

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA**



**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE UM
PRODUTO CERÂMICO A PARTIR DO
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS**

CARLOS EDUARDO CUNHA FELIPPE

Projeto de Final de Curso

Orientadores

Prof. Valéria Castro de Almeida, D.Sc.
Prof. Claudinei de Souza Guimarães, D.Sc.

agosto de 2010

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE UM PRODUTO CERÂMICO A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

Carlos Eduardo Cunha Felipe

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

Dílson Silva dos Santos, D.Sc.

Ladimir José de Carvalho, D.Sc.

Ulrich Vasconcelos da Rocha Gomes, M.Sc.

Orientado por:

Valéria Castro de Almeida, D.Sc.

Claudinei de Souza Guimarães, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

18 de agosto de 2010

Felippe, Carlos Eduardo Cunha.

Síntese e caracterização de um produto cerâmico a partir do reaproveitamento de resíduos / Carlos Eduardo Cunha Felippe. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2010.

xvi, 114 p.; Il.

(Projeto de Final de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2010. Orientadores: Valéria Castro de Almeida e Claudinei de Souza Guimarães.

1. Resíduos da Construção Civil. 2. Indústria Cerâmica. 3. Microesferas de Vidro. 4. Projeto Final de Curso. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Valéria Castro de Almeida e Claudinei de Souza Guimarães. I. Título.

Dedico este trabalho a minha família, a minha namorada, aos meus orientadores e aos que sempre acreditaram e confiaram em mim.

O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza
de seus sonhos. (E. Roosevelt)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus.

A minha mãe e minha avó por todo apoio, carinho e compreensão em todos os momentos, tanto felizes quanto difíceis.

A Natália, que é uma pessoa muito especial em minha vida e está sempre ao meu lado me incentivando e apoiando incondicionalmente tudo o que faço.

A família da minha namorada que sempre me incentivou e me ajudou em todos os momentos.

A Valéria, pela orientação, pela dedicação, pelo suporte e por todo carinho demonstrado durante a jornada de realização deste projeto.

Ao Claudinei, que esteve sempre ao meu lado não só como orientador, mas como um amigo, sempre me orientando e ajudando na realização deste trabalho.

Aos verdadeiros amigos e amigas de Engenharia Química pelo companheirismo e amizade.

Resumo do Projeto Final apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE UM PRODUTO CERÂMICO A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

Carlos Eduardo Cunha Felipe

18 de agosto de 2010

Orientadores: Prof. Valéria Castro de Almeida, D.Sc.
Prof. Claudinei de Souza Guimarães, D.Sc.

RESUMO

A indústria da construção civil é responsável pela geração de uma grande quantidade de resíduos, responsáveis por impactos ambientais importantes, entretanto a indústria cerâmica apresenta um enorme potencial para absorver tais resíduos. Além disso, a consciência ecológica vem modificando os hábitos das pessoas com relação à preservação do ambiente, o que encorajou uma revolução social e política. O objetivo deste trabalho foi avaliar do ponto de vista físico-químico, mecânico e ambiental, a possibilidade do reaproveitamento e incorporação de resíduos da construção civil na indústria de cerâmica vermelha. Foram preparados corpos de prova através de conformação por prensagem (220 kgf/cm^2 , secos a $45 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h), contendo diferentes teores de resíduos de tijolos misturados às microesferas de vidro provenientes da câmara de jateamento, nas concentrações de 25/75% e 75/25%, respectivamente. Foi ainda utilizado um corpo de prova contendo 100% de resíduos de tijolos. A queima foi realizada em forno elétrico às temperaturas de 800, 1000 e 1200 $^\circ\text{C}$ por 3 horas. Após a queima, ensaios de retração linear, retração volumétrica, absorção de água, porosidade aparente, densidade e tensão de ruptura à flexão foram realizados. Os melhores resultados foram obtidos na massa cerâmica contendo a proporção de 25/75%. A análise dos gases emitidos durante a queima revelou que o processo oferece risco direto ao ambiente.

Palavras-chave: Resíduos da Construção Civil. Indústria Cerâmica. Microesferas de Vidro.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	17
1.1 <i>A causa ambiental</i>	17
1.2 <i>A indústria da construção civil</i>	19
1.3 <i>A indústria galvânica</i>	22
1.3.1 <i>As microesferas de vidro provenientes de jateamento</i>	23
1.4 <i>A indústria cerâmica</i>	24
1.4.1 <i>A indústria de cerâmica vermelha</i>	24
1.4.2 <i>A incorporação de outros resíduos à cerâmica vermelha</i>	26
1.5 <i>A poluição atmosférica</i>	28
1.5.1 <i>Os efeitos da poluição atmosférica</i>	28
1.5.2 <i>Os principais compostos orgânicos voláteis (COVs) presentes na atmosfera</i>	29
1.5.3 <i>Os principais compostos orgânicos voláteis analisados neste trabalho</i>	30
1.5.3.1 <i>Aldeídos</i>	30
1.5.3.2 <i>Hidrocarbonetos aromáticos</i>	32
1.5.3.2.1 <i>Benzeno</i>	32
1.5.3.2.2 <i>Tolueno</i>	33
1.5.3.2.3 <i>Etilbenzeno e xilenos</i>	34
1.6 <i>Objetivo</i>	35
CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS	37
2.1 <i>Materiais utilizados</i>	37
2.2 <i>Tratamento das matérias-primas</i>	37
2.2.1 <i>Amostragem</i>	38
2.2.2 <i>Homogeneização das matérias-primas</i>	38
2.2.3 <i>A análise granulométrica das matérias-primas</i>	39
2.3 <i>Caracterização elementar das matérias-primas</i>	39
2.3.1 <i>Determinação do teor de umidade</i>	39
2.3.2 <i>Caracterização mineralógica</i>	40
2.3.2.1 <i>Análise por fluorescência de raios-X (FRX)</i>	40

2.3.2.2	<i>Análise por difratometria de raios-X (DRX)</i>	41
2.3.2.3	<i>Análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i>	41
2.3.2.4	<i>Análise por microscopia óptica</i>	42
2.4	<i>Preparação dos corpos de prova e ensaio de queima</i>	42
2.5	<i>Caracterização física e mecânica dos corpos de prova</i>	45
2.5.1	<i>Avaliação da retração linear (RL)</i>	45
2.5.2	<i>Avaliação da retração volumétrica (RV)</i>	46
2.5.3	<i>Ensaio de absorção de água (AA)</i>	47
2.5.4	<i>Ensaio de porosidade aparente (PA)</i>	47
2.5.5	<i>Densidade (D)</i>	48
2.5.6	<i>Ensaio de tensão de ruptura à flexão (TRF)</i>	48
2.6	<i>A análise das emissões gasosas liberadas durante a queima</i>	50
2.6.1	<i>A coleta dos compostos orgânicos voláteis (COVs)</i>	50
2.6.2	<i>A análise dos compostos orgânicos voláteis (COVs) coletados</i>	51
2.6.2.1	<i>Coleta das amostras utilizando a metodologia</i>	51
TO-2		
2.6.2.1.1	<i>A construção das curvas de calibração</i>	54
2.6.2.2	<i>Coleta de amostras utilizando a metodologia</i>	56
TO-11A		
2.6.2.2.1	<i>A construção das curvas de calibração</i>	58
2.7	<i>Tratamento estatístico dos dados obtidos</i>	59
2.7.1	<i>A análise estatística descritiva</i>	59
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO		62
3.1	<i>Caracterização das matérias-primas</i>	62
3.1.1	<i>Análise granulométrica</i>	62
3.1.2	<i>Caracterização elementar</i>	63
3.1.2.1	<i>Determinação do teor de umidade</i>	63
3.1.2.2	<i>Caracterização mineralógica</i>	63

	3.1.2.2.1 <i>Análise por fluorescência de raios-X</i>	63
(FRX)		
	3.1.2.2.2 <i>Análise por difratometria de raios-X</i>	64
(FRX)		
	3.1.2.2.3 <i>Análise por microscopia eletrônica de</i>	65
varredura (MEV)		
	3.1.2.2.4 <i>Análise por microscopia óptica</i>	66
3.2 <i>Avaliação dos corpos de prova após a queima</i>		66
3.2.1 <i>Análise visual do aspecto superficial</i>		66
3.3 <i>Caracterização física e mecânica dos corpos de prova</i>		67
3.4 <i>Caracterização mineralógica das massas cerâmicas após a</i>		74
queima		
	3.4.1 <i>Análise por difratometria de raios-X (DRX)</i>	74
	3.4.2 <i>Análise por microscopia eletrônica por varredura</i>	78
(MEV)		
3.5 <i>A análise das emissões gasosas liberadas durante a queima</i>		80
	3.5.1 <i>BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, m,p-Xilenos e</i>	80
o-Xileno)		
	3.5.2 <i>Aldeídos</i>	88
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÃO		97
Referências Bibliográficas		99
APÊNDICE A		107
APÊNDICE B		108
APÊNDICE C		109
APÊNDICE D		110
APÊNDICE E		111
APÊNDICE F		112
APÊNDICE G		113
APÊNDICE H		114

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Aspectos da matéria-prima utilizada: sobras de tijolos da construção civil (a) após cominuição (b).	37
Figura 2.2	Microesferas de vidro no seu estado original.	38
Figura 2.3	Sequência esquemática do quarteamento das microesferas de vidro.	39
Figura 2.4	Matriz retangular de aço inox utilizada na compactação dos corpos de prova.	43
Figura 2.5	Pontos estabelecidos para a determinação das medidas.	44
Figura 2.6	Diagrama das etapas concretizadas até a realização dos ensaios tecnológicos (Elaboração Própria).	45
Figura 2.7	Sistema completo de amostragem para a coleta dos diferentes tipos de COVs.	50
Figura 2.8	Tubo de carvão ativo de leito duplo.	52
Figura 2.9	Cromatógrafo Varian CG CP-3800 utilizado para análise dos BTEX.	53
Figura 2.10	Cromatograma de uma amostra padrão de BTEX analisada no CG CP 3800 com detector de ionização de chama (DIC).	55
Figura 2.11	Cartuchos com resina C-18.	56
Figura 2.12	Cromatógrafo Líquido Agilent 1100 utilizado para as análises dos aldeídos.	57
Figura 2.13	Cromatograma dos padrões de aldeídos analisados.	59
Figura 2.14	Representação gráfica de resultados experimentais usando um diagrama <i>box-plot</i> .	61
Figura 3.1	Difratograma dos resíduos de tijolos (a) e microesferas de vidro (b).	64
Figura 3.2	Fotomicrografia das matérias-primas: a – resíduos de tijolos (aumento de 1500X) e b – microesferas de vidro (aumento de 200X).	65
Figura 3.3	Fotomicrografia das matérias-primas: a – resíduos de tijolos; b – microesferas de vidro (aumento de 500X).	66
Figura 3.4	Corpos de prova após a queima em diferentes	67

temperaturas. **T** (100% resíduos de tijolos), **A** (75% resíduos de tijolos + 25% de microesferas de vidro), e **B** (25% de resíduos de tijolos + 75% de microesferas de vidro).

- Figura 3.5** Retração Linear (a) e Retração Volumétrica (b) das massas 69
cerâmicas de acordo com as temperaturas de queima.
- Figura 3.6** Absorção de Água (a) e Porosidade Aparente (b) das 71
massas cerâmicas de acordo com as temperaturas de
queima.
- Figura 3.7** Densidade das massas cerâmicas de acordo com as 72
temperaturas de queima.
- Figura 3.8** Tensão de ruptura à flexão das massas cerâmicas de 73
acordo com as temperaturas de queima.
- Figura 3.9** Fotomicrografia óptica das massas cerâmicas contendo 74
100% de resíduos de tijolos queimados à 1000 °C (a) e
1200 °C (b) (aumento de 500X).
- Figura 3.10** Difratoograma das massas cerâmicas contendo 100% de 75
resíduos de tijolos queimados à temperatura de (a) 800 °C,
(b) 1000 °C e (c) 1200 °C.
- Figura 3.11** Difratoograma das massas cerâmicas contendo 75% de 76
resíduos de tijolos e 25% de microesferas de vidro
queimadas à temperatura de (a) 800 °C, (b) 1000 °C e (c)
1200 °C.
- Figura 3.12** Difratoograma das massas cerâmicas contendo 25% de 77
resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro
queimadas à temperatura de (a) 800 °C, (b) 1000 °C e (c)
1200 °C.
- Figura 3.13** Fotomicrografia da massa cerâmica contendo 100% de 78
resíduos de tijolos queimados à 1200 °C por 3 horas
(aumento de 1200X).
- Figura 3.14** Fotomicrografia da massa cerâmica contendo 25% de 79
resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro após a
queima à 1200 °C por 3 horas (aumento de 1500X).

