4 Programa Experimental – Produção de Cerâmica Vermelha

O presente capítulo descreve o programa experimental que objetivou validar a incorporação do cascalho de perfuração de campos do Recôncavo Baiano, Alagoas e Sergipe para a produção de cerâmica vermelha.

Inicialmente, será apresentada a metodologia de incorporação. Em seguida, os resultados obtidos são apresentados e discutidos com base em resultados relatados na literatura brasileira e internacional.

4.1. Metodologia para modelagem das peças cerâmicas

A metodologia empregada na confecção das peças cerâmicas é apresentada na Figura 4-1, essa seguiu os procedimentos adotados na produção de corpos de prova cerâmicos para realização de ensaios tecnológicos.

Os materiais argilosos foram inicialmente destorroados, em um moinho de bolas, conforme pode ser visto na Figura 4.1(a). Em seguida, foi adicionado à matriz argilosa o cascalho de perfuração e a água, conforme ilustra a Figura 4.1 (b), a fim de alcançar um teor de umidade equivalente à metade do limite de liquidez mais dois por cento (LL/2 + 2%).

Realizada essa mistura, o material foi homogeneizado em um laminador, visto na Figura 4.1 (c). Após a passagem no laminador, a massa homogênea composta por solo e cascalho de perfuração foi posta no alimentador da extrusora ilustrada na Figura 4.1 (d). Neste processo, a massa argilosa é compactada e forçada por um eixo helicoidal, através de bocal com formato retangular. Como resultado obtém-se um corpo de prova prismático com as dimensões do bocal empregado e comprimento é obtido a partir do corte com um fio metálico de 0,5mm de diâmetro. A fim de minimizar a perda de umidade das peças extrudadas o intervalo de tempo entre a extrusão e o corte da peça deve ser mínimo.



Figura 4-1 - Preparação, moldagem e queima de peças cerâmicas.

As peças recém modeladas foram enumeradas, pesadas e suas dimensões determinadas. A seguir foram colocadas em uma bandeja metálica, vista na Figura 4.1 (e), onde permaneceram por 24 horas em temperatura ambiente. Decorrido este intervalo, as peças foram colocadas em uma estufa a 110°C. O processo de secagem teve a finalidade de evitar que as peças ficassem fissuradas ou empenassem no processo de queima.

Após 24 horas em estufa, as peças foram novamente pesadas e as suas dimensões determinadas com a finalidade de verificar a contração linear de secagem e a determinação do teor de umidade.

A queima dos corpos de prova foi efetuada em um forno elétrico automático visto na Figura 4.1 (f). Para os materiais do Recôncavo Baiano, a temperatura no interior do forno foi elevada a uma taxa de 1°C/minuto até atingir a temperatura de 700°C. Esta temperatura foi escolhida com base em um levantamento realizado entre 110 cerâmicas sindicalizadas no Município de Campos dos Goytacazes (RJ). Ao atingir 700°C, estabelecia-se um patamar de queima por três horas. Decorrido este intervalo o forno era desligado, promovendo uma queda gradativa e lenta da temperatura interna do forno, até que o valor da temperatura correspondesse ao da temperatura ambiente.

Na segunda etapa de produção de peças cerâmicas utilizando materiais dos estados de Alagoas e Sergipe adotou-se uma temperatura de queima de 900°C. Essa temperatura atende a Resolução nº 316 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006), que estabelece que tratamento térmico é todo e qualquer processo cuja operação seja realizada acima da temperatura mínima de 800°C.

4.2. Propriedades tecnológicas

As peças cerâmicas confeccionadas foram analisadas e determinadas segundo as suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Os resultados obtidos foram comparados com valores de referência utilizados nas indústrias de cerâmica. As propriedades tecnológicas foram determinadas pelos métodos de ensaios estabelecidos nas normas ASTM C 373 (1977a), ASTM C 674 (1977b) e metodologia proposto por Souza Santos (1992), descritos a seguir. Essas normas e métodos estabelecem a média de apenas cinco determinações para cada propriedade.

4.2.1. Absorção de água

A determinação da absorção de água dos corpos de provas produzidos foi realizada de acordo com a norma ASTM C 373 (1977a), empregando a seguinte relação:

$$AA = \left(\frac{M_u - M_s}{M_s}\right) x 100$$
 Equação 4-1

onde AA é a absorção de água dada em porcentagem, M_u é a massa após a queima úmida do corpo de prova e M_s é a massa queimada seca do corpo de prova em gramas.

4.2.2. Porosidade aparente

A porosidade aparente foi determinada para as temperaturas de queima dos corpos de prova de acordo com a norma ASTM C 373 (1977a), de acordo com:

$$PA = \left(\frac{M_u - M_s}{M_u - M_i}\right) \times 100$$
 Equação 4-2

onde PA é a porosidade aparente em porcentagem, M_u é a massa úmida do corpo de prova após a saturação, M_s é a massa seca do corpo de prova e M_i é a massa do corpo de prova submerso em água.

4.2.3. Retração linear

A retração linear dos corpos de prova cerâmicos secos e queimados foi determinada seguindo o procedimento estabelecido por Souza Santos (1989), que estabelece que a retração linear pode ser calculada através das seguintes expressões:

$$R_s = \left(\frac{L_0 - L_1}{L_0}\right) x 100$$
 Equação 4-3

$$R_q = \left(\frac{L_1 - L_{11}}{L_1}\right) x 100$$
 Equação 4-4

onde R_s é a retração linear em porcentagem após secagem a 110°C, L_0 é o comprimento úmido inicial do corpo de prova, L_1 é o comprimento do corpo de prova após secagem a 110°C, R_q é a retração linear em porcentagem após a queima e L_{11} é o comprimento do corpo de prova após queima.

4.2.4. Massa específica aparente

A massa específica aparente foi determinada seguindo os procedimentos descritos em ASTM C 373 (1977a). A massa específica aparente foi calculada empregando a seguinte expressão:

$$M.E.A. = \frac{M}{V}$$
 Equação 4-5

onde M.E.A. é a massa específica aparente da peça cerâmica, M é a massa da peça cerâmica queimada ou seca, V é o volume da peça cerâmica queimada ou seca.

4.2.5. Tensão de ruptura à flexão

Para a determinação da tensão de ruptura à flexão de 3 pontos dos corpos de prova utilizou-se uma prensa servo-controlada da marca INSTRON, modelo 5500R. Os ensaios foram realizados nas dependências do Instituto Tecnológico da PUC-Rio (ITUC). A velocidade de aplicação de carga foi de 0,5mm/min e a distância entre cutelos foi de 9,0cm. Este ensaio foi baseado na norma ASTM C 674 (1977b), que indica que a tensão de ruptura à flexão pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$TRF = \frac{3.P.L}{2bh^2}$$
 Equação 4-6

sendo TRF a tensão de ruptura à flexão, P a carga no instante da ruptura, L é a distância entre os apoios do corpo de prova, b é a largura do corpo de prova e h é a altura do corpo de prova.

4.3. Modelagem das peças cerâmicas

As peças cerâmicas foram confeccionadas para diferentes teores de cascalho de perfuração. No total foram confeccionados 17 tipos de materiais para os diferentes solos incorporados e para os diferentes teores de cascalhos de perfuração.

Foram produzidas neste trabalho um total de cerca de 1300 peças cerâmicas. As peças foram empregadas nas determinações das propriedades tecnológicas antes e após o processo de queima, no programa de degradação acelerada, e na realização das análises químicas para classificação de resíduo segundo a NBR 10.004.

A Tabela 4-1 apresenta a lista das peças cerâmicas produzidas com as misturas de solo e cascalho.

Tabela 4-1 – Peças cerâmicas confeccionadas.

