,45	14,47	18,88
A.A./I (%)	9,40	8,83	8,26	6,94	8,43
M.E.A./I (g/cm ³)	1,73	1,90	2,11	2,09	2,24
T.R./I (Kgf/cm ²)	124	110	97	129	87

Tabela 4: Corpos de prova queimados a 850°C.

PROPRIEDADES	TEORES DE MUCILAGEM (%)				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
P.A. (%)	37,01	35,33	27,86	27,71	29,37
A.A. (%)	23,60	22,23	15,66	15,67	16,81
M.E.A. (g/cm ³)	1,56	1,59	1,78	1,77	1,75
T.R. (Kgf/cm ²)	86	92	73	74	80
M.P.I. (%)	7,58	6,43	4,18	4,23	6,02
P.A./I (%)	18,43	23,89	20,46	19,61	21,38
A.A./I (%)	13,54	14,83	10,58	10,31	10,01
M.E.A./I (g/cm ³)	1,36	1,61	1,93	1,90	2,14
T.R./I (Kgf/cm ²)	133	109	102	103	122

Tabela 5: Corpos de prova queimados a 950°C.

PROPRIEDADES	TEORES DE MUCILAGEM (%)				
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
P.A. (%)	35,26	32,09	29,59	29,18	29,35
A.A. (%)	21,85	20,88	17,44	16,50	17,08
M.E.A. (g/cm ³)	1,61	1,54	1,70	1,77	1,72
T.R. (Kgf/cm ²)	104	106	96	94	87
M.P.I. (%)	3,69	2,93	3,47	5,81	2,01
P.A./I (%)	27,49	31,01	27,13	25,18	29,00
A.A./I (%)	17,10	19,32	13,04	12,03	14,80
M.E.A./I (g/cm ³)	1,61	1,61	2,08	2,09	1,96
T.R./I (Kgf/cm ²)	120	110	96	105	105

5. DISCUSSÕES

Os resultados apresentados nas tabelas 1 e 2 quando comparados aos valores recomendados por Souza Santos¹, mostram que a argila utilizada pode ser classificada como adequada para cerâmica estrutural.

Os resultados obtidos na tabela 3, isto é, com corpos de prova queimados a 700°C indicam que o aumento do teor de mucilagem causou uma diminuição da porosidade aparente e da absorção de água. Isto já era esperado, já que a mucilagem apresenta um alto teor de fundentes, que provoca uma fase vítrea na matriz cerâmica a baixas temperaturas.

A impregnação dos corpos de prova provocou uma redução em quase a metade da porosidade aparente e da absorção de água. Com isso, houve um pequeno aumento da massa específica aparente dos corpos de prova. Com relação ao módulo de ruptura à flexão verificou-se um aumento de quase o dobro em relação aos corpos de prova não impregnados. Isto pode ser atribuído ao fato de que uma boa quantidade do polímero penetrou na matriz cerâmica, reforçando assim, o corpo de prova. Com isso, os corpos de prova impregnados com polímero apresentaram propriedades cerâmicas bem melhoradas.

A partir dos resultados da tabela 4, isto é, com corpos de prova queimados a 850°C, verificou-se uma queda da porosidade aparente e da absorção de água com o aumento do teor de mucilagem. Com isso, ocorreu um pequeno aumento da massa específica aparente do corpo de prova. Verificou-se também que o módulo de ruptura à fle-

não sofreu uma pequena variação com o aumento da mucilagem.

Após a impregnação, observou-se uma boa redução da absorção de água e da porosidade aparente e um aumento significativo do módulo de ruptura à flexão nos corpos de prova.

Os resultados obtidos na tabela 5, isto é, com corpos de prova queimados a 950°C , mostraram uma pequena redução da porosidade aparente, da absorção de água e do módulo de ruptura à flexão dos corpos de prova, com o aumento do teor de mucilagem. Observou-se também que a massa do polímero impregnado foi muito pequena em relação aos corpos de prova queimados a temperaturas mais baixas, o que pode ser atribuído a uma maior sinterização dos corpos de prova queimados a 950°C , causando uma pequena diminuição da absorção de água e da porosidade aparente, e um pequeno aumento do módulo de ruptura à flexão.

De um modo geral, verificou-se que o aumento do teor de mucilagem provocou uma queda da absorção de água e da porosidade aparente dos corpos de prova. Esta queda pode ser explicada devido a mucilagem apresentar um alto teor de cálcio, de magnésio e de potássio, que são materiais altamente fundentes, e que durante a queima se combinam com os constituintes da argila e formam uma massa vítrea que enche os poros. Conseqüentemente, ocorreu um pequeno aumento da massa específica aparente dos corpos de prova.

Com o aumento da temperatura de queima de 700°C para 850°C observou-se um aumento da porosidade aparente e da absorção de água, e com o aumento de 850 para 950°C estas propriedades foram decrescendo. Já o módulo de ruptura à flexão foi aumentando, com o au

mento da temperatura, pois as argilas se tornam mais resistentes, isto devido ao maior grau de sinterização à temperaturas mais elevadas.

Após a impregnação do polímero os corpos de prova apresentaram excelentes resultados, verificando-se um aumento de quase o dobro no módulo de ruptura à flexão, principalmente nos corpos de prova queimados a temperaturas mais baixas, visto que obtiveram uma melhor impregnação, pois em temperaturas mais baixas tem-se uma porosidade maior, facilitando a impregnação.

6. CONCLUSÃO

A impregnação da cerâmica estrutural com estireno levou à obtenção de compósitos com propriedades mecânicas bem melhoradas, tendo-se verificado os principais aspectos:

- Nas duas primeiras temperaturas de queima, isto é, a 700 e 850°C, os corpos de prova apresentaram resultados bastante satisfatórios, principalmente com relação ao módulo de ruptura à flexão.

- Na temperatura de queima de 950°C, houve uma redução da massa de polímero impregnado na matriz cerâmica, pois a mesma se apresenta com um maior grau de sinterização, melhorando muito pouco as propriedades mecânicas do compósito.

Conclui-se portanto, que o compósito cerâmica estrutural-polímero possui excelentes propriedades mecânicas em temperaturas de queima mais baixas, significando com isso, uma economia bastante significativa com relação ao combustível utilizado durante a queima.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - Souza Santos, Pêrsio - Tecnologia de argilas - vol. 1
Editora Edgard Blücher Ltda. 1975
- 2 - Blass, Arno - Processamento de Polímeros
Editora da UFSC, 1988. 2ª Edição
- 3 - Falcão Bauer, L. A. - Materiais de Construção - vol. 2
Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1985
- 4 - Medina, J. C. - Sisal. São Paulo.
Secretaria da Agricultura, 1953
- 5 - Apostila: Introdução ao Estudo dos Materiais Conjugados *autor*
- 6 - AZDN - Catalizador e agente de Sopro - páginas de 1 a 10
Informativo da Sociéte Française D'organo-Synthése
26.10.78