Figura 3.15	Fotomicrografia da queima da mistura contendo 75% de resíduos de tijolos e 25% de microesferas de vidro após a queima à 1200 °C por 3 horas (aumento de 1500X).	79
Figura 3.16	Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra contendo 100% de resíduos de tijolos na faixa de temperatura de 25 a 300 °C.	80
Figura 3.17	Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra contendo 100% de resíduos de tijolos na faixa de temperatura de 300 a 800 °C.	81
Figura 3.18	Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra contendo 100% de resíduos de tijolos no patamar de 800 °C.	82
Figura 3.19	Concentração média de BTEX determinados na queima das amostras contendo 100% de resíduos de tijolos durante todo o processo de queima.	83
Figura 3.20	Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro na faixa de temperatura de 25 a 300 °C.	84
Figura 3.21	Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro na faixa de temperatura de 300 a 800 °C.	85
Figura 3.22	Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro no patamar de 800 °C.	86
Figura 3.23	Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro durante o processo de queima.	87
Figura 3.24	Concentração média dos aldeídos determinados na queima da amostra com a composição de 100% de resíduos de tijolos na faixa de temperatura entre 25 a 300 °C.	88

Figura 3.25	Concentração média dos aldeídos determinados na queima da amostra com a composição de 100% de resíduos de tijolos na faixa de temperatura entre 300 a 800 °C.	89
Figura 3.26	Concentração média dos aldeídos determinados na queima da amostra com a composição de 100% de resíduos de tijolos no patamar de 800 °C.	90
Figura 3.27	Concentração média dos aldeídos determinados na queima das amostras com a composição de 100% de resíduos de tijolos durante o processo de queima.	91
Figura 3.28	Concentração média dos aldeídos determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro na faixa de temperatura de 25 a 300 °C.	92
Figura 3.29	Concentração média dos aldeídos determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro na faixa de temperatura de 300 a 800 °C.	93
Figura 3.30	Concentração média dos aldeídos determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro no patamar de 800 °C.	94
Figura 3.31	Concentração média dos aldeídos determinados na queima das amostras com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro durante o processo de queima.	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Classificação de tijolos maciços.	49
Tabela 2.2	Classificação de blocos cerâmicos.	49
Tabela 3.1	Análise granulométrica das matérias-primas.	62
Tabela 3.2	Composição química elementar das matérias-primas.	63
Tabela 3.3	Valores médios dos testes físico-mecânicos.	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- AA – Absorção de Água
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica
- BTEX – Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos
- CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção
- CG – Cromatografia Gasosa
- CLAE – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- COVs – Compostos Orgânicos Voláteis
- D – Densidade
- DIC – Detector de Ionização por Chama
- DNPH – Dinitrofenil Hidrazina
- DRX – Difração de Raios-X
- FRX – Fluorescência de Raios-X
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- IQ – Instituto de Química
- ITQC – Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade na Construção Civil
- Kgf/cm² – Quilograma-Força por Centímetro Quadrado
- LACMAT – Laboratório de Caracterização de Materiais
- LD – Limite de Detecção
- LQ – Limite de Quantificação
- LT – Limite de Tolerância
- MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
- Mpa – Mega Pascal (Unidade de Tensão)
- NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
- NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health
- NO_x – Óxidos de Nitrogênio
- NUCAT – Núcleo de Catálise
- ONU – Organização das Nações Unidas

PA – Porosidade Aparente
PIB – Produto Interno Bruto
RCC – Resíduos da Construção Civil
RL – Retração Linear
RV – Retração Volumétrica
SNC – Sistema Nervoso Central
TRF – Tensão de Ruptura à Flexão
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
USP – Universidade de São Paulo
U.S. EPA – United States Environmental Protection Agency
WHO – World Health Organization

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 A CAUSA AMBIENTAL

Nas últimas décadas, o crescimento do consumo e conseqüentemente o aumento da produção industrial tem acarretado não apenas a diminuição das reservas naturais sejam essas minerais ou energéticas, como também por gerarem uma grande quantidade e variedade de resíduos e subprodutos.

O aumento da geração de resíduos exige um gerenciamento e planejamento corretos para disposição de maneira adequada, reciclagem ou reaproveitamento, mas o que se observa frequentemente, é que sem infra-estrutura e tecnologia necessária para oferecer um destino adequado, esses resíduos acabam por ser tratados através de soluções improvisadas como aterros e vazadouros, gerando uma série de transtornos.

A história industrial brasileira não difere do panorama global, visto que nunca dispôs corretamente seus resíduos gerados, sendo estes, usualmente, despejados em rios, no mar, terrenos baldios, enterrados ou simplesmente abandonados em galpões da própria empresa geradora. A poluição advinda dessas práticas teve, e ainda tem, seus efeitos nocivos observados não apenas no ambiente, como também na saúde do próprio homem.

Com as novas normas e diretrizes para o gerenciamento de resíduos sólidos, a intensificação da legislação e a fiscalização muito mais presente e efetiva, torna-se inadmissível o descarte e disposição direta desses materiais no meio ambiente.

Em vista disto, as buscas por alternativas ambientalmente menos agressivas, mais eficazes e por tratamentos ecoeficientes dos resíduos sólidos tem sido o caminho trilhado para reverter, ou pelo menos amenizar, o cenário negativo estabelecido pela disposição incorreta destes materiais.

No âmbito empresarial brasileiro, a tão almejada consciência ambiental ainda não despertou de maneira efetiva. As forças motrizes para a mudança de comportamento estão vinculadas aos custos devidos às multas, a desvalorização no patrimônio da empresa decorrente do passivo ambiental e a pressão do mercado por um comprometimento maior das mesmas no desenvolvimento e utilização de produtos e processos ecologicamente corretos.

O conceito de Desenvolvimento Sustentável implica em um desenvolvimento que satisfaça as necessidades do presente sem comprometer as habilidades das gerações futuras para satisfazer suas próprias necessidades (WCED, 2010). O nosso planeta entrou num período de mudanças hidrográficas, climáticas e biológicas que diferem dos episódios anteriores de mudança global, uma vez que têm origem nas atividades humanas (STERN et al. 1993). Segundo Spangenberg e Bonniot (2009), a degradação ambiental pode ser vista através do crescimento populacional, crescimento econômico, mudança tecnológica, instituições político-econômicas, atitudes e convicções.

Segundo a ONU, até 2027, aproximadamente 5% da população mundial habitarão as grandes cidades. É a demanda por produtos e serviços voltados a quem vive nas cidades que resulta na devastação do meio ambiente, na poluição em todos os níveis e na escassez de recursos naturais (IDHEA, 2010).

A transformação de um simples consumidor em um cidadão sustentável consiste em compreender que as ações pessoais repercutem e interferem na qualidade de vida de outras pessoas, na comunidade e no meio ambiente. Ter consciência de que através de sua condição de consumidor, é capaz de influenciar no rumo da economia, buscando opções mais sustentáveis.

Assim é fundamental uma mudança na cultura e atitudes dos indivíduos, de forma a tentar reverter ou ao menos deter este processo, assumindo responsabilidades diante de si e do planeta. Esta nova postura é chamada de cidadania sustentável.

A reciclagem e o reaproveitamento de resíduos sólidos são de fundamental importância para o controle e minimização dos impactos ambientais. Neste contexto, destacam-se as indústrias da construção civil, por constituírem um dos

segmentos que mais utilizam matérias-primas naturais e por ainda gerarem uma grande quantidade de resíduos, bem como a indústria de galvanoplastia por gerar vários resíduos de natureza diversa que oferecem riscos ambientais e custos adicionais pela disposição em aterros.

1.2 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é uma fonte de grandes quantidades de resíduos, que emergem de variados processos, desde a limpeza do local de obras e movimentação de terras, como vegetações e terras, até sobras, por exemplo, materiais inutilizados e desperdiçados na realização de obras e ainda provenientes de demolições e operações de manutenção, restauração e reabilitação de construções já existentes.

Tradicionalmente, a maioria dos Resíduos da Construção Civil (RCC) é destinada a aterros, que nem sempre oferecem as devidas condições para lidar com os diversos resíduos que recebem. Dada a crescente falta de espaços para a criação de novos aterros e o aumento dos cuidados de proteção ambiental, torna-se claro que a diminuição de volumes de RCC por meio da sua reutilização e reciclagem seria uma solução com potencial elevado.

Os resíduos da construção civil e demolições representam 61% do lixo produzido nas cidades brasileiras, segundo dados da Secretária Nacional de Saneamento do Ministério das Cidades. Este percentual corresponde a 90 milhões de toneladas de lixo/ano, que devem ser depositados em áreas previamente estabelecidas, obedecendo a regras e normas ambientais criadas pelos estados e municípios de acordo com as leis que tratam do tema.

A indústria da construção civil foi um dos setores que mais utilizaram matérias-primas naturais consumidas pela sociedade, apropriando-se de 75% do que foi extraído do ambiente e que é essencial ao desenvolvimento do país, pois tem um grande peso na economia, responsável por 40% da formação bruta de capital e da grande massa de emprego, respondendo por cerca de 7,3% do

Produto Interno Bruto (PIB) nacional tendo um faturamento da ordem de R\$ 126,2 bilhões (ANICER, 2010).

A indústria da construção civil em parte ainda não se conscientizou de que a prática do desenvolvimento sustentável em seus processos, produtos e serviços podem vir a ser além de uma contribuição com a questão ambiental, uma maneira correta e ética de se obter uma vantagem competitiva com possíveis retornos de investimentos.

Uma mentalidade voltada para o desenvolvimento sustentável na construção civil não permite a concepção de que recursos naturais e os locais de deposição de resíduos são abundantes. O crescimento da geração de resíduos leva a um aumento da extinção de recursos naturais. Dessa forma, o desperdício de materiais nas construções não se baseia somente na geração de resíduos sólidos, mas também na não reutilização de seus resíduos, desperdiçando as potencialidades desses materiais.

Uma construção sustentável baseia-se na prevenção e redução dos resíduos pelo desenvolvimento de tecnologias limpas, no uso de materiais recicláveis ou reutilizáveis, no uso de resíduos como materiais secundários e na coleta e deposição inerte. Assim, devem ser tomadas medidas para se transformar resíduos em recursos reutilizáveis. De acordo com a Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (2002), os geradores de resíduos da construção civil devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção. Dessa forma, a reciclagem e a reutilização se inserem em atitude necessária, pois além da conscientização dos aspectos relativos à questão ambiental, os geradores de resíduos estarão sujeitos a sanções judiciais no caso do não cumprimento da lei.

Em uma determinada região, a constituição dos resíduos da construção civil é heterogênea e dependente das características de cada construção, bem como do grau de desenvolvimento da indústria. Em geral, os resíduos da construção civil são compostos por uma mistura de brita, areia, concreto, argamassa, tijolos cerâmicos e blocos de concreto, restos de madeira, caixas de papelão, ferro e plástico. Estes resíduos são classificados, segundo a NBR 10.004 da ABNT –

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), como resíduos sólidos inertes - Classe II-B. Entretanto, não existem estudos sobre a solubilidade dos resíduos como um todo, de maneira a comprovar que não possuam índices de concentração de poluentes superiores ao especificado na referida Norma, o que os classificaria como resíduos não inertes – Classe II.

A classificação dos materiais pode variar segundo a obra que os originaram. Uma obra pode produzir somente materiais inertes, não inertes ou até perigosos, como o caso do resíduo resultante do trabalho com telhas de amianto, cujo pó é potencialmente cancerígeno.

Existe um mito de que o material desperdiçado na construção de três edifícios daria para construir outro, tal o volume de perda de material nas obras nacionais. Uma pesquisa intitulada “Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras”, desenvolvida pelo Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade na Construção Civil (ITQC), pelo Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e por equipes de outras quinze Universidades, demonstraram através de um levantamento realizado em 80 canteiros das regiões Nordeste, Sudeste e Sul, uma perda total de blocos e tijolos de 13%, levando em conta todos os serviços nos quais foi utilizado (USP, 2010).