Procedência		Material	Teor e tipo de cascalho incorporado
	1	EEDEDD A	•
	1	FEDERBA	10% de CP-01
	2	FEDERBA	20% de CP-01
	3	FEDERBA	30% de CP-01
	4	Sto Amaro Vermelho	10% de CP-01
Recôncavo Baiano	5	Sto Amaro Vermelho	20% de CP-01
	6	Sto Amaro Vermelho	30% de CP-01
	7	Sto Amaro Verde	10% de CP-01
	8	Sto Amaro Verde	20% de CP-01
	9	Sto Amaro Verde	30% de CP-01
	10	Bandeira	5% de CP-223D
	11	Bandeira	10% de CP-223D
	12	Bandeira	5% de CP-ANB Base Água
Alagana / Sargina	13	Bandeira	10% de CP-ANB Base Água
Alagoas / Sergipe	14	INCELT	5% de CP-129
	15	INCELT	10 de CP-129
	16	INCELT	5% de CP-1549
	17	INCELT	10% de CP-1549

4.3.1. Peças confeccionadas com materiais do Recôncavo Baiano

Os materiais Santo Amaro Verde e Santo Amaro Vermelho não se mostraram adequados para confecção de peças de cerâmica, uma vez que, após o processo de secagem se apresentavam flambadas e após a queima, deformadas, quebradiças e com muitas fissuras. As peças confeccionadas com o material Santo

Amaro Verde tinham dimensões de 111,7 x 2,86 x 1,86 mm (comprimento x largura x altura), já as peças modeladas com o material Santo Amaro Vermelho, foram modeladas para as dimensões de 76,5 x 22,5 x 19,8 mm (comprimento x largura x altura).

A Figura 4-2 apresenta as peças modeladas com os solos Santo Amaro Verde e Santo Amaro Vermelho após o processo de secagem e a Figura 4-3 após o processo de queima.

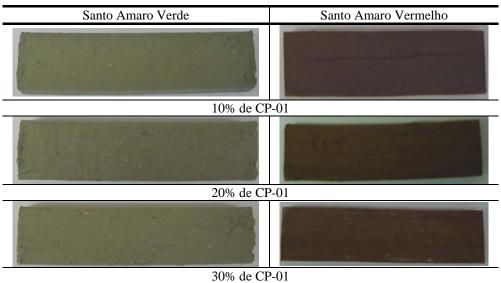


Figura 4-2 – Peças após processo de secagem, Materiais Santo Amaro Verde e Vermelho.

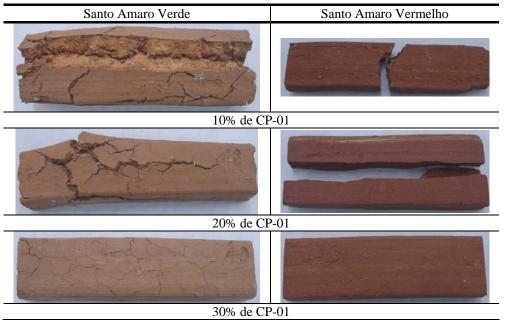


Figura 4-3– Peças após processo de queima, Materiais Santo Amaro Verde e Vermelho.

A Figura 4-3 mostra que as peças modeladas com um maior teor de incorporação de cascalho apresentam um melhor aspecto sendo menos quebradiças.

As peças modeladas com o material FEDERBA se apresentaram mais adequadas para produção de materiais cerâmicos com a incorporação de cascalho de perfuração. A Figura 4-4 apresenta as peças confeccionadas com o material FEDERBA, após o processo de secagem e queima.

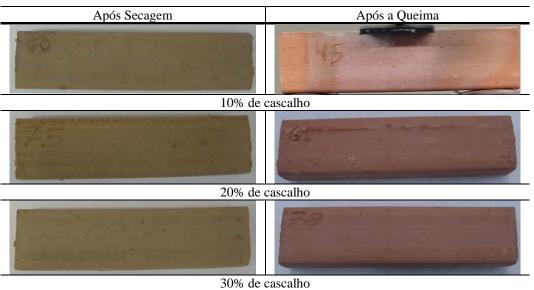


Figura 4-4– Peças após processo de secagem e queima, Material FEDERBA.

4.3.2. Peças confeccionadas com materiais de Alagoas e Sergipe

As peças confeccionadas com os materiais provenientes de Alagoas e Sergipe apresentavam dimensões médias de 110 x 28 x 18 mm, (comprimento x largura x altura), com bom aspecto, sem fissuras e sem empenos, tanto antes como depois do processo de queima. A Figura 4-5 apresenta as peças modeladas após o processo de queima. Essas peças foram produzidas com os materiais INCEL e Bandeira com um teor de incorporação de cascalho de perfuração de 5% (cinco) e 10% (dez).

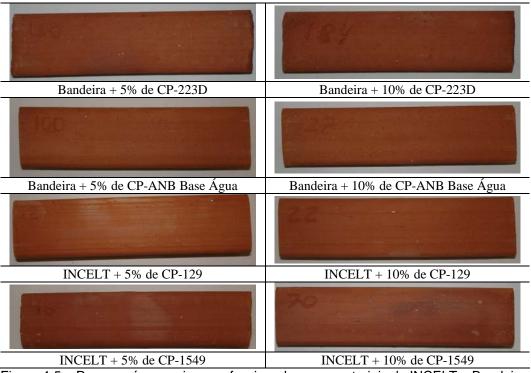


Figura 4-5 – Peças após a queima confeccionadas com materiais de INCELT e Bandeira.

4.3.3. Propriedades tecnológicas das peças confeccionadas

A Tabela 4.2 apresenta os valores médios obtidos nas determinações dos parâmetros físicos das peças cerâmicas. Para uma maior representatividade dos valores determinados foi considerada uma média de 12 determinações para a definição dos parâmetros, as normas técnicas (*e.g.*, ASTM C 373 (1977a), ASTM C 674 (1977b)) recomendem que os valores sejam determinadas a partir de um lote mínimo de 5 corpos de prova.

Os valores do teor de umidade medidos nas peças confeccionadas estão próximos ao estipulado no momento da mistura dos materiais, ou seja, metade do limite de liquidez mais dois por cento (LL/2 + 2%). Para o material FEDERBA o valor estipulado é 24%, para o material Bandeira o valor estipulado é 24,7% e para o material INCELT, o valor estipulado é 27%. A diferença observada entre os valores do teor de umidade pode ser atribuída à perda de água no processo de extrusão e no intervalo de tempo compreendido entre a extrusão e a pesagem das peças, uma vez que a umidade é determinada após a modelagem das peças.

Tabela 4-2 – Valores Obtidos nas Determinações dos Parâmetros Físicos das Peças Cerâmicas.

Pages C	Confeccionadas	Umidade	Contraçã	ăo linear	Absorção de	Porosidade	Massa
r eças C	tomeccionadas	Offindade	secagem	queima	água	rotostuade	específica aparente
Material	% de cascalho	%	cm/m		%	%	g/cm ³
	10% de CP-01	22,65	7,63	0,41	14,31	35,10	1,686
FEDERBA	20% de CP-01	22,84	6,92	0,40	15,22	35,70	1,681
	30% de CP-01	22,90	6,92	0,27	13,21	34,10	1,687
	5% de CP-223D	21,32	6,02	0,79	14,10	26,70	1,795
	10% de CP-223D	21,82	4,78	1,39	15,40	28,66	1,787
Bandeira	5% de CP-ANB Base Água	21,18	5,43	0,94	13,22	25,30	1,805
	10% de CP-ANB Base Água	21,46	4,78	1,19	12,75	24,53	1,808
	5% de CP-129	17,24	5,43	2,02	10,57	21,41	1,887
INCELT	10 de CP-129	18,75	6,10	1,52	11,22	22,56	1,889
INCELI	5% de CP-1549	20,01	6,18	1,62	11,38	22,60	1,879
	10% de CP-1549	18,82	5,91	1,73	11,14	21,96	1,844

As peças confeccionadas com o material INCELT apresentam uma maior diferença entre o valor determinado e o esperado para a umidade. Neste material, o processo de secagem foi conduzido apenas a uma temperatura de 60°C tentando simular o processo existente na indústria cerâmica. A esta temperatura a água livre não foi totalmente eliminada o que acarretou na diferença de valores observada.