Segundo Hirschfeld (2000), existe desperdício em todos os setores da construção civil. Com relação ao tijolo, a quantidade efetivamente entregue, em relação à quantidade adquirida, registra porcentagens de perdas que vão de 3% a 20%. No corte de peças, as porcentagens aumentam ainda mais. É preciso despertar a consciência e mudar as atitudes para que a eliminação dos desperdícios faça parte do pensamento e da ação.

Em geral a aplicabilidade do resíduo de construção e demolição estão canalizadas para a utilização como agregado, sendo denominado agregado reciclado, definido como o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção, os quais apresentam características técnicas para aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia. O entulho processado pelas usinas de reciclagem

pode ser utilizado como agregado para concreto, a partir da substituição dos agregados convencionais, areia e brita. Segundo Ribeiro e Serra (2001), este tipo de utilização apresenta várias vantagens, tais como: utilização de todos os componentes minerais do entulho, por exemplo, tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, entre outros, sem a necessidade de separação de nenhum deles e economia de energia no processo de moagem do entulho, uma vez que ao ser utilizado no concreto, parte do material é britado em formas granulométricas mais graúdas.

As perdas de tijolos são destaques quando se trata de desperdício na construção civil, por constituir a parcela visível e também porque o consumo desnecessário deste material resulta numa alta produção de resíduos.

Um dos objetivos deste trabalho foi procurar uma alternativa de reaproveitamento das sobras de tijolos a de fim de diminuir a sua disposição em aterros.

1.3 A INDÚSTRIA GALVÂNICA

O processo de galvanoplastia, isto é, a deposição química ou eletroquímica de uma fina camada de metal sobre a superfície de um objeto, tem papel importante na evolução industrial, no crescimento econômico e no desenvolvimento de novos processos e está presente nos objetos de nosso cotidiano como peças de automóveis, eletrodomésticos, brocas de dentistas, bijuterias e armações de óculos, conferindo resistência, proteção contra corrosão e embelezamento a estes objetos.

A indústria galvânica brasileira atende vários setores da economia nacional e é responsável por mais de 52 mil postos de trabalho diretos em aproximadamente 4.500 indústrias (SESI, 2010).

Na indústria galvânica além do lodo gerado com alto teor de metais pesados, ocorre também a geração de resíduos na câmara de jateamento. Entre diversos tipos de resíduos destacam-se as microesferas de vidro utilizadas como

abrasivos na limpeza de peças metálicas antes do tratamento químico, que após alguns ciclos de uso no processo de limpeza se tornam resíduo.

1.3.1 AS MICROESFERAS DE VIDRO PROVENIENTES DE JATEAMENTO

O jateamento é um método de preparação de superfícies difundido como ferramenta industrial sendo usado como tratamento mecânico superficial, o qual remove todo e qualquer tipo de revestimentos, descarbonização e contaminantes com aplicação no processo de limpeza nas áreas industriais, automotiva, ferroviária, naval, aeronáutica e rodoviária, deixando a superfície limpa, facilitando o tratamento químico de superfície como decapagem química, removendo rebarbas das peças usinadas e areia de fundição remanescente das peças moldadas (CALLISTER, 2008).

O processo de jateamento pode ser feito através de turbinas ou por ar comprimido e se caracteriza pelo baixo custo e rapidez, além de poder ser realizado em ambientes fechados sem nenhum risco para os operadores e o ambiente.

As microesferas de vidro são um tipo de abrasivo obtido a partir da fusão de vidro selecionado e pulverizado. Por ser um material inerte, seu uso em jateamento não contamina a face que está sendo tratada.

Os resíduos de microesferas de vidro são gerados nas câmaras de jateamento após uso nos processos a que foram submetidas. Seu teor de sílica é acima de 65% e é não biodegradável. Sua classificação segundo a NBR 10004/2004 da ABNT é de resíduo sólido industrial inerte, Classe IIB, portanto podendo ser amplamente utilizado para reciclagem.

Novos processos de incorporações de resíduos têm sido desenvolvidos, adequados e aplicados para a transformação em novos produtos, visando o crescente interesse mercadológico nesta área. A indústria cerâmica vermelha é um setor da indústria cerâmica onde a composição química das matérias-primas sofre um controle menos rígido, tornando-se por isso um setor atraente para a incorporação de resíduos.

1.4 A INDÚSTRIA CERÂMICA

Atualmente, o Brasil se posiciona entre as oito economias mundiais, com um PIB de U\$1,5 trilhão. A participação da indústria cerâmica brasileira no PIB é da ordem de 1,0% (ANICER, 2010).

A indústria cerâmica de materiais de construção brasileira é constituída atualmente por aproximadamente 12 mil olarias, de pequeno e médio porte, que são responsáveis por 650 mil empregos diretos, 2 milhões de empregos indiretos e um faturamento anual em torno de R\$ 6 bilhões. A grande maioria desse setor industrial utiliza técnicas de produção ultrapassadas, com um atraso tecnológico de aproximadamente 50 anos, não havendo controle eficaz das variáveis de processo. O que provoca a produção de peças de baixa qualidade e imensas perdas em todas as fases de produção, ocasionando aumentos nos custos e não atendimento as novas exigências normativas da área.

1.4.1 A INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA

A história da Cerâmica Vermelha remonta a cerca de sete mil anos na história da humanidade, iniciada no Oriente Médio. Inicialmente utilizou-se o tijolo de adobe ou cerâmica crua como substituto das pedras de cantaria. Embora de menor durabilidade, apresentou a vantagem de uma maior trabalhabilidade da argila na execução dos elementos e destes mesmos na composição das alvenarias.

Especificamente para a Indústria da Construção Civil, a denominação de Cerâmica Vermelha engloba produtos como tijolos e blocos para alvenaria, além de telhas, pisos, vasos decorativos, entre outros. Geralmente ao se falar da cerâmica vermelha constitui-se um grupo de produtos rústicos onde o acabamento dificilmente ocorre.

A grande importância deste setor econômico está nas propriedades que possuem seus produtos como materiais auto-estruturados e, por isto, estão intimamente ligados à edificação.

O processo para a fabricação de elementos cerâmicos vermelhos é bastante conhecido, seu domínio é milenar e apresenta pequenas variações para a obtenção dos diferentes produtos.

É caracterizada por duas etapas distintas: primária, que envolve exploração da matéria-prima, neste caso, a argila, e a segunda, de transformação, para elaboração do produto final. Independentemente de serem ou não desempenhadas pela mesma empresa, essas fases estão intimamente interligadas e interferem no desempenho de toda a cadeia produtiva.

As argilas, ideais para a fabricação dos produtos de cerâmica vermelha devem, de modo geral, ser de fácil desagregação, apresentar distribuição granulométrica conveniente, adequada combinação entre materiais plásticos e não plásticos e possuir um teor de matéria orgânica que possa conferir, juntamente com a granulometria, boa plasticidade e resistência mecânica suficiente para evitar deformações e quantidade possível de água no processo de conformação.

A redução no teor de água utilizado no processo de extrusão, sem prejuízo da plasticidade e trabalhabilidade das massas cerâmicas e das propriedades cerâmicas das peças úmidas, secas e após queima, acarretará uma redução diretamente proporcional nos gastos energéticos com a secagem. A redução no teor de água também implicará diretamente na diminuição dos problemas de trincas e empenamentos que ocorrem na etapa de secagem.

A plasticidade de um sistema pode ser definida como a propriedade de se deformar pela aplicação de uma força e manter essa deformação após a sua retirada. No sistema argila-água a plasticidade é função da granulometria das partículas, da força de atração entre as partículas de argilominerais, da presença de matéria orgânica e da ação lubrificante da água. De forma geral, a plasticidade se desenvolve quando a argila apresenta água suficiente para cobrir toda a superfície acessível dos argilominerais com uma água não orientada, que age como meio lubrificante facilitando o deslizamento das placas dos argilominerais umas sobre as outras quando uma tensão tangencial é aplicada (CALLISTER, 2008).

No processo de fabricação são geralmente usados ciclos de queima lentos, que podem chegar até 60 h (frio a frio), dependendo do produto fabricado (Dondi et al. 1998). Ressalta-se que é na etapa de queima que ocorre a sinterização do material, transformando a massa argilosa conformada em um produto cerâmico. Este processo é irreversível. O material cerâmico após a queima é considerado inerte até a sua temperatura de obtenção (COUVIGNOU, 2007).

Considerados o baixo custo e a pouca exigência de qualificação em sua aplicação, as cerâmicas vermelhas representam o maior volume de movimentação de materiais na grande maioria de construções correntes no Brasil.

Baseado neste fato, a evolução do mercado da indústria de cerâmica vermelha se faz necessária para se adequar as mudanças que ocorrem atualmente na indústria da construção civil nacional, cuja demanda por produtos de alto padrão tecnológico e de baixo custo está cada vez mais determinando o sucesso de uma indústria.

1.4.2 A INCORPORAÇÃO DE OUTROS RESÍDUOS À CERÂMICA VERMELHA

Uma alternativa viável que a indústria cerâmica vermelha pode aplicar para atenuar o alto consumo de argila é o uso de resíduos industriais incorporados às massas argilosas como matérias-primas alternativas. A incorporação quando realizada com sucesso pode melhorar a qualidade do produto final, diminuir o consumo de matérias-primas naturais, diminuir o custo de produção e principalmente, contribuir para minimização do impacto ambiental.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos e relacionados à incorporação de resíduos industriais poluentes em massas argilosas para a fabricação de cerâmica vermelha. Dentre os vários resíduos investigados destacam-se: resíduos do setor siderúrgico, resíduo de boro, resíduo de curtume, resíduos da indústria de galvanização e de lodos de estação de tratamento de água entre outros. Em geral estes trabalhos estão relacionados às mudanças estruturais e físicas que estes resíduos provocaram no produto cerâmico (SOUZA, 2008, RIBEIRO et al. 2006).

A reciclagem é o processo pelo qual o resíduo é transformado em matéria-prima. Segundo Teixeira e Zanin (2001), com a reciclagem pode-se resgatar alguns resíduos que ainda podem ter utilidade e, desta forma, reduzir a quantidade de resíduos que terão que ser adequadamente dispostos.

As principais vantagens de reciclar, na percepção de Tocchetto (2000) são: a diminuição da carga poluente enviada ao ambiente, menores investimentos em instalações de tratamento de rejeitos, diminuições dos custos de produção e maior competitividade de produtividade das empresas.

Quando não for possível assegurar a reutilização dos produtos ou evitar a produção do resíduo, a reciclagem surge como uma alternativa tecnológica viável. A introdução novamente de resíduos industriais em novos processos, prioriza a busca permanente de adequação conforme a características desses resíduos, proporcionando a elevação do grau de recuperação, poupando-se gastos energéticos e a retirada de matéria-prima da natureza, para obtenção do produto final (TOCCHETTO, 2000).

Deste modo os resíduos utilizados neste trabalho foram: sobras de tijolos provenientes da construção civil e microesferas de vidro, resíduo da câmara de jateamento. Ambos os resíduos são classificados como Classe IIB, portanto podendo ser utilizado para a reciclagem. O setor da cerâmica vermelho foi escolhido pelo fato deste segmento da cerâmica apresentar maiores tolerâncias em suas especificações.

O processamento de materiais cerâmicos que envolve queima está associado à liberação de componentes gasosos, que não têm sido suficientemente investigados. Existe pouca informação na literatura sobre a emissão gasosa durante o processo de queima de cerâmica vermelha (TOLEDO et al. 2004). Em geral, a queima de massas cerâmicas argilosas pode liberar concentrações apreciáveis de certos componentes gasosos como; monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), dióxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), amônia (NH₃) e metano (CH₄), que compreendem gases promotores do efeito estufa, prejudicando o ambiente, equipamentos e principalmente a saúde humana (MORGAN, 1993).