A temperatura em que os corpos de prova foram submetidos durante o processo de secagem não é suficiente também para eliminar a água adsorvida dos materiais argilosos. É necessária uma temperatura ligeiramente superior a 110^{0} C para que isto ocorra. No entanto, quando se aquece a temperaturas superiores a 450^{0} C, começa o processo que resulta na perda da água de constituição estrutural. Nesta faixa de temperatura o material argiloso vai perdendo a suas características físicas. Esta transformação se encerra por volta de 600^{0} C. A partir desta temperatura, a sílica reage com a alumina formando silicatos de alumínio (mulita), um material de textura mais grosseira e com maior porosidade.

A faixa de variação dos valores de contração linear de secagem ficou em torno de 4,78cm/m a 7,63cm/m. Verificou-se que as peças confeccionadas com os materiais FEDERBA e Bandeira e com um maior teor de incorporação de cascalho tiveram um melhor desempenho. Em relação à contração linear de queima, observou-se o inverso, as peças confeccionadas com os materiais Bandeira e INCELT apresentaram uma maior contração quando houve uma maior incorporação de cascalho. Para o material FEDERBA os valores obtidos são

semelhantes, tendo uma ligeira redução da contração para as peças com 30% de incorporação de cascalho.

As peças produzidas com o material Bandeira tiveram maiores valores de absorção e porosidade quando comparadas com as peças produzidas com o material INCELT. Para estes materiais as peças cerâmicas tiveram a mesma temperatura de queima. Uma possível explicação reside no fato do material Bandeira possuir uma maior fração arenosa que o material INCELT e um menor teor de finos. A maior presença de quartzo no material Bandeira também ajuda a explicar o ocorrido, posto que este mineral não sofre alteração no processo de queima até 900°C.

Os valores de massa específica aparente apresentaram, para as peças de um mesmo material, valores semelhantes, sendo a diferença somente registrada na segunda casa decimal. Ao contrário dos valores de absorção e porosidade, os valores da massa específica determinados para o material INCELT foram superiores as dos demais materiais. Como os materiais utilizados apresentam uma mineralogia semelhante, era esperado que as peças com menor porosidade e absorção possuírem maior massa específica.

A Tabela 4-3 apresenta os valores dos desvios padrões obtidos nas determinações das propriedades tecnológicas. Observa-se que estes valores são muito baixos indicando uma boa repetibilidade do método de confecção e queima das peças.

Tabela 4-3 – Desvios Padrões das Determinações dos Parâmetros Físicos das Peças Cerâmicas.

Pages C	Confeccionadas	Umidade	Contraç	ão linear	Absorção	Porosidade	Massa específica	
reças C	Confeccionadas	Offindade	secagem	queima	de água	roiosidade	aparente	
Material	% de cascalho	%	cn	n/m	%	%	g/cm ³	
	10% de CP-01	0,06	0,28	0,28	0,31	0,31	0,01	
FEDERBA	20% de CP-01	0,45	0,32	0,35	1,09	0,29	0,01	
	30% de CP-01	0,12	0,18	0,16	0,22	0,39	0,00	
	5% de CP-223D	0,07	0,10	0,38	0,38	0,69	0,01	
	10% de CP-223D	1,64	0,11	1,27	0,39	0,67	0,05	
Bandeira	5% de CP-ANB Base Água	0,12	0,16	0,35	0,46	0,70	0,02	
	10% de CP-ANB Base Água	0,14	0,14	0,41	0,27	0,59	0,01	
	5% de CP-129	0,32	1,35	1,91	0,59	1,06	0,05	
INCELT	10 de CP-129	0,26	0,22	0,33	0,07	0,12	0,01	
	5% de CP-1549	0,18	0,72	0,73	0,45	0,84	0,01	
	10% de CP-1549	0,24	0,27	0,29	0,21	0,43	0,01	

As peças cerâmicas foram submetidas a ensaio de flexão a fim de determinar a tensão de ruptura à flexão. Os ensaios foram realizados nas dependências do Instituto Tecnológico da PUC-Rio (ITUC) empregando uma prensa servo-controlada da marca INSTRON, vista na Figura 4-6. Os ensaios foram realizados em conformidade com a ASTM C 674 (1977b).

A ASTM C 674 (1977b) determina que seja aplicada uma taxa de deslocamento de 0,5mm/min. Os ensaios eram encerrados quando da ruptura por completo de cada vigota, como ilustra a Figura 4.7.



Figura 4-6 - Prensa servo-controlada INSTRON modelo 5500R.

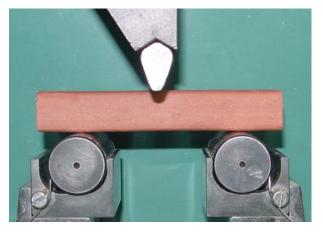




Figura 4-7 – Ensaio de tensão de ruptura a flexão das peças cerâmicas.

Tabela 4-4 apresenta os valores médios da tensão de ruptura a flexão obtida para as peças de cerâmica vermelha resultantes da incorporação dos cascalhos de perfuração. Para a determinação do valor médio foi considerado o número de cinco amostras conforme a recomendação normativa.

Observa-se na Tabela 4.4 que os valores médios de tensão de ruptura são menores para as peças confeccionadas com o material FEDERBA e maiores para as peças confeccionadas com o material INCELT. Observa-se, também, um valor relativamente elevado para o desvio padrão das peças confeccionadas com o material Bandeira e com o cascalho CP-ANB Base Água.

Tabela 4-4 - Valores de Tensão de Ruptura a Flexão das Pecas Cerâmicas.

P	eça Confeccionada	Tensão de Ruptur	a a Flexão (MPa)
Material	% de cascalho	Valor Médio	Des. Padrão
	10% de CP-01	4,09	0,50
FEDERBA	20% de CP-01	4,76	0,43
	30% de CP-01	6,95	0,41
	5% de CP-223D	7,65	0,39
Bandeira	10% de CP-223D	6,44	0,60
Dandena	5% de CP-ANB Base Água	10,22	2,53
	10% de CP-ANB Base Água	7,65	2,53
	5% de CP-129	16,62	1,34
INCELT	10 de CP-129	17,27	1,77
INCELI	5% de CP-1549	18,50	0,92
	10% de CP-1549	16,37	1,99

As Figura 4-8, 4-9 e 4-10 apresentam os gráficos dos ensaios de tensão de ruptura à flexão.

Os resultados mostrados nas Figuras 4.10 indicam que, além de serem mais resistentes, as peças confeccionadas com o material INCELT mobilizam a resistência máxima a um maior nível de deslocamento, ou seja as peças confeccionadas com o material INCELT apresentam um menor módulo de deformabilidade.

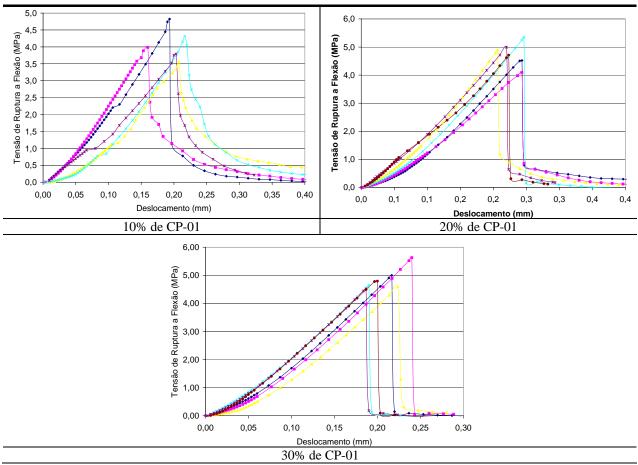


Figura 4-8 – Gráfico de Tensão de ruptura a flexão versus deslocamento – Material FEDERBA.

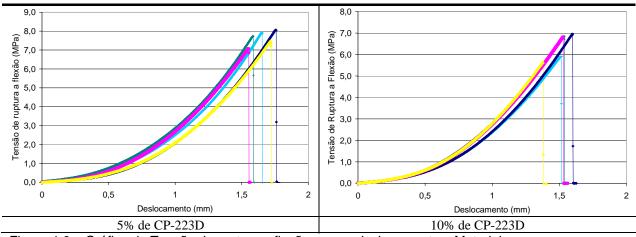


Figura 4-9 – Gráfico de Tensão de ruptura a flexão versus deslocamento – Material Bandeira.

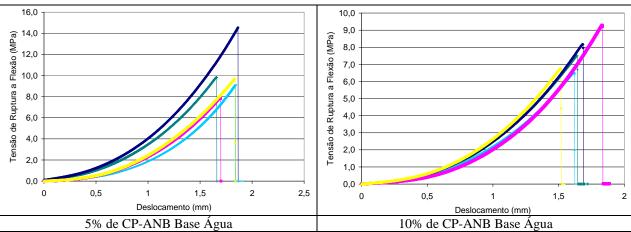


Figura 4-9 (cont.) – Gráfico de Tensão de ruptura a flexão versus deslocamento – Material Bandeira.

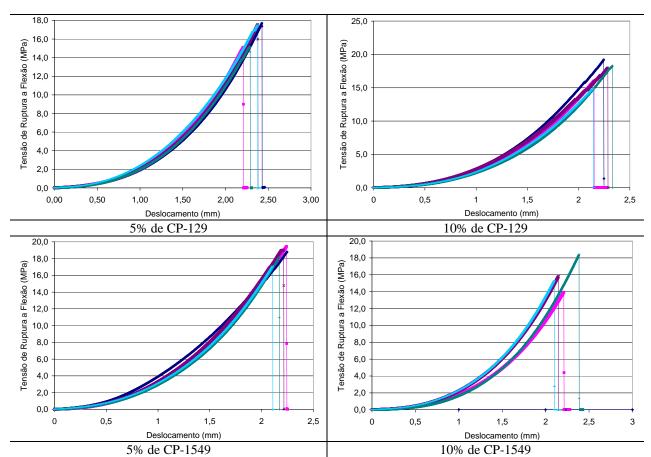


Figura 4-10 – Gráfico de Tensão de ruptura a flexão versus deslocamento – Material INCELT.

4.3.4.
Comparativo dos resultados obtidos com dados da Indústria
Cerâmica

As Tabelas 4-5, 4-6 e 4-7 apresentam as principais propriedades tecnológicas do processamento cerâmico industrial. Segundo Dondi (2003), as faixas de valores ótimos e aceitáveis nas tabelas são aceitos na prática industrial como referência para produção de cerâmica vermelha.

Para as peças produzidas com o material FEDERBA os parâmetros de contração linear na queima estão dentro da faixa ótima, já a contração linear na secagem se enquadra dentro da variação aceitável, da mesma forma que a absorção de água e a tensão de ruptura a flexão.

Tabela 4-5 – Comparativo dos resultados obtidos com as principais propriedades tecnológicas do processamento cerâmico Industrial – Peças confeccionadas com o material FEDERBA.

		Variação	Variação	FEDERBA					
Parâmetros	Unidade	ótima	aceitável	10% de CP-01	20% de CP-01	30% de CP-01			
Índice de Plasticidade	% peso	15-25	10-35	16,3*					
Limite de Plasticidade	% peso	18-25	18-30	27,7*					
Contração na secagem	cm m ⁻¹	5-8	3-10	7,63	6,92	6,92			
Contração na queima	cm m ⁻¹	< 1,5	1,5-3,0	0,41	0,40	0,27			
Absorção de água	% peso	8-12	6-18	14,31	15,22	13,21			
Resistência a flexão na queima	MPa	12-22	4-30	4,09	4,76	6,95			

^{*} referente apenas ao solo.

Tabela 4-6 – Comparativo dos resultados obtidos com as principais propriedades tecnológicas do processamento cerâmico Industrial – Peças confeccionadas com o material Bandeira.

					Bande	eira			
Parâmetros	Unidade	Variação ótima	Variação aceitável	5% de CP-223D	10% de CP-223D	5% de CP-ANB Base Água	10% de CP-ANB Base Água		
Índice de Plasticidade	% peso	15-25	10-35	28,5*					
Limite de Plasticidade	% peso	18-25	18-30	16,9*					
Contração na secagem	cm m ⁻¹	5-8	3-10	6,02	4,78	5,43	4,78		
Contração na queima	cm m ⁻¹	< 1,5	1,5-3,0	0,79	1,39	0,94	1,19		
Absorção de água	% peso	8-12	6-18	14,10	15,4	13,22	12,75		
Resistência a flexão na queima	MPa	12-22	4-30	7,65	6,44	10,22	7,65		

^{*} referente apenas ao solo.

As peças cerâmicas feitas com o material Bandeira têm a maioria de seus parâmetros dentro da faixa aceitável, com exceção das peças produzidas com esta mistura adicionada de com 5% de CP-ANB.

Tabela 4-7 – Comparativo dos resultados obtidos com as principais propriedades tecnológicas do processamento cerâmico Industrial – Peças confeccionadas com o Material INCELT.

		Variação	Variação	INCELT					
Parâmetros	Unidade	ótima	aceitável	5% de CP-129	10% de CP-129	5% de CP-1549	10% de CP-1549		
Índice de Plasticidade	% peso	15-25	10-35	31,8*					
Limite de Plasticidade	% peso	18-25	18-30	18,2*					
Contração na secagem	cm m ⁻¹	5-8	3-10	5,43	6,10	6,18	5,91		
Contração na queima	cm m ⁻¹	< 1,5	1,5-3,0	2,02	1,52	1,62	1,73		
Absorção de água	% peso	8-12	6-18	10,57	11,22	11,38	11,14		
Resistência a flexão na queima	MPa	12-22	4-30	16,62	17,27	18,50	16,37		

^{*} referente apenas ao solo.

Para as peças produzidas com o material INCELT a tensão de ruptura a flexão se enquadra dentro da faixa ótima de variação, da mesma forma que os valores encontrados para absorção de água e contração linear de secagem.

No comparativo dos parâmetros determinados para as peças cerâmicas produzidas com cascalho de perfuração adicionado com os valores de referências da indústria cerâmica, foi observado que todos os parâmetros avaliados estão dentro da faixa ótima de variação ou na faixa aceitável. Desta forma, nenhum dos materiais confeccionados se apresentou inadequado para produção de cerâmica vermelha, tomando-se como base as propriedades tecnológicas.

4.3.5. Classificação de resíduos NBR-10.004.

As peças cerâmicas resultantes da incorporação de cascalho de perfuração foram classificadas em relação à sua periculosidade através do emprego da Norma Brasileira de Classificação de Resíduos Sólidos - NBR 10.004.

As amostras de cada material foram obtidas a partir do processo de moagem em um moinho de bolas. O material homogeneizado foi colocado em sacos

plásticos hermeticamente fechados, do tipo Zip Lock[®], e conduzidos ao laboratório *Analytical Solutions*, onde foram realizadas as análises em extratos lixiviados e solubilizados. Tal laboratório é devidamente acreditado pela ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária e pelo INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.