1.5 A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

1.5.1 OS EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Além de causar danos à saúde humana, ao ambiente e aos materiais em geral, a poluição do ar vem sendo considerada pela maioria dos países como o principal agente de degradação do planeta. Mudanças climáticas ocorridas nas últimas décadas são atribuídas às atividades humanas que contribuem efetivamente para o aumento das emissões de poluentes para a atmosfera, em níveis capazes de favorecer alterações, em escala mundial, com possíveis consequências catastróficas para a humanidade (SEINFELD, 1988).

O Brasil, como todo o resto do mundo, vem apresentando um crescimento explosivo de suas regiões metropolitanas provocando a emissão de toneladas de poluentes, contaminando não só o ambiente ao redor, mas regiões a quilômetros de distância das fontes emissoras de poluição.

A contaminação atmosférica é hoje um problema essencialmente urbano. Conforme dados do IBGE, cerca de 80% da população do país moram nas cidades (IBGE, 2010).

A palavra poluição é usualmente utilizada para descrever alterações na atmosfera, provocadas pela atividade humana, embora a poluição do ar possa resultar de eventos naturais, tais como: dispersão de polens, erupções vulcânicas, fumaça de queimadas em florestas e gases resultantes da decomposição da matéria orgânica. Entre as fontes antrópicas destacam-se a queima de combustíveis fósseis, tais como: carvão e petróleo, exaustão automotiva, que constitui a maior fonte de poluição do ar, emissões de poluentes de processos industriais e queima de resíduos sólidos, entre outros (FINLAYSON-PITTS e PITTS, 1999).

A Resolução nº 3 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, define como poluente atmosférico, qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

- impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- inconveniente ao bem estar público;
- danoso aos materiais, à fauna e à flora;
- prejudicial à segurança, ao uso e ao gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Os poluentes do ar podem ser classificados em duas categorias: **poluentes primários**, aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão; e **poluentes secundários**, aqueles formados na atmosfera como produtos de alguma reação. Os poluentes que estão presentes na atmosfera podem reagir com algum outro material, que pode ser um componente natural da atmosfera ou outro poluente (BAIRD, 2002).

1.5.2 OS PRINCIPAIS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVs) PRESENTES NA ATMOSFERA

Os COVs são um sub-grupo dos compostos orgânicos caracterizados pela sua tendência a evaporar (volatizar) à temperatura ambiente, exceto o monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbônico, carbeto metálico ou carbonatos e carbonato de amônio (FINLAYSON-PITTS e PITTS, 1999). Outra classificação, refere-se a compostos de carbono gasosos, alifáticos e aromáticos, com pressão de vapor maior que 0,01 kPa a 25 °C e com carbonos na faixa de C₂ a C₁₂. Em geral são alcanos, alcenos, aromáticos, alcoóis, cetonas, aldeídos e ácidos (U.S EPA, 2009).

Os COVs possuem importância na composição química da atmosfera, pois são compostos precursores de ozônio e atuam indiretamente na formação do *smog* fotoquímico. Estes compostos reagem com diversos radicais e modificam a capacidade oxidante da atmosfera. Além de participarem na formação de poluentes secundários, muitos COVs possuem uma alta toxicidade, ocasionando danos à saúde pública. Isto faz com que uma grande quantidade de recursos públicos seja gastos com problemas de saúde, principalmente respiratórios em crianças e idosos (NUNES et al. 2000).

Estudos demonstraram que as emissões automotivas são a principal fonte de COVs na atmosfera (CHRISTENSEN; BALL e WALLINGTON, 2000). No Brasil, enquanto o uso em grande escala de automóveis movidos a álcool ou mistura de álcool-gasolina reduz a emissão direta de CO, aumenta a emissão de aldeídos para atmosfera (CORRÊA, 2003). Estudos feitos em algumas cidades do Brasil demonstraram que o acetaldeído, o formaldeído e a acetona são os compostos em maior abundância na atmosfera (GROJEAN; MIGUEL e TAVARES, 2002).

A liberação de muitos COVs no ambiente é resultado de emissões inerentes ao seu uso. Os COVs são usados amplamente em ambientes industriais, tais como, agente de limpeza em indústrias de maquinário metálico e circuitos integrados e domésticos, principalmente como solvente para limpeza a seco.

As reações químicas que acontecem na atmosfera natural são as mesmas que acontecem na atmosfera poluída. A principal diferença são as concentrações de NO_x e COVs, que são muito menores, e os compostos orgânicos voláteis que são encontrados em cada região. Isto faz com que a importância relativa das reações seja diferente.

Observamos que a química da troposfera em áreas urbanas é significativamente mais complicada devido a presença de vários tipos de COVs, tais como alcanos, alcenos e hidrocarbonetos aromáticos e da complexidade dos diferentes compostos formados (FINLAYSON-PITTS e PITTS, 1999).

1.5.3 OS PRINCIPAIS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS ANALISADOS NESTE TRABALHO

1.5.3.1 ALDEÍDOS

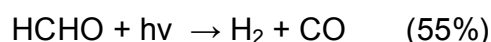
Os aldeídos são importantes constituintes da atmosfera e são formados a partir da degradação fotoquímica de outros compostos orgânicos e emitidos diretamente pela combustão incompleta do gás natural veicular e combustível oxigenados, e são, também, os principais produtos secundários provenientes da

oxidação atmosférica dos compostos orgânicos voláteis (GROJEAN; MIGUEL e TAVARES, 1990, DE ANDRADE et al. 2002).

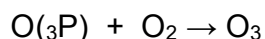
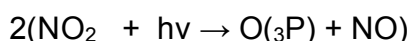
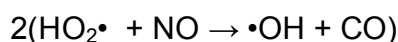
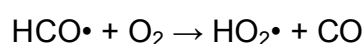
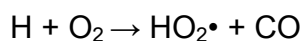
Estes compostos merecem uma atenção maior, pois estudos realizados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. EPA) mostraram que o acetaldeído provoca tumor nasal e na laringe sendo considerado como um provável carcinógeno humano (U.S. EPA, 2009).

Os aldeídos fotolisam e reagem com o radical $\bullet\text{OH}$ e com radicais $\bullet\text{NO}_3$. As reações com radicais $\bullet\text{NO}_3$ são de menor importância em comparação com a fotólise e a reação com radicais $\bullet\text{OH}$ (SEINFELD e PANDIS, 1997).

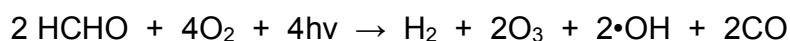
O formaldeído, também, pode ser fotolisado na troposfera segundo as principais reações.



Seguido de:



O resultado final das reações acima será:



Analisando as reações do formaldeído na atmosfera, iniciadas fotoquimicamente, pode ser verificado que, em média, a molécula fotolisada forma dois radicais $\bullet\text{OH}$ e duas moléculas de O_3 .

No caso do acetaldeído, os principais produtos da fotólise são: $\bullet\text{CH}_3$, $\bullet\text{HCO}$, CH_4 , CO , H , CH_3CO , H_2 e CH_2CO (SEINFELD e PANDIS, 1997).

A decomposição fotoquímica é a principal via de consumo de formaldeído em áreas não poluídas. O tempo de vida desta espécie com relação à fotólise é de

aproximadamente 6,3 horas no verão e 8,1 horas no inverno, em um dia claro. Entretanto, em áreas poluídas, a reação com radicais $\bullet\text{OH}$ se constitui em outra importante via de remoção de formaldeído da atmosfera. Esses mecanismos juntos podem ser considerados a maior fonte de radicais $\text{HO}_2\bullet$ na atmosfera (DE ANDRADE et al., 2002) e, conseqüentemente, uma importante fonte de H_2O_2 .

1.5.3.2 HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS

Os hidrocarbonetos aromáticos voláteis são uma classe de compostos que incluem monoaromáticos de benzeno a alquilbenzenos com até quatro grupos alquila ligados ao anel, naftaleno, indano e seus respectivos derivados metilados. São importantes constituintes de solventes, revestimentos, gasolina e emissões de veículos. As investigações sobre a poluição de aromáticos no ar destacam que os hidrocarbonetos aromáticos voláteis provocam danos à saúde, principalmente devido à toxicidade e/ou mutagenicidade ou carcinogenicidade (U.S. EPA, 2009).

Dentre os hidrocarbonetos aromáticos os mais conhecidos são benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX). Os BTEX são emitidos à atmosfera por diversas fontes móveis e estacionárias, em processos de combustão e também por perdas evaporativas. Do ponto de vista ambiental, os BTEX possuem um papel destacado como poluente primário, onde são considerados uns dos principais precursores de ozônio.

1.5.3.2.1 BENZENO

O benzeno, por apresentar ótima propriedade como solvente, sendo muito solúvel em solventes orgânicos graxos, pouco solúvel em água e extremamente volátil à temperatura ambiente, tem um papel importante na indústria química e nas pesquisas científicas. O benzeno é constituinte do petróleo, utilizado como solvente em laboratórios químicos (analíticos e de síntese), como matéria-prima nas indústrias químicas, e, encontrado nos parques petroquímicos, de refino de

petróleo, nas companhias siderúrgicas, nas usinas de álcool anidro, na gasolina e na fumaça do cigarro (U.S. EPA, 2009).

O benzeno é o composto mais tóxico e, por isso, o poluente entre os BTEX, para o qual foi realizado o maior número de estudos na área de saúde em ambientes ocupacionais. A exposição local ao líquido e ao vapor pode produzir irritação na pele, olhos e na parte superior do sistema respiratório. Caso o líquido seja aspirado para o pulmão, pode causar edema pulmonar e hemorragia, resultando em depressão do sistema nervoso central (SNC). Os sintomas podem ir de dor de cabeça, tontura, náusea e convulsões até coma e morte (U.S. EPA, 2009). O benzeno é classificado como cancerígeno pelo Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional (NIOSH).

1.5.3.2.2 TOLUENO

O tolueno está naturalmente presente no óleo cru e é produzido através do refino do petróleo como subproduto da produção de estireno. É também utilizado na síntese de outros produtos químicos orgânicos, tais como o poliuretano e benzeno. A exposição humana ao tolueno ocorre a partir do uso ocupacional, no ambiente doméstico, através da inalação com fins de abuso e da exposição ambiental. Grandes quantidades de tolueno são introduzidas no ambiente anualmente através do uso de processos de refino do petróleo (U.S. EPA, 2009).

Uma das principais vias de contaminação do tolueno é a respiratória, penetrando rapidamente no organismo, onde atua como irritante. Surgem então irritação dos brônquios e da laringe, bronquite, broncoespasmo e edema pulmonar. O contato com os olhos resulta em irritação, lacrimejamento, dor, possível queimadura da córnea e conjuntivite transitória. Sua ação é predominante sobre o SNC como depressor, causando fadiga, dor de cabeça, confusão, tontura e a não coordenação muscular. Por ingestão, provoca depressão do sistema nervoso central e, se aspirado, provoca pneumonia química. No aparelho cardiovascular, o tolueno provoca arritmias no coração, infarto do miocárdio e morte súbita. (U.S. EPA, 2009).

No Brasil, o limite de tolerância (LT) do tolueno é determinado 78 ppm até 48 horas por semana pela Norma Regulamentadora nº 15 do Ministério do Trabalho. O LT é definido como a concentração ou intensidade máxima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente que não causará dano à saúde do trabalhador (MTE, 2009).

1.5.3.2.3 ETILBENZENO E XILENOS

O etilbenzeno e os xilenos, uma mistura de três isômeros (orto, meta e para-xileno) possuem aplicações e toxicidade muito semelhantes ao tolueno, sendo que há relatos de danos ao sistema auditivo causado pelo etilbenzeno. O etilbenzeno é utilizado principalmente na produção de estireno. Também é usado como solvente e como constituinte do asfalto, nafta e nos combustíveis. Já as misturas de xilenos são usadas na produção de etilbenzeno, em solventes, tintas e revestimentos (U.S. EPA, 2009).

Os efeitos agudos na exposição a estes compostos são similares aos do tolueno, surgindo fadiga, tontura, tremores e entorpecimento. Em elevadas concentrações, ocorre inconsciência e morte por depressão do SNC, devido à parada respiratória. A morte também pode ocorrer por arritmia cardíaca. A exemplo dos outros solventes, esses compostos possuem poder irritante nas mucosas das vias respiratórias, na pele e nos olhos, provocando vasodilatação e sensação de aquecimento no corpo com rubor na face. Os vapores provocam irritação ocular, lesão de córnea e fotofobia e a aspiração provoca edema pulmonar e hemorragia (U.S.EPA, 2009).