Para o extrato lixiviado não houve valores acima do valor máximo permitido segundo a NBR-10.004. Nos anexos deste trabalho se encontra todos os relatórios de classificação do resíduo dos materiais avaliados.

A Tabela 4-8 apresenta os valores dos parâmetros determinados no extrato solubilizado que possibilitou a classificação das peças cerâmicas como Classe IIA, não perigoso e não inerte.

Tabela 4-8 - Valores obtidos no extrato solubilizado que suplantaram o valor máximo permitido.

				FEDERBA		INO	CELT		Band	eira
Parâmetros	* L.D	** L.Q	*** V.M.P	30% de CP-01			5% de CP-1549	10% de CP-1549	5% de CP-ANB Base Água	10% de CP-223D
Alumínio Dissolvido (mg/L)	0,005	0,01	0,20	0,457	0,347	0,855	0,516	0,449	0,693	0,735
Cromo Total (mg/L)	0,016	0,01	0,05	1,99	-	ı	ı	ı	-	-
Ferro (µg/L)	0,012	0,05	0,3	2,28	-	-	-	-	-	-
Fluoreto (mg/L)	0,1	0,02	1,5	2,65	-	-	-	-	-	-
Tensoativos e Sufactantes (mg/L)	0,05	0,045	0,2	0,64	-	-	-	-	-	-

^{*}L.D. – limite de detecção; **L.Q. – limite de quantificação; ***VMP – valor máximo permitido pela NBR-10.004.

Segundo a NBR-10.004, as peças confeccionadas com o material FEDERBA, e com o teor de incorporação igual a 30%, foram classificadas como Classe IIA, não perigoso e não inerte. Os parâmetros que possibilitaram essa classificação por estarem acima do valor máximo permitido foram: cromo total, alumínio, ferro, fluoreto, tensoativos e sufactantes.

A Tabela 4-9 apresenta os valores das concentrações determinadas para o material FEDERBA e para o cascalho de perfuração CP-01 acima do valor máximo permitido pela NBR-10.004. Esses valores são comparados, como as concentrações dos compostos acima do valor máximo permitido, das peças cerâmicas feitas do material FEDERBA com 30% do cascalho de perfuração CP-01.

Tabela 4-9 – Comparativo entre os valores determinados para o material FEDERBA, cascalho de perfuração e peças cerâmicas produzidas.

						Solubilizado	
Parâmetros	Unidade	L.D.	L.Q.	VMP	FEDERBA	CP-01	FEDERBA
					FEDERDA	CP-01	30% de CP-01
Alumínio	mg/L	0,010	0,050	0,20		0,563	0,457
Cloreto	mg/L	0,04	0,50	250,00		1327	
Fluoreto	mg/L	0,004	0,020	1,5	5,2		2,65
Sódio	mg/L	0,250	0,500	200,0		471,6	
Nitrato	mg.N/L	0,05	0,05	10	295,22		
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,197		1,99
Fenol	mg/L	0,40	0,0002	1,00	2,27		
Ferro	μg/L	0,012	0,05	0,3	0,715		2,28
Tensoativos e Surfactantes	mg./L	0,01	0,045	0,2	0,43		0,64

Observa-se na Tabela 4-9 que a concentração de cloreto presente no CP-01, que excedia em 5 vezes o valor máximo permitido, não foi observada nas peças cerâmicas produzidas com um teor de 30% de cascalho CP-01 após a queima. A presença de nitrato no material FEDERBA puro, que suplantava em 29 vezes o valor máximo permitido, não foi constatado nas peças produzidas com o material FEDERBA incorporado de cascalho de perfuração após a queima. Da mesma forma, a presença de fenol não foi detectada no material cerâmico produzido.

Em virtude do teor de alumínio dissolvido ter suplantado o valor máximo permitido pela NBR 10.004, as peças cerâmicas confeccionadas a partir da incorporação dos cascalhos de perfuração CP-129 e CP-1549 ao material INCELT foram classificadas como resíduos não perigosos e não inertes, obtendo a classificação IIA, não obstante o teor de incorporação.

Tabela 4-10 - Comparativo entre os valores determinados para o material INCELT, cascalho de perfuração e peças cerâmicas produzidas.

						Solubilizado						
Parâmetros Unidade L.D. L.Q	1.0	VMP						ICELT				
1 arametros	Omaaac	L.D.	L.Q.	V 1V11	INCELT (CP-129					10% de	
								CP-129	CP-129	CP-1549	CP-1549	
Alumínio	mg/L	0,010	0,050	0,20		0,150	0,487	0,347	0,855	0,516	0,449	
Arsênio	mg/L	0,002	0,005	0,010		0,017	0,027					
Cloreto	mg/L	0,04	0,50	250,00			1816,117					
Fluoreto	mg/L	0,004	0,020	1,5			2,538					
Sódio	mg/L	0,250	0,500	200,0			1268,322					
Sulfato	mg/L	0,030	0,500	250,0		262,010	823,217					

Conforme se observa na Tabela 4-10 as concentrações de arsênio, cloreto, fluoreto, sódio e sulfato presente no cascalho de perfuração CP-129 e CP-1549, não foram encontradas nas peças cerâmicas confeccionadas com o material INCELT incorporadas desses cascalhos de perfuração.

As peças obtidas a partir da incorporação de 5% do cascalho CP-ANB e de 10% do cascalho CP-223B o material Bandeira foram classificadas como resíduos não perigosos não inertes, obtendo a classificação IIA. No entanto, as peças obtidas a partir da incorporação de 10% do cascalho CP-ANB03 e de 5% do cascalho CP223D os material Bandeira foram classificadas como resíduos não perigosos inertes, obtendo a classificação IIB.

Tabela 4-11 - Comparativo entre os valores determinados para o material Bandeira, cascalho de perfuração e peças cerâmicas produzidas.

					Solubilizado						
Parâmetros I	Unidade	L.D.	1.0	VMP				Band	leira		
1 arametros	Bander	Bandeira	CP-223D	CP-ANB	5% de	10% de					
								CP-ANB	CP-223 D		
Alumínio	mg/L	0,010	0,050	0,20				0,693	0,735		
Arsênio	mg/L	0,002	0,005	0,010	0,034						
Cloreto	mg/L	0,04	0,50	250,00		287,777	2698,835				
Fluoreto	mg/L	0,004	0,020	1,5		6,969	5,897				
Sódio	mg/L	0,250	0,500	200,0		262,919	1904,908				
Sulfato	mg/L	0,030	0,500	250,0			885,733				

Para as peças cerâmicas confeccionadas com o material Bandeira com adição de cascalho de perfuração, a concentração de arsênio presente no o material Bandeira e a de cloreto, fluoreto, sódio e sulfato presentes nos cascalho de perfuração CP-223D e CP-ANB não foram observado em concentrações acima do valor máximo permitido.

4.3.6. Degradação acelerada das peças cerâmicas para avaliação de sua durabilidade

Segundo Xavier (2006), o extrator Soxhlet seria o equipamento que melhor simularia ou reproduziria o processo de degradação ou de alteração de um material em laboratório. Ao submeter um material ao processo de lixiviação contínua, por períodos controlados de variação de temperatura, de precipitação e

de flutuação do nível de solução de lixiviação, o extrator Soxhlet consegue simular a alteração de rochas e de outros materiais.

O equipamento empregado nos ensaios de degradação foi desenvolvido a partir dos estudos conduzidos por Maia (2001) em seu trabalho de doutoramento.

O Equipamento de Degradação do Laboratório de Engenharia Civil (LECIV) da UENF, apresentado na Figura 4-11, possibilita controlar períodos de variação de temperatura e de precipitação da solução.