Os distúrbios mais comuns na exposição crônica aos vapores dos xilenos são: fadiga, dor de cabeça, irritabilidade, fraqueza, perda de memória, sonolência, distúrbios do humor, distúrbios do equilíbrio, zumbido, náuseas e perda do apetite. Na via respiratória surgem bronquite crônica e diminuição do volume expiratório. Há referência na literatura de casos de hepatotoxicidade após a ingestão, abuso na inalação e exposição ocupacional (WHO, 2010).

De acordo com a NR 15, o LT para as substâncias acima é de 78 ppm (BRASIL, 2008).

A análise dos gases emitidos associada com ensaios tecnológicos é a forma mais eficaz de constatar se um produto cerâmico incorporado ao resíduo poluente é viável ou não, sob o ponto de vista ambiental e técnico. A busca da qualidade é na atualidade uma questão primordial, sendo impulsionada pelo mercado e regulada pelas exigências técnicas e ambientais e também pelo despertar da consciência do cidadão sustentável.

1.6 OBJETIVO

O desenvolvimento tecnológico de novos processos associados à reciclagem de resíduos da construção civil atualmente tem enorme relevância, pois os descartes inadequados causam graves impactos socioambientais, impondo a busca de soluções rápidas e eficazes para sua gestão adequada, através da elaboração de programas específicos, que visam a minimização desses impactos. Os principais resultados obtidos com a reciclagem destes resíduos são os benefícios socioambientais, tais como a melhoria da qualidade de vida da população e a utilização racional dos recursos naturais.

O principal objetivo deste trabalho foi buscar uma alternativa para o reaproveitamento das sobras de tijolos provenientes da construção civil e das microesferas de vidro, resíduo da câmara de jateamento, bem como a caracterização dos compostos orgânicos voláteis emitidos durante o processo de queima empregado no desenvolvimento de novos materiais construtivos.

O desenvolvimento destes novos materiais, baseados no reaproveitamento de resíduos sólidos de qualquer natureza, se insere no conceito sustentável por buscar novos produtos, reciclando parte do lixo produzido pela sociedade, utilizando técnicas de produção simples, repensando todo o ciclo de vida do produto, não agredindo o ambiente e procurando o bem estar social. Dessa forma, este tipo de conduta protagoniza um importante papel dentro desse universo

paralelo às atividades das engenharias, as quais são beneficiárias diretas dessas novas tecnologias alternativas.

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados como matérias-primas na realização deste trabalho foram os seguintes resíduos:

- Sobras de tijolos provenientes da construção civil;
- Microesferas de vidro da câmara de jateamento.

2.2 TRATAMENTO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

As sobras de tijolos as quais se apresentavam em tamanhos variados foram inicialmente submetidas ao processo de cominuição cujas etapas podem ser vistas pela Figura 2.1. Para esta etapa que tem como objetivo reduzir a granulometria foi utilizado um triturador de rolos e em seguida um pulverizador de disco ambos da marca DENVER.



Figura 2.1 – Aspectos da matéria-prima utilizada: sobras de tijolos da construção civil (a) após cominuição (b).

As microesferas de vidro, resíduo da câmara de jateamento, no seu estado original (Figura 2.2) foram utilizadas sem qualquer pré-tratamento.

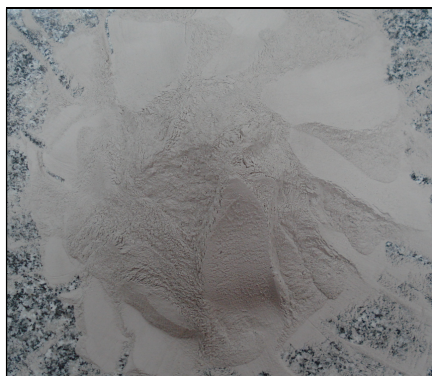


Figura 2.2 – Microesferas de vidro no seu estado original.

2.2.1 AMOSTRAGEM

Segundo a norma ABNT NBR 10007:2004 – Amostragem de Resíduos Sólidos – o processo de amostragem tem por objetivo fixar os requisitos exigíveis para a amostragem de resíduos sólidos através da coleta de uma quantidade representativa de resíduo visando determinar suas características.

2.2.2 HOMOGENEIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

A amostra homogênea foi obtida pela melhor mistura possível das alíquotas dos resíduos. Esta mistura foi feita de modo que a amostra resultante apresentasse características semelhantes em todos os seus pontos. Neste caso, a homogeneização foi obtida por quarteamento.

O quarteamento é o processo de divisão em quatro partes iguais de uma amostra pré-homogeneizada, sendo tomadas duas partes opostas entre si para constituir uma nova amostra, descartando-se as partes restantes. As partes não descartadas são misturadas novamente e o processo de quarteamento é repetido, sendo homogeneizado novamente para futuro aproveitamento.

A Figura 2.3 mostra a sequência esquemática do quarteamento realizado para as microesferas de vidro. O mesmo procedimento foi realizado com os resíduos de tijolos, após trituração e pulverização.



Figura 2.3 – Sequência esquemática do quarteamento das microesferas de vidro.

2.2.3 A ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS

A análise granulométrica consiste na determinação da distribuição percentual, em peso dos tamanhos dos grãos, que constituem o material, ou seja, permite identificar o tamanho e a distribuição dos grãos.

Parte de ambos os resíduos foram classificados e quantificados granulometricamente, utilizando um *rot-up* (MARCONI), dotado de um jogo de peneiras ABNT de 115, 170, 200, 250, 270 e 325 mesh para o resíduo de tijolos e peneiras de 170, 200, 270, 325 e 400 mesh para os resíduos de microesferas de vidro.

2.3 CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR DAS MATÉRIAS-PRIMAS

2.3.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade foi realizado em uma estufa à 80 °C. A amostra, com massa inicial conhecida foi levada para a estufa para perda de umidade por 24 horas e após secagem, a massa final foi determinada até peso constante. Mediante esses valores, obteve-se através da equação 2.1, o teor de umidade presente nos resíduos.

$$\text{Teor de Umidade (\%)} = \left(\frac{M_U - M_S}{M_U} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

Onde:

M_U - Massa de resíduo úmida (em g);

M_S - Massa de resíduo seca (em g).

2.3.2 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

A caracterização dos resíduos de tijolos e das microesferas de vidro foi realizada empregando-se métodos físicos de Fluorescência de Raios-X (FRX), Difração de Raios-X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Microscopia Óptica.

2.3.2.1 ANÁLISE POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX)

A FRX é frequentemente utilizada para determinar a composição química em materiais cerâmicos por ser um método rápido, preciso e não destrutivo.

O princípio da técnica consiste em transições eletrônicas, onde os elétrons das camadas mais externas dos átomos, quando atingidos por radiação, são expulsos, fazendo com que os átomos se ionizem. Ocorrem então, transições entre camadas dentro dos íons formados, fazendo com que os mesmos emitam raios-X, cuja intensidade é caracterizada para cada elemento existente.

O espectro obtido por indutância de certa amostra, isto é, FRX, foi interpretado. A intensidade do espectro é proporcional à quantidade do elemento presente. Esta técnica foi utilizada para a determinação dos teores dos elementos na forma de óxidos.

Foi realizada em um espectrômetro de Fluorescência de Raios-X (RIGAKU) do Laboratório Núcleo de Catálise – NUCAT – da COPPE.

2.3.2.2 ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)

Esta técnica possibilita a identificação dos minerais presentes, e também permite estudar as características cristalográficas desses minerais. O equipamento de DRX é basicamente um tubo emissor de raios-X, uma câmara circular onde se situa a amostra (goniômetro) e um detector que recebe os raios difratados. A técnica de ensaio consiste em incidir um feixe de raios-X de comprimento de onda conhecido (λ) sobre uma camada fina de pó, que gira no centro do goniômetro variando o ângulo de incidência (θ). Como consequência o feixe se difrata e reflete com ângulos que são característicos do retículo cristalino, obtendo-se o difratograma correspondente. As análises foram realizadas utilizando o método do pó, com radiação $K\alpha$ do cobre e varredura entre os ângulos de 10 a 80° (2θ).

O equipamento utilizado foi um Difratorômetro de Raios-X (RIGAKU, modelo MiniFlex II), do Laboratório de Caracterização de Materiais – LACMAT – da Escola de Química.

2.3.2.3 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A utilização desta técnica permite realizar um estudo das características superficiais e da morfologia das partículas. Quando uma radiação é empregada para iluminar um objeto, o valor limite do poder de resolução é definido pelo comprimento de onda da radiação. No microscópio eletrônico, ao invés da luz visível, a amostra é bombardeada com um feixe de elétrons altamente energético, permitindo, portanto, um poder de resolução bem mais elevado que na microscopia ótica.

Utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura (HITACHI) do Laboratório de Caracterização de Materiais – LACMAT – da Escola de Química.

2.3.2.4 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ÓPTICA

A utilização da técnica de microscopia óptica consiste na observação total e completa de minérios através de microscópios ópticos. Esta observação nos permite a identificação de várias fases do corpo de prova observando a composição de cada fase do material e até mesmo as formas de intercrescimento e associações que são realizadas entre as matérias-primas durante o processo de queima.

Utilizou-se um microscópio óptico (OLYMPUS, modelo BX 60M) do Laboratório de Metalografia da Engenharia Metalúrgica e de Materiais – UFRJ.

2.4 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E ENSAIO DE QUEIMA

Os corpos de prova foram preparados com a mistura de resíduos de tijolos, retidos nas peneiras de 115, 170, 200 e 270 mesh com diâmetro médio total de abertura de 0,085 mm com os resíduos de microesferas de vidro, retidos nas peneiras de 170, 200, 270, 325 e 400 mesh, com diâmetro médio total de abertura de 0,056 mm, a fim de facilitar a prensagem do material.

O método utilizado para a determinação da proporção correta de resíduos de tijolos e água destilada com a adição dos resíduos de microesferas de vidro foi tentativa e erro.

Foram estabelecidas três composições para a confecção dos corpos de prova e identificados com as letras **T** (100% resíduos de tijolos), **A** (75% resíduos de tijolos + 25% de microesferas de vidro), e **B** (25% de resíduos de tijolos + 75% de microesferas de vidro), sendo confeccionados 7 corpos de prova para cada composição num total de 63 peças. A quantidade de água adicionada para cada composição foi de 4,5 mL, 4,1 mL e 3,8 mL, respectivamente para **T**, **A** e **B**.

As misturas preparadas formaram massas cerâmicas, as quais foram conformadas através de compactação (prensagem) em uma matriz retangular de aço inox, medindo 60 mm de comprimento X 20 mm de largura e X 5 mm de

espessura (Figura 2.4), sob uma pressão de 220 kgf/cm^2 conforme aplicado no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (SANTOS, 1989), conferindo uma maior estabilidade dimensional da peça cerâmica.

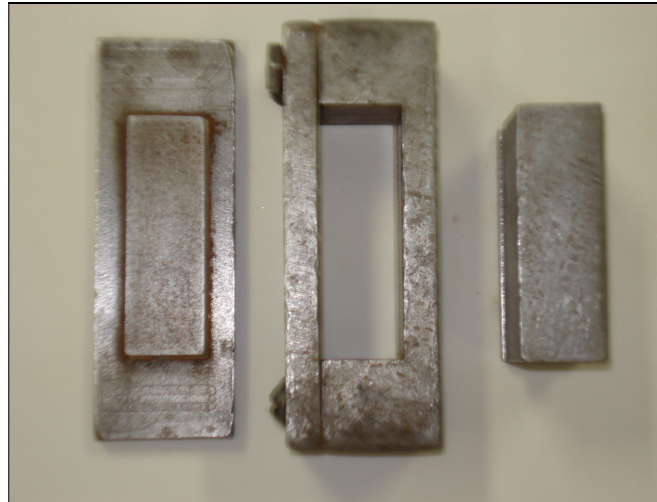


Figura 2.4 – Matriz retangular de aço inox utilizada na compactação dos corpos de prova.

Os corpos de prova recém-preparados foram colocados para secar em estufa à temperatura de $40 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, por 24 horas, para perda de umidade e, posteriormente pesados (M_i - Massa Inicial) até obtenção de um valor constante. As dimensões (L_i , C_i e E_i – Largura, Comprimento e Espessura Iniciais) foram determinadas através de um paquímetro digital em pontos estabelecidos conforme apresentado na Figura 2.5. Em seguida, os corpos de prova foram colocados dentro do forno elétrico para serem calcinados, nas temperaturas previamente determinadas de 800, 1000 e 1200 $^\circ\text{C}$ durante o tempo de 3 horas. Após o resfriamento dos corpos de prova, decorrente de convecção natural, foi feita nova pesagem (M_f – Massa Final após a queima) e medição dos mesmos (L_f , C_f e E_f – Largura, Comprimento e Espessura Finais após a queima) seguindo a mesma metodologia aplicada anteriormente.

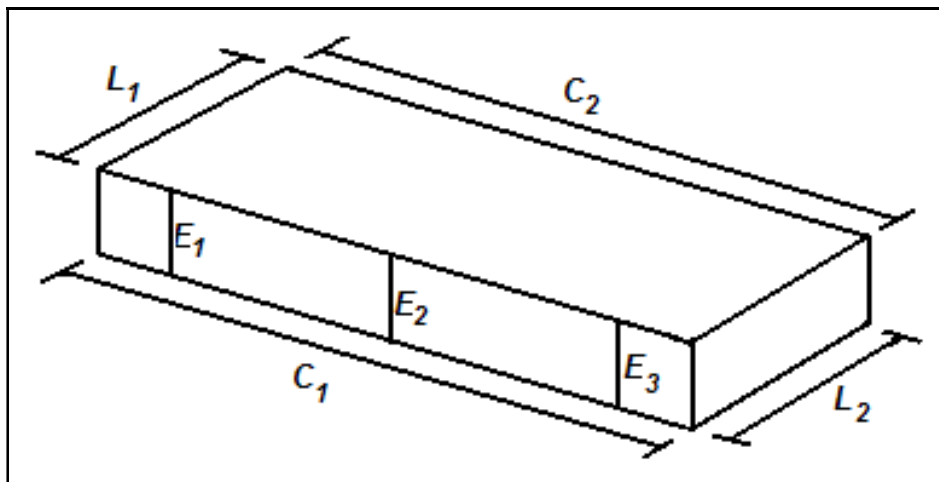


Figura 2.5 – Pontos estabelecidos para a determinação das medidas.

Baseado nos valores obtidos determinou-se a Retração Linear (RL), a Retração Volumétrica (RV), a Absorção de Água (AA), a Porosidade Aparente (PA), a Densidade (D) e a Tensão de Ruptura à Flexão (TRF) dos corpos de prova.

Pode-se observar na Figura 2.6 todas as etapas concretizadas até a realização dos ensaios tecnológicos nos corpos de prova.

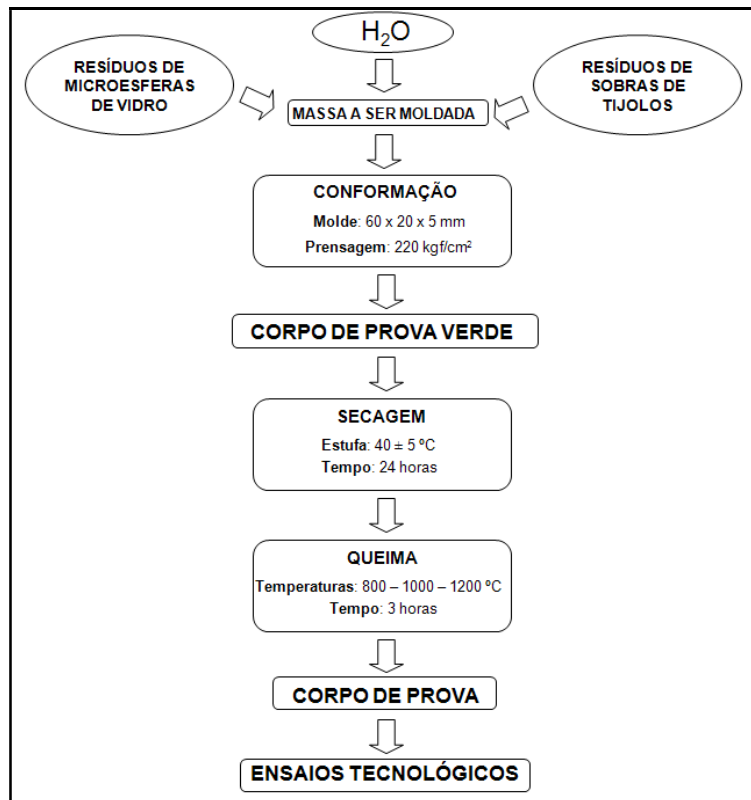


Figura 2.6 – Diagrama das etapas concretizadas até a realização dos ensaios tecnológicos (Elaboração Própria).

2.5 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS CORPOS DE PROVA

Durante o processo de fabricação das cerâmicas, especificamente em sua queima, reações termicamente ativas se processam no interior da massa cerâmica promovendo a formação das fases determinantes para as características físicas e mecânicas na fase final do processo (DUTRA e PONTES, 2008).

Dessa forma, através de ensaios, pode-se avaliar as propriedades tecnológicas do novo material cerâmico obtido.

2.5.1 AVALIAÇÃO DA RETRAÇÃO LINEAR (RL)

Segundo Santos (1989), a Retração Linear de uma peça cerâmica é determinada a partir da equação 2.2:

$$RL (\%) = \left(\frac{C_I - C_F}{C_I} \right) \times 100 \quad (2.2)$$

Onde:

C_I - Comprimento inicial do corpo de prova (em cm);

C_F - Comprimento final do corpo de prova, depois de calcinado (em cm).

Sendo RL a variação da dimensão linear em porcentagem, seu valor será positivo quando houver retração e negativo quando houver expansão.

2.5.2 AVALIAÇÃO DA RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA (RV)

Partindo da premissa anterior, a Retração Volumétrica de uma peça cerâmica é determinada através da equação 2.3:

$$RV (\%) = \left(\frac{V_I - V_F}{V_I} \right) \times 100 \quad (2.3)$$

Onde:

V_I - Volume inicial do corpo de prova (em cm³);

V_F - Volume final do corpo de prova, depois de calcinado (em cm³).

Sendo RV a variação da dimensão volumétrica em porcentagem, seu valor será positivo quando houver retração e negativo quando houver expansão.

2.5.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (AA)

A Absorção de Água (AA) é definida como o ganho percentual de massa que tem o corpo de prova, quando absorve o máximo de água. Sua determinação é feita medindo-se o peso do corpo de prova seco e em seguida mergulhando-o em água por 24 horas, período no qual, a água inunda os poros abertos. Após este período, a amostra é suspensa e a água que escorre em sua superfície é ligeiramente seca. O percentual de água absorvida é determinado através da equação 2.4:

$$AA (\%) = \left(\frac{P_U - P_A}{P_A} \right) \times 100 \quad (2.4)$$

Onde:

P_U - Peso do corpo de prova úmido (em g);

P_A - Peso do corpo de prova seco (em g).

2.5.4. ENSAIO DE POROSIDADE APARENTE (PA)

A Porosidade Aparente é definida como o percentual volumétrico de porosidade aberta existente no corpo de prova. Sua medição é feita pelo método gravimétrico, segundo a equação 2.5:

$$PA (\%) = \left(\frac{P_U - P_A}{P_U - P_I} \right) \times 100 \quad (2.5)$$

Onde:

P_U - Peso do corpo de prova úmido (em g);

P_A - Peso do corpo de prova seco (em g);

P_I - Peso do corpo de prova imerso em água (em g).

2.5.5 DENSIDADE (D)

A Densidade (D) do corpo de prova foi determinada utilizando a equação 2.6:

$$D \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{PA}{AA} \quad (2.6)$$

Onde:

PA - Porosidade aparente do corpo de prova (em %);

AA - Absorção de água do corpo de prova (em %).

2.5.6 ENSAIO DE TENSÃO DE RUPTURA À FLEXÃO (TRF)

A Tensão de Ruptura à Flexão do corpo de prova indica a sua capacidade de suportar esforços exercidos por cargas que possam levar à rupturas ou quebras, sendo obtida por meio de ensaio experimental e calculada através da equação 2.7:

$$\text{TRF (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{3.P.b}{2.L.E^2} \quad (2.7)$$

Onde:

P - Carga atingida no momento da ruptura (em kgf);

b - Distância entre os apoios do corpo de prova (em cm);

L - Largura do corpo de prova (em cm);

E - Espessura do corpo de prova (em cm).

Quanto à verificação da resistência à flexão a classificação segundo a NBR 7170/1983 é apresentada na tabela 2.1

Tabela 2.1 – Classificação de tijolos maciços.

Classificação do tijolo maciço	Resistência mecânica	
	Kgf/cm ²	MPa
Classe “A”	>15	>1,5
Classe “B”	15<25	1,5<2,5
Classe “C”	>40	>4,0

Fonte: NBR 7170 (1983)

A NBR 13818/1997 classifica o tijolo maciço de acordo com o método de fabricação em extrudado, prensado e outros, acrescido do grupo de absorção I, II ou III.

Já a NBR 7171/1992 classifica os blocos cerâmicos e está apresentada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Classificação de blocos cerâmicos.

Classificação dos blocos cerâmicos: tijolo furado com absorção de água (8% a 25%)	Resistência mecânica	
	Kgf/cm ²	MPa
Classe 15	15<25	1,5<2,5
Classe 25	25<40	2,5<4,0

Fonte: NBR 7171 (1992)

2.6 A ANÁLISE DAS EMISSÕES GASOSAS LIBERADAS DURANTE A QUEIMA

2.6.1 A COLETA DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVs)

Na análise da emissão dos COVs emitidos durante a queima dos corpos de prova, o sistema utilizado para esta coleta foi constituído de uma bomba amostradora autônoma, os respectivos cartuchos para cada tipo de metodologia de coleta, SKC e de carvão ativo e mangueiras de silicone. O sistema completo de amostragem é apresentado na Figura 2.7.



Figura 2.7 – Sistema completo de amostragem para a coleta dos diferentes tipos de COVs.

As amostras foram coletadas a 3 cm da chaminé do forno respeitando uma programação realizada especialmente para a coleta destes gases, em intervalos de tempo de 3 em 3 horas, às temperaturas de 25 a 300, 300 a 800 e 800 °C, respectivamente. A primeira coleta foi feita durante as três primeiras horas simultaneamente com a queima se iniciando a temperatura ambiente até os 300 °C. A coleta seguinte, manteve-se o tempo de queima de 3 horas e a temperatura subindo de 300 °C até 800 °C. Por último, a terceira coleta era um patamar em 800 °C mantendo-se o mesmo tempo de 3 horas.

Foram analisados dois corpos de prova com diferentes composições. O primeiro corpo de prova era composto apenas de resíduos de tijolos (100% T) e o segundo, composto dos dois resíduos utilizados na execução deste trabalho cuja relação era de uma parte de resíduos de tijolos e 3 partes de resíduos de microesferas de vidro (25% T + 75% MEV) respeitando-se a programação citada anteriormente.

Cada amostra foi analisada em duplicata com uma diferença de concentração sempre menor que 10%. Os brancos do laboratório foram preparados e manipulados da mesma maneira que as amostras. Em todos os experimentos, os brancos representaram menos que 5% da diferença da concentração, sendo subtraídos de todos os resultados das amostras.

2.6.2 A ANÁLISE DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVS) COLETADOS

Existem diversos métodos para amostragem e determinação dos COVs na atmosfera, dependendo basicamente do teor destes compostos e quanto deles se deseja medir simultaneamente. Neste trabalho foram utilizadas as metodologias da U.S. EPA: TO-2 para BTEX e TO-11A para os aldeídos.

O método TO-2 consiste em passar um fluxo de ar por um tubo de carvão ativo de leito duplo, com 100 mg de leito principal e 50 mg de leito de segurança, da SKC.

O método TO-11A consiste em passar um fluxo de ar por um cartucho recheado com um polímero (Sep-Pak C-18), impregnado com uma solução ácida de 2,4 dinitrofenil hidrazina (DNPH).