Figura 4-11 – Equipamento de Degradação da UENF. Laboratório de engenharia Civil – LECIV.

O equipamento de degradação é composto basicamente por uma câmara de degradação, um sistema de injeção de água, e reservatórios para armazenamento de água quente e fria, que são resfriadas e aquecidas no próprio equipamento. Todo esse sistema é automatizado e possui um painel de controle no qual é programado os ensaios de degradação.

O equipamento é provido de controladores de temperaturas que regulam a temperatura da água quente e da água fria que é precipitada sobre as amostras. A aspersão da solução no processo de lixiviação é também controlada por um dispositivo eletrônico que é capaz de controlar o período de aspersão da solução, acionando as bombas que injetam a solução na câmara de degradação.

Dentro da câmara de degradação das amostras são simuladas as condições atmosféricas, onde o material é colocado sobre prateleiras de aço inoxidável e

submetido a variações de temperatura, enquanto é lavado com água quente e fria periodicamente, simulando a precipitação. A lavagem é feita pela solução de lixiviação, proveniente do bombeamento de água quente ou fria que passa pelos aspersores no topo do tanque criando uma atmosfera saturada e de vapor. A condensação de vapor ocorre quando o ciclo de água quente entra em funcionamento.

A Figura 4-12 apresenta as amostras dispostas dentro da câmara de degradação prontas para se iniciar o ensaio.



Figura 4-12 – Amostras dentro da câmara de degradação.

Neste trabalho, o equipamento foi programado para funcionar durante 1 hora para cada ciclo de água quente ou fria, significando que quando a lixiviação por água quente está em funcionamento, a água fria permanece desligada.

No ciclo (água quente ou fria), desliga-se a bomba a cada 15 minutos. A água quente foi controlada para 70°C e a água fria para 21°C.

O tempo do ensaio de degradação foi estimado com base nos estudos realizados por Xavier (2006), que verificou que o pico de perda de resistência para as peças queimadas à 900°C girava em torno de 230h no ensaio de degradação.

Tendo em vista o trabalho de Xavier (2006) e buscando atingir a resistência última no processo de degradação, o ensaio de degradação foi conduzido por um período de 240 horas.

A fim de obter um controle para o ensaio de degradação, foram confeccionadas 300 novas peças cerâmicas com o material FEDERBA sem adição de cascalho. A cada ciclo de degradação de 24 horas eram retiradas da câmara de degradação 12 peças deste material. Essas peças foram secas em estufa a 110°C e

armazenadas para os ensaios de determinação de suas propriedades tecnológicas. A Tabela 4-12 apresenta os seus resultados.

Tabela 4-12 – Propriedades Tecnológicas das Peças Cerâmicas produzidas com o material FEDERBA

Peça Confeccionada	Umidade	Contraç	ão linear	Absorção	Porosidade	Massa específica
		secagem	queima	de água	Torosidade	aparente
Solo	%	cn	n/m	%	%	g/cm ³
FEDERBA	25,9	12,7	0,77	15,49	28,8	1,74

Juntamente com as peças-controle, foram colocadas na câmara de degradação 12 peças de cada material cerâmico produzido com a incorporação de cascalho de perfuração. Para as peças oriundas da incorporação de cascalho com o material FEDERBA só foram adicionadas as relativas à incorporação de 20%. Isto ocorreu devido a pouca quantidade de matéria-prima para a confecção das peças.

Os resultados das propriedades tecnológicas das peças cerâmicas produzidas com o material FEDERBA após o processo de degradação acelerada estão apresentados na Tabela 4-13.

Tabela 4-13 - Propriedades Tecnológicas das Peças Cerâmicas produzidas com o material FEDERBA puro após processo de degradação

Peça Confeccionada	Tempo de Degradação	TRF	Absorção de água	Porosidade	Massa específica aparente
	horas	MPa	%	%	g/cm ³
	0	3,14	15,49	28,80	1,74
	24	3,48	16,17	29,16	1,72
	48	3,31	16,21	28,67	1,71
	72	3,58	15,98	28,26	1,71
	96	3,46	15,99	28,94	1,71
FEDERBA	120	3,79	16,21	29,14	1,70
	144	4,11	16,14	28,71	1,71
	168	4,70	16,17	29,29	1,71
	192	2,70	16,32	29,34	1,70
	216	2,65	16,12	29,07	1,71
	240	3,77	16,12	29,13	1,71

A tensão de ruptura a flexão apresentou um comportamento semelhante ao previsto por Xavier (2006). As peças cerâmicas produzidas tiveram um ganho de resistência até o sétimo ciclo de degradação, durante o oitavo e nono ciclo tiveram a sua menor resistência voltando a ter um ganho de resistência no décimo ciclo de envelhecimento. Esse comportamento é observado na Figura 4-13.

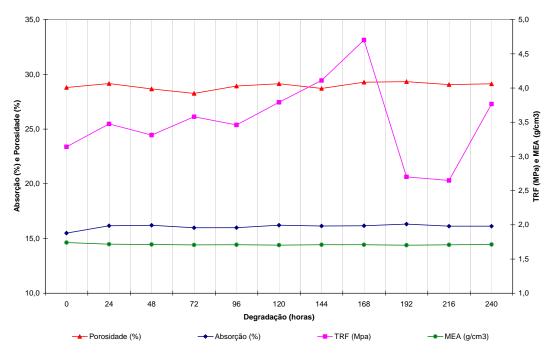


Figura 4-13 – Distribuição das propriedades tecnologias das peças cerâmicas produzidas com o material FEDERBA após processo de degradação.

O processo de degradação pouco modificou os valores das demais propriedades. A Figura 4-13 mostra que não houve um padrão significativo de acréscimo ou decaimento com o tempo de degradação para os valores determinados para absorção de água, porosidade e massa específica aparente. A pouca variação das propriedades tecnológicas pode ser atribuída ao alto valor temperatura de queima (900°C) das peças produzidas.

Os valores da tensão de ruptura à flexão, antes e após o processo de degradação acelerada, das peças cerâmicas incorporadas com cascalho de perfuração estão apresentados na Tabela 4-14 e na Figura 4-14.

De uma forma geral, houve uma redução no valor da tensão de ruptura a flexão, embora as peças produzidas com o material Bandeira incorporado com 10% de CP-ANB e as peças produzidas com o material INCELT incorporado com 5% de CP-129 apresentava um pequeno ganho de resistência.

Material	% de cascalho	Antes da Degradação	Após Degradação	Variação da Resistência
		MP	a	%
	10% de CP-01	4,09		
FEDERBA	20% de CP-01	4,76	3,39	-28,82
	30% de CP-01	6,95		
	5% de CP-223D	7,65	6,54	-14,45
Bandeira -	10% de CP-223D	6,44	5,75	-10,79
	5% de CP-ANB Base Água	10,22	8,04	-21,36
	10% de CP-ANB Base Água	7,65	7,89	3,12
Material	% de cascalho	Antes da Degradação	Após Degradação	Variação da Resistência
		MPa		%
INCELT -	5% de CP-129	16,62	17,48	5,16
	10 de CP-129	17,27	12,31	-28,72
	5% de CP-1549	18,5	16,54	-10,60
	10% de CP-1549	16.37	14.58	-10.91

Tabela 4-14 - Tensão de ruptura a flexão antes e após processo de degradação

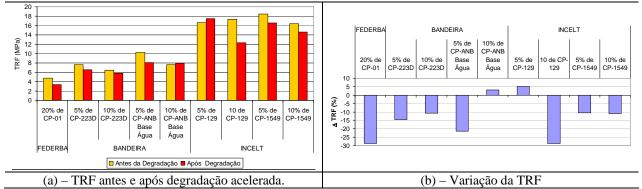


Figura 4-14 – Histogramas de tensão de ruptura a flexão das peças cerâmicas.