2.6.2.1 COLETA DAS AMOSTRAS UTILIZANDO A METODOLOGIA TO-2

A peneira molecular de carbono, utilizada como adsorvente no método, é a que apresenta a maior eficiência para compostos com ponto de ebulição entre 15 e 120 °C possuindo uma superfície uniforme, com ótima relação

adsorção/dessorção, características hidrofóbicas e uma excelente estabilidade térmica. Por este motivo, esta técnica é muito utilizada (GUIMARÃES, 2009).

Foram utilizados tubos de carvão ativo de leito duplo, com 100 mg de leito principal e 50 mg de leito de segurança cuja representação se encontra na Figura 2.8. O tempo de coleta foi determinado a fim de possibilitar a análise dos compostos, sem que houvesse uma saturação do leito principal do cartucho.

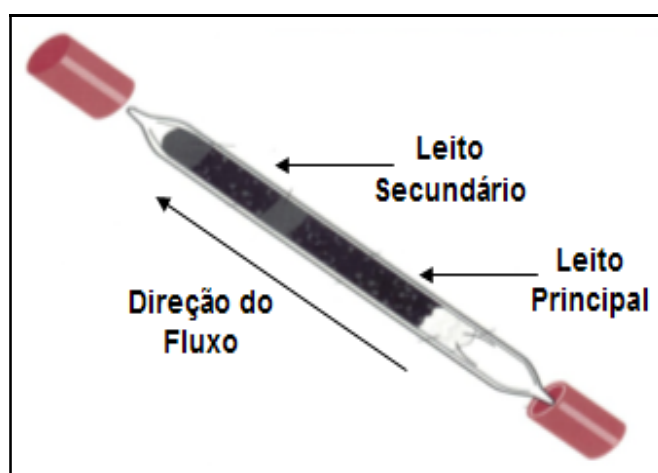


Figura 2.8 – Tubo de carvão ativo de leito duplo.

Após a coleta, os cartuchos foram levados ao laboratório e o conteúdo de cada leito de carvão foi colocado em frascos separados. Em cada frasco foi adicionado 1,0 mL de diclorometano, refrigerado a uma temperatura de 10 °C, a fim de evitar a volatilização da amostra. Posteriormente os frascos foram selados e colocados em banho de ultrassom por 10 minutos.

A análise das amostras foi realizada, como mostra a Figura 2.9, utilizando-se um cromatógrafo a gás (Varian, CG CP-3800) com detector de ionização por chama (DIC) do Laboratório de Química Atmosférica e Poluição – IQ – Universidade Federal do Rio de Janeiro.



Figura 2.9 – Cromatógrafo Varian GC CP-3800 utilizado para análise dos BTEX.

As condições de análise foram escolhidas usando soluções preparadas a partir de padrões produzidos e certificados em concentração aproximada de $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ (Wisconsin PVOC/GRO mixture, CHEM SERVICE).

As condições de análise foram:

- Injeção de $1 \mu\text{L}$ da amostra sem divisão de fluxo, com abertura da válvula de divisão de fluxo por 0,40 minutos;
- Temperatura do injetor: 250°C ;
- Coluna capilar: CP SIL-8 CB (95% dimetilsiloxano com 5% de fenilmetilsiloxano) com 60 metros de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno e $0,25 \mu\text{m}$ de fase;
- Programação de temperatura do forno: 38°C por 4 minutos, 6°C min^{-1} até 120°C , $35^\circ\text{C min}^{-1}$ até 200°C e isoterma por 3 minutos.

2.6.2.1.1 A CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE CALIBRAÇÃO

As concentrações das soluções usadas para construir as curvas de calibração foram escolhidas a partir dos resultados encontrados nas primeiras amostragens. A solução mãe de BTEX foi adquirida da CHEM SERVICE, com $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ em metanol. Foram preparadas 6 soluções de BTEX com concentrações de $0,8 \mu\text{g mL}^{-1}$, $1,6 \mu\text{g mL}^{-1}$, $3,2 \mu\text{g mL}^{-1}$, $4,0 \mu\text{g mL}^{-1}$, $5,3 \mu\text{g mL}^{-1}$, $8,0 \mu\text{g mL}^{-1}$ e $16,0 \mu\text{g mL}^{-1}$, usando diclorometano ultrapuro. Os volumes foram medidos usando seringas SGE e frascos para CG novos. O peso das soluções foi conferido após um período sem uso, a fim de se verificar uma variação no peso que pudesse caracterizar uma mudança na concentração e com isso, invalidasse a solução.

Utilizando as soluções padrão foram determinadas as curvas de calibração:

- Benzeno: $Y=2001,71X+169,29$ ($R^2 = 0,998$),
- Tolueno: $Y=2436,16X+192,83$ ($R^2 = 0,997$),
- Etilbenzeno: $Y=2755,89X-536,31$ ($R^2 = 0,998$),
- *m,p*-Xilenos: $Y=5356,56X-481,42$ ($R^2 = 0,998$) e
- *o*-Xileno: $Y=9942,41X+382,43$ ($R^2 = 0,999$).

A reprodutividade dos resultados foi conferida fazendo injeções de duplicatas das amostras e as diferenças foram sempre menores que 10%. Os brancos de campo foram preparados e manipulados da mesma maneira que as amostras, mas não foram conectadas na bomba.

Em todos os experimentos não foram encontrados contaminações no leito secundário e os brancos representaram menos de 5%, sendo subtraídos de todos os resultados das amostras.

Os Limites de Detecção (LD) e os Limites de Quantificação (LQ) foram calculados usando as equações (1) e (2).

$$LD = 3,3 (\sigma / S) \quad (1)$$

$$LQ = 10 (\sigma / S) \quad (2)$$

Onde, **S** é o coeficiente angular da equação da reta e σ é o desvio padrão obtido a partir da menor concentração dos compostos detectados na linha base do cromatograma.

Os LD obtidos para o benzeno, tolueno, etilbenzeno, *m+p*-xilenos e *o*-xileno foram, respectivamente, 5,3 ng m⁻³, 2,9 ng m⁻³, 3,0 ng m⁻³ e 1,0 ng m⁻³.

Os LQ para o benzeno, tolueno, etilbenzeno, *m+p*-xilenos e *o*-xileno foram, respectivamente, 16,1 ng m⁻³, 8,8 ng m⁻³, 1,5 ng m⁻³, 8,9 ng m⁻³ e 3,0 ng m⁻³. No apêndice A podem ser observadas as curvas de calibração para os BTEX.

A Figura 2.10 reproduz um cromatograma de uma amostra padrão de BTEX.

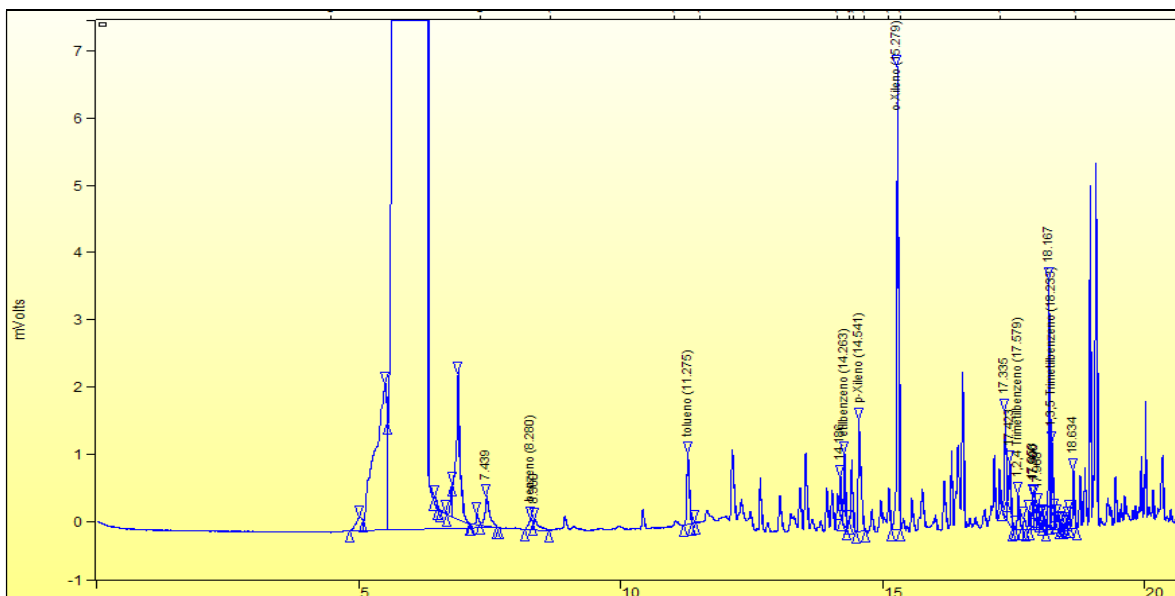


Figura 2.10 – Cromatograma de uma amostra padrão de BTEX analisada no CG CP 3800 com detector de ionização por chama (DIC).

2.6.2.2 COLETA DE AMOSTRAS UTILIZANDO A METODOLOGIA TO-11A

Basicamente a amostragem de carbonilas é descrita por diversos autores de duas maneiras: através de um frasco lavador (*impinger* ou *bubler*), também chamada de amostragem via úmida, e através de cartuchos com resinas, chamada de amostragem seca. Em ambos os tipos é utilizado um reagente específico para reagir com estes compostos. Estes reagentes diferem de acordo com os autores e os mais comuns são: 3-metil-1-(2,4-dinitrofenil hidrazina) (BUIDT, 1997) e 2,4-dinitrofenil hidrazina (DNPH) (GUIMARÃES, 2009).

Neste trabalho foi utilizado o segundo reagente. Este método é o mais empregado, pois nele cartuchos com resina C-18 são impregnados com solução de DNPH, permitindo determinar o maior número de carbonilas, em concentrações bem menores que os outros métodos. Os cartuchos utilizados neste trabalho são apresentados na Figura 2.11.



Figura 2.11 – Cartuchos com resina C-18.

Após a realização de todas as amostragens, cada cartucho foi devidamente preparado e analisado por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) (Agilent 1100), no Laboratório de Química Atmosférica e Poluição – IQ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, como se pode observar na Figura 2.12.



Figura 2.12 – Cromatógrafo Líquido Agilent 1100 utilizado para as análises dos aldeídos.

As condições de análise por CLAE são apresentadas a seguir:

- A coluna cromatográfica: C-18: Nucleosil 100-5, 4 x 250 mm x 54 μm , além de uma pré-coluna de C-18;
- Volume de injeção: 10 μL , injeção automática;
- Fase móvel: modo gradiente (0-3 min 55% de acetonitrila e 45% de água; 3-5 min 57% de acetonitrila e 43% de água; 5-20 min 70% de acetonitrila e 30% de água);
- Vazão da bomba: 1,5mL min^{-1}
- Tempo total da análise: 20 minutos. Esta foi a vazão em que a separação cromatográfica apresentou uma melhor definição dos picos cromatográficos.

2.6.2.2.1 A CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE CALIBRAÇÃO

O padrão cromatográfico com as hidrazonas correspondentes aos diferentes aldeídos foi adquirido comercialmente, na concentração de $105 \mu\text{g mL}^{-1}$ (TO11/IP6A Carbonyl DNPH Mix Supelco). O padrão foi composto de hidrazonas de formaldeído, acetaldeído, acroleína, acetona, propionaldeído, crotonaldeído, butiraldeído, benzaldeído, isovaleraldeído, valeraldeído, *o*-tolualdeído, *m*-tolualdeído, *p*-tolualdeído, hexaldeído e 2,5-dimetilbenzaldeído. Foram feitas diluições para obter sete padrões em diferentes concentrações, próximas das que se espera encontrar na atmosfera analisada. A partir da solução mãe foram obtidas as sete soluções com as concentrações de 0,21; 0,42; 0,63; 0,84; 1,05; 2,10 e 3,15 mg L^{-1} .