De acordo com Dondi (2003), a indústria cerâmica vermelha classifica como ótimo um material com tensão de ruptura a flexão na faixa de 12 a 22MPa, e como tolerável um material que apresente valores entre 4 a 30 MPa. Por esse critério, as peças do material INCELT que sofreram degradação continuam sendo classificadas como de ótima qualidade, já as peças do material Bandeira se enquadrariam como aceitáveis. Em relação às peças do material FEDERBA apenas as peças com incorporação de 30% de CP-01 não se enquadrariam como de qualidade aceitável.

Os resultados do processo de degradação em relação à porosidade estão ilustrados na Tabela 4-15 e na Figura 4-15. Nestas é possível constatar que houve uma redução nos valores de porosidade em decorrência do processo de degradação nas peças do material FEDERBA incorporado com 20% de CP-01 e

para as produzidas com o material Bandeira, se excetuado deste as incorporadas com 10% de CP-ANB. Para este último e as peças produzidas com o material INCELT houve um pequeno aumento no valor da porosidade, conforme pode ser visto na Tabela 4-15.

Tabela 4-15 - Porosidade antes e após processo de degradação

Material	% de cascalho	Antes da Degradação %	Após Degradação	Variação da porosidade %
	10% de CP-01	35,10		
FEDERBA	20% de CP-01	35,70	30,65	-14,1
	30% de CP-01	34,10		
Bandeira -	5% de CP-223D	26,70	17,50	-34,5
	10% de CP-223D	28,66	23,22	-19,0
	5% de CP-ANB Base Água	25,30	22,01	-13,0
	10% de CP-ANB Base Água	24,53	28,05	14,3
INCELT -	5% de CP-129	21,41	26,14	22,1
	10 de CP-129	22,56	23,87	5,8
	5% de CP-1549	22,60	24,77	9,6
	10% de CP-1549	21,96	27,91	27,1

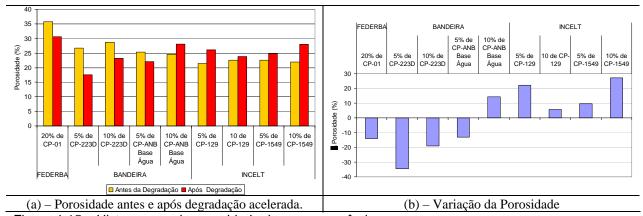


Figura 4-15 – Histogramas da porosidade das peças cerâmicas.

As peças confeccionadas com o material INCELT possuem um menor teor de óxido de alumínio em comparação com as produzidas a partir dos insumos das cerâmicas FEDERBA e BANDEIRA. O alumínio presente é mais resistente ao processo de degradação posto que não se altera nos níveis de temperatura atingidos no processo. Nos processos de umedecimento e secagem essas peças, por terem menor teor de óxido de alumínio, podem sofrer uma degradação mais rápida, o que pode levar a um aumento no valor da porosidade.

A redução da porosidade é benéfica ao produto final, que se torna menos permeável e, assim, menos susceptível a ciclos de umedecimento e secagem que estão sujeitos os materiais de cerâmica vermelha.

Um comportamento semelhante foi observado em relação à absorção de água, conforme pode ser visto na Tabela 4-16 e na Figura 4-16. Sendo a absorção de água diretamente relacionada a porosidade, esta similitude de comportamento já era esperada.

Tabala 4 16	1 hooroão	onton o	anáa	nraaaaa	40	dogradação
Tabela 4-16 -	Absorçac	anies e	apos	processo	ue	degradação

Material	% de cascalho	Antes da Degradação	Após Degradação	Variação da absorção
		%	%	
	10% de CP-01	14,31		
FEDERBA	20% de CP-01	17,38	15,22	-12,42
	30% de CP-01	13,21		
Bandeira -	5% de CP-223D	14,10	8,7	-38,3
	10% de CP-223D	15,40	11,8	-23,4
	5% de CP-ANB Base Água	13,22	11,40	-13,8
	10% de CP-ANB Base Água	12,75	15,00	17,6
	5% de CP-129	10,57	13,92	31,7
INCELT -	10 de CP-129	11,22	12,55	11,9
	5% de CP-1549	11,38	13,14	15,5
	10% de CP-1549	11,14	14,80	32,9

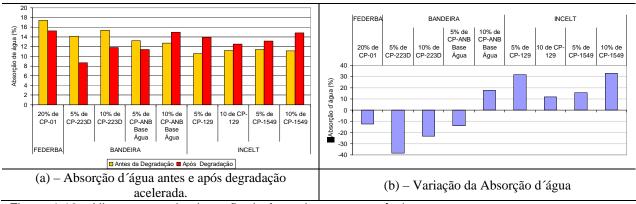


Figura 4-16 – Histogramas da absorção de água das peças cerâmicas.

Segundo Dondi (2003), a indústria cerâmica vermelha classifica como ótimo um material que apresente valores de absorção d'água compreendidos entre 8 e 12%, e como aceitável um material que apresente valores de absorção d'água compreendidos entre 6 a 18%. Os valores de absorção d'água das peças degradadas estão compreendidos na faixa de aceitável, apenas as peças produzidas

com o material bandeira com o cascalho CP-223D e com 5% de CP-ANB se encontram na faixa ótima.

Os resultados do processo de degradação em relação à massa aparente estão ilustrados na Tabela 4-17 e na Figura 4-17. Nestas é possível constatar que houve uma redução nos seus valores para as peças feitas com o material INCELT e com o material Bandeira com 10% de CP-ANB. A demais peças sofreram um pequena variação positiva.

T : : 4 4 - 5 4	/**		~
Lahela 4-17 - Massa	i específica aparent	e antes e após proces	so de degradação
Tabola I II IVIacoc	i oopooiiioa apaioiii	o antoo o apoo proces	oo ao aogradaqao

Material	% de cascalho	Antes da Degradação	Após Degradação	Variação da M.E.A.
		g/cm ³		%
	10% de CP-01	1,68		
FEDERBA	20% de CP-01	1,68	1,69	0,6
	30% de CP-01	1,68		
Bandeira -	5% de CP-223D	1,79	1,89	5,6
	10% de CP-223D	1,79	1,86	3,9
	5% de CP-ANB Base Água	1,80	1,83	1,7
	10% de CP-ANB Base Água	1,81	1,77	-2,2
	5% de CP-129	1,89	1,75	-7,4
INCELT -	10 de CP-129	1,89	1,79	-5,3
	5% de CP-1549	1,88	1,77	-5,9
	10% de CP-1549	1,84	1,74	-5,4

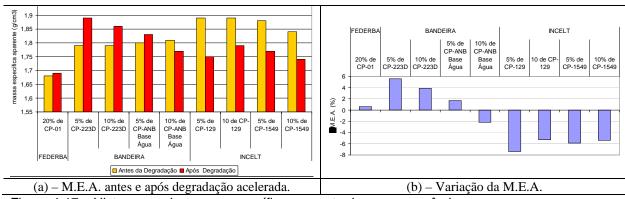


Figura 4-17 – Histograma da massa específica aparente das peças cerâmicas.

A redução da massa específica das peças produzidas com o material INCELT é fruto do aumento da porosidade decorrente do processo de degradação.

As peças produzidas com 10% de CP-ANB Base Água com o material Bandeira, teve um comportamento diferenciado em relação às demais produzidas com esse material. Esse fator pode ser atribuído à heterogeneidade da massa argilosa utilizada na produção das peças. Segundo Xavier (2006) a degradação

acelerada feita em laboratório e natural no campo, aumenta a heterogeneidade dos materiais, não podendo observar um padrão nas peças que sofrem o processo de degradação.

4.3.7. Teste de Queima

A incorporação de cascalho de perfuração em massa de cerâmica vermelha visando a sua inertização através do processo de queima em indústrias cerâmicas deve ser avaliada no tocante as emissões gasosas para a atmosfera. A grande quantidade de cloretos presente nos cascalhos aliada as altas temperaturas dos fornos pode resultar na formação de dioxinas e furanos.

Segundo Luscombe (1999), as dioxinas são subprodutos de muitos processos industriais nos quais o cloro e produtos químicos dele derivados são produzidos, utilizados e eliminados. As emissões industriais de dioxina para o meio-ambiente podem ser transportadas a longas distâncias por correntes atmosféricas e, de forma menos importante, pelas correntes dos rios e dos mares. Conseqüentemente, as dioxinas estão agora presentes no globo de forma difusa. Estima-se que, mesmo que a produção cesse hoje completamente, os níveis ambientais levarão anos para diminuir. Isto ocorre porque as dioxinas são persistentes, levam de anos a séculos para degradarem-se e podem ser continuamente recicladas no meio-ambiente.

Segundo o mesmo autor, as dioxinas possuem átomos de cloro, que podem estar ligados em oito posições diferentes, conforme numeração disposta na Figura 4-18. Existem, ao todo, 75 dioxinas cloradas, sendo que cada uma possui um nível de toxidez diferente. A mais tóxica é a 2,3,7,8-TCDD, com quatro átomos de cloro ligados nas posições 2, 3, 7 e 8. A sigla TCDD significa Tetra-Cloro-Dibenzo-Dioxina: Tetra para quatro, Cloro devido às moléculas desta substância, Dibenzo devido aos dois anéis benzênicos e Dioxina devido aos dois oxigênios. Já os furanos são moléculas semelhantes às dioxinas, e se diferenciam destas por possuírem um oxigênio a menos. Ao todo existem 135 tipos de furanos.

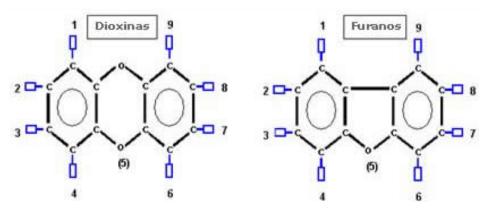


Figura 4-18 - Estrutura do 2,3,7,8 tetraclorodibenzodioxina e furano

O teste de queima foi realizado nas dependências do Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio, posto que não haviam as condições necessárias a amostragem das emissões no Laboratório de Estruturas e Materiais Cerâmicos da UENF.

O teste de queima foi conduzido a uma temperatura de 700°C e realizado no processo de queima para produção de peças cerâmicas para o material FEDERBA com incorporação de 20% de cascalho de perfuração.

A queima foi efetuada em um forno tipo mufla a uma temperatura de 700°C. O forno foi instalado no interior de uma capela a fim de impedir que emissões oriundas da queima escapassem para o Laboratório, conforme ilustra a Figura 4-19.



Figura 4-19 – Sistema instalado para teste de queima.

A temperatura do forno tipo mufla foi controlada com uma exatidão de 1°C através de um controlador da marca COEL e atestada através de um termômetro digital da marca Minipa. As emissões foram coletadas através de uma linha de vácuo.

Em uma primeira etapa, as emissões foram resfriadas em uma serpentina de vidro e condensadas. O material condensado foi passado em um *trap* de resina XAD-2 vista na Figura 4-20, que após o teste foi remetido ao Laboratório *Analytical Solutions* para a determinação do teor de dioxinas e furanos.



Figura 4-20 – Resina XAD-2 para amostragem de Dioxina e Furanos.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a natureza complexa das misturas de dibenzo-p-dioxina policlorada (PCDD), dibenzofurano (PCDF) e bifenil (PCB) complica a avaliação de risco para seres humanos. Com esta finalidade, foi desenvolvido o conceito de fatores de toxidade equivalente (FTEQ), introduzido para facilitar a avaliação do risco e legislação de controle para a exposição a estas misturas.

O sistema FTEQ é mais um meio de expressar a toxicidade combinada das misturas de PCDD/Fs e PCBs do que de apenas indicar as concentrações absolutas. Neste sistema, o congênere mais tóxico, 2,3,7,8-TCDD, é designado como dioxina de fator de equivalência tóxica (FTEQ) 1,0 (um). Aos outros congêneres é atribuído o valor do fator de equivalência tóxica (FTEQ) classificados em relação a este último. Para determinar o valor de TEQ de uma amostra ambiental, a concentração de cada congênere é multiplicada pelo seu

fator FTEQ. A toxicidade total (TEQ total) para uma mistura de PCDD/Fs e PCB pode então ser estabelecida através da soma dos valores dos congêneres individuais em conjunto.

$$TEQ_{Total} = \sum_{i=1}^{n} (Ci \times TEFi)$$

Os valores determinados para a concentração de dioxinas e furanos presentes na resina *XAD-2* estão apresentados na Tabela 4-18.

Tabela 4-18 – Valores da concentração de dioxinas e furanos determinados no teste de queima

Congêneres (I	Congêneres (Dioxinas – Furanos)		ng/m ³
2,3,7,8-TCDD	tetracloro-dibenzo-p-dioxina	1	0
1,2,3,7,8-PeCDD	pentacloro-dibenzo-p-dioxina	0,5	0
1,2,3,4,7,8-HxCDD	hexacloro-dibenzo-p-dioxina	0,1	0
1,2,3,6,7,8-HxCDD	hexacloro-dibenzo-p-dioxina	0,1	0
1,2,3,7,8,9-HxCDD	hexacloro-dibenzo-p-dioxina	0,1	0
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	heptacloro-dibenzo-p-dioxina	0,01	0
OCDD	octacloro-dibenzo-p-dioxina	0,001	0
2,3,7,8-TCDF	tetracloro-dibenzofurano	0,1	1,97
1,2,3,7,8-PeCDF	pentacloro-dibenzofurano	0,05	0,37
2,3,4,7,8-PeCDF	pentacloro-dibenzofurano	0,5	0,84
1,2,3,4,7,8-HxCDF	hexacloro-dibenzofurano	0,1	0,55
1,2,3,6,7,8-HxCDF	hexacloro-dibenzofurano	0,1	0,56
1,2,3,7,8,9-HxCDF	hexacloro-dibenzofurano	0,1	0,19
2,3,4,6,7,8-HxCDF	hexacloro-dibenzofurano	0,1	0,95
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	heptacloro-dibenzofurano	0,01	1,85
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	heptacloro-dibenzofurano	0,01	0,09
OCDF	octacloro-dibenzofurano	0,001	0

Para os valores determinados, Tabela 4-18, a toxidade total equivalente encontrada foi de 0,88ng/m³. Esse valor foi obtido pelo somatório do produto do Fator de toxidade equivalente (FTEQ) pelo valor determinado de cada congênere. A resolução do CONAMA n° 316, artigo 38, item III, refere-se que todo e qualquer sistema de tratamento térmico não deve ultrapassar o limite máximo de 0,50 ng/m³ de 2,3,7,8 TCDD tetracloro-dibenzo-para-dioxina. Logo a toxidade total equivalente encontrada ultrapassou o valor desta Resolução.

Um teste adicional de queima foi realizado em uma indústria cerâmica localizada no Polo Petroquímico de Camaçari. A finalidade deste teste foi detectar

os níveis de dioxinas e furanos emitidos pela queima de uma mistura argilosa incorporada com 5% de cascalho de perfuração.

Infelizmente, o teste não obteve resultados. A medição de dioxinas e furanos realizada no experimento controle, onde não havia a incorporação de cascalho de perfuração, detectou a presença destes compostos indicando que o forno da referida indústria já estava contaminado o que impossibilitou a realização do teste com a incorporação de cascalho de perfuração.