Utilizando as soluções padrão foram determinadas as seguintes curvas de calibração:

- Formaldeído: **$Y=39,78X+1,61$** ($r^2=0,999$),
- Acetaldeído: **$Y=27,38X+0,19$** ($r^2=0,999$),
- Propionaldeído: **$Y=21,17X+0,94$** ($r^2 = 0,998$),
- Crotonaldeído: **$Y=14,37X+0,86$** ($r^2 = 0,997$),
- Butiraldeído: **$Y=17,56X+0,97$** ($r^2 = 0,998$),
- Benzaldeído: **$Y=9,06X+0,55$** ($r^2 = 0,996$),
- Isovaleraldeído: **$Y=10,98X+0,41$** ($r^2 = 0,998$),
- Valeraldeído: **$Y=6,15X-0,93$** ($r^2 = 0,998$),
- *o*-Tolualdeído: **$Y=12,22X+0,67$** ($r^2= 0,998$),
- *m+p*-Tolualdeído: **$Y=20,07X+0,61$** ($r^2 = 0,998$) e
- Hexaldeído: **$Y=12,51X+0,40$** ($r^2 = 0,998$).

No apêndice B podem ser observadas as curvas de calibração para todos os aldeídos.

A Figura 2.13 apresenta o cromatograma padrão de aldeídos.

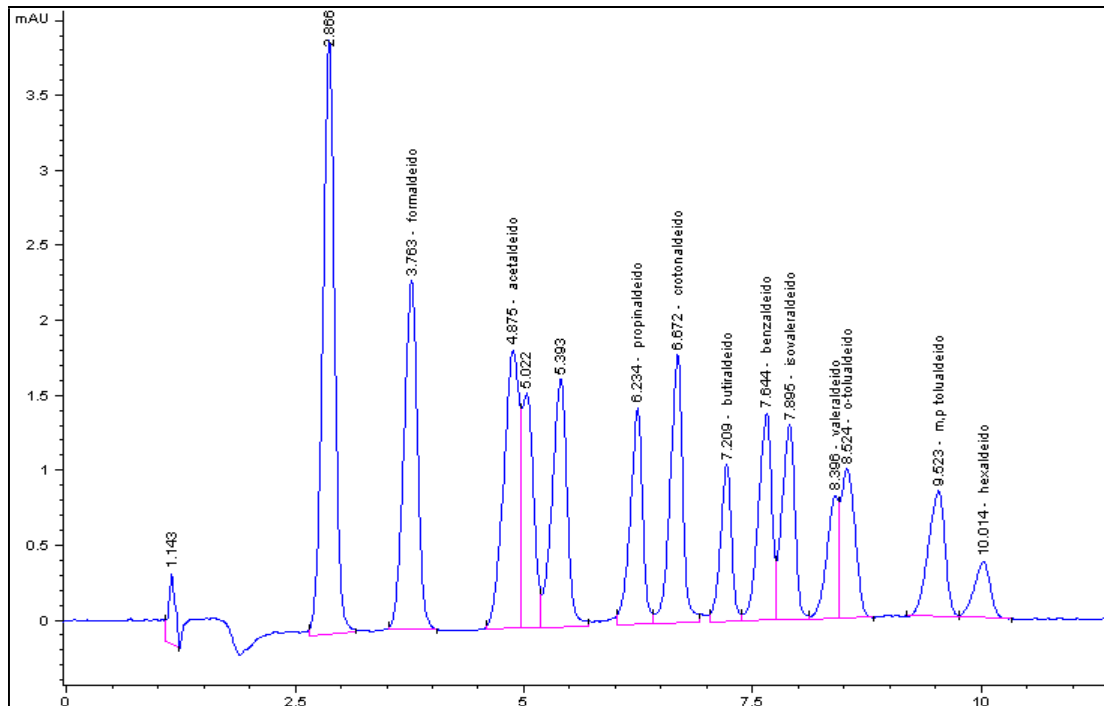


Figura 2.13 – Cromatograma dos padrões de aldeídos analisados.

2.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS OBTIDOS

As medidas obtidas após a queima dos corpos de prova, bem como os dados obtidos do ensaio de emissões gasosas (determinações das concentrações obtidas para BTEX e aldeídos) foram analisados utilizando-se a análise estatística descritiva.

2.7.1 A ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA

A estatística descritiva baseia-se na análise exploratória das informações sobre as características numéricas da amostra. Para as variáveis quantitativas é comum usar resumos numéricos para as medidas de tendência central e de dispersão (BARBETTA et al. 2004).

Na análise estatística descritiva, utilizou-se o gráfico-caixa ou *box-plot* (*Box & Whisker*) que é um diagrama onde são representados os dados obtidos (média, mediana, percentil, erro padrão, desvio padrão e intervalo de confiança) e indicados os valores anômalos como os *outliers* ou *extremes* que aparecerão fora do gráfico, quando houver.

Graficamente, o *box-plot* consiste em uma caixa onde o valor central é a média. A altura da caixa é igual à média adicionada e subtraída de um erro padrão. A amplitude dos dados é representada por uma linha, que corresponde aos limites mínimos e máximos (*lower bound* e *upper bound*) e indica respectivamente o intervalo em que a média se encontra. Esses limites foram calculados com 95% de intervalo de confiança (BARBETTA et al. 2004).

Neste trabalho foi utilizado o programa *STATISTICA* versão 7.0 para Windows®. O gráfico de *box-plot* foi construído da seguinte maneira:

- 1º: Calculou-se a mediana, o quartil inferior (Q1) e o quartil superior (Q3);
- 2º: Subtraiu-se o quartil superior do quartil inferior = (L);
- 3º: Os valores que estiverem no intervalo de $Q3+1,5L$ e $Q3+3L$ e no intervalo $Q1-1,5L$ e $Q1-3L$, foram considerados *outliers* e;
- 4º: Os valores maiores que $Q3+3L$ e menores que $Q1-3L$ foram considerados suspeitos de pertencer à população. Estes pontos foram chamados de extremos.

Pode-se observar na Figura 2.18 um diagrama *box-plot* típico, cujo quadrado menor, no interior da caixa, representa a localização da mediana dos dados. A linha inferior da caixa representa a localização do primeiro quartil (Q1) e a linha superior da caixa representa o terceiro quartil (Q3). A linha vertical inferior representa os 25% dos dados inferiores e liga a localização do Q1, com o valor mínimo representado pela linha horizontal inferior. Da mesma forma, os 25% dos dados superiores estão representados pela linha vertical superior e o valor máximo pela linha horizontal superior. Essas linhas são chamadas de *Whiskers*. Os pontos indicados com círculo correspondem aos *outliers*, dados que diferem

em $\pm 1,5$ do desvio padrão e não foram considerados para o cálculo dos valores utilizados para construir o *box-plot* (LEVINE et al. 2000).

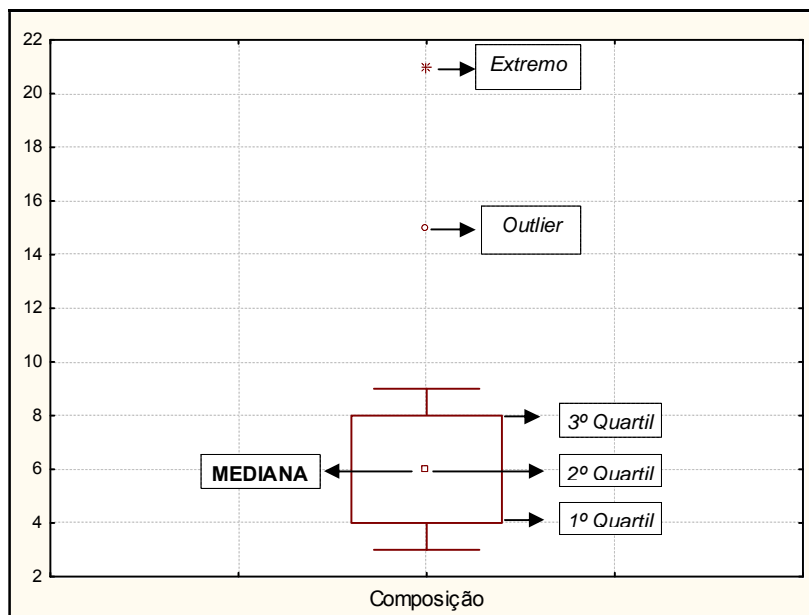


Figura 2.14 – Representação gráfica de resultados experimentais usando um diagrama *box-plot*.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

3.1.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Foram realizadas análises granulométricas dos resíduos de tijolos pulverizados e das microesferas de vidro. As amostras foram peneiradas mecanicamente, apresentando uma distribuição granulométrica, como pode ser vista na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Análise granulométrica das matérias-primas.

Peneira (mesh)	Diâmetro (mm)	% acumulado de resíduos de tijolos	% acumulado de microesferas de vidro
115	0,125	70,3	—
170	0,088	79,3	10,3
200	0,074	87,8	16,8
250	0,062	97,3	—
270	0,053	98,8	42,0
325	0,045	99,7	91,8
400	0,038	—	92,9
Fundo	—	100,0	100,0

3.1.2 CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR

3.1.2.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade determinado para as matérias-primas foi de 0,85 e 0,13% para os resíduos de tijolos e para as microesferas de vidro, respectivamente. Estes resultados indicaram que tais materiais já se encontravam praticamente secos.

3.1.2.2 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

3.1.2.2.1 ANÁLISE POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX)

A Tabela 3.2 mostra a composição química presente nos resíduos de tijolos e nas microesferas de vidro.

Tabela 3.2 – Composição química elementar das matérias-primas.

Determinações	Resíduos de tijolos (% em peso)	Microesferas de vidro (% em peso)
SiO ₂	53,434	90,573
Al ₂ O ₃	34,331	1,281
CaO	—	2,767
Fe ₂ O ₃	8,668	1,073
K ₂ O	1,646	0,310
MgO	0,539	0,970
Na ₂ O	—	3,025
TiO ₂	1,383	—

Para os resíduos de tijolos observou-se um alto teor de sílica (SiO₂) e alguma alumina (Al₂O₃), uma vez que a argila natural que deu origem ao tijolo já

sofreu um processo de queima. Já para as microesferas de vidro observa-se um alto teor de sílica, decorrente de resíduos de areia também utilizados na câmara de jateamento, bem como da sílica do próprio material.

3.1.2.2.2 ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)

A Figura 3.1 mostra os difratogramas dos resíduos de tijolos e das microesferas de vidro.

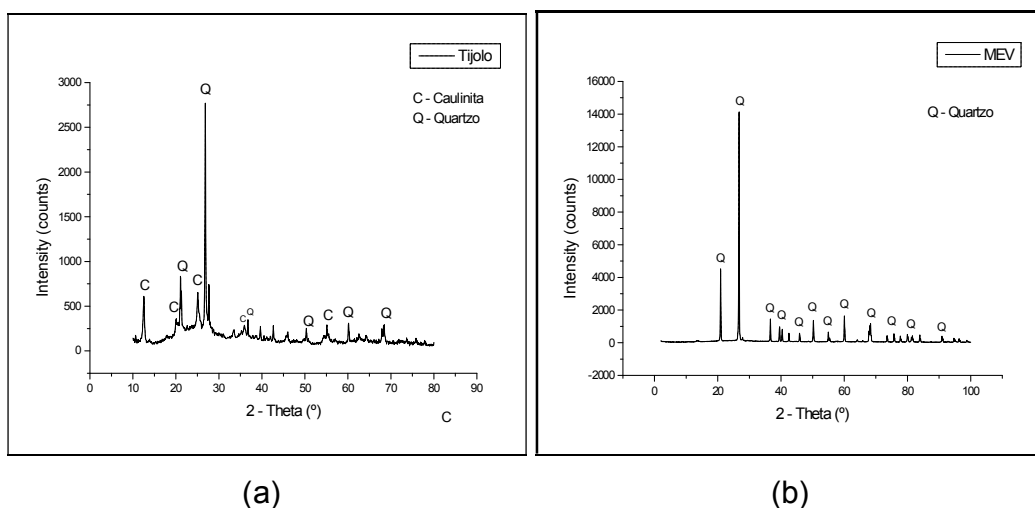


Figura 3.1 – Difratograma dos resíduos de tijolos (a) e microesferas de vidro (b).

Baseado nos difratogramas da Figura 3.1 pode-se observar que os resíduos de tijolos foram compostos por caulinite (JCPAS-29-1488) e quartzo (JCPAS – 46-1045), típicos de argilas que são utilizadas na fabricação de tijolos. Nas microesferas de vidro foram compostas de quartzo, características dos vidros.

3.1.2.2.3 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A análise microestrutural dos resíduos de tijolos e das microesferas de vidro estão ilustradas na Figura 3.2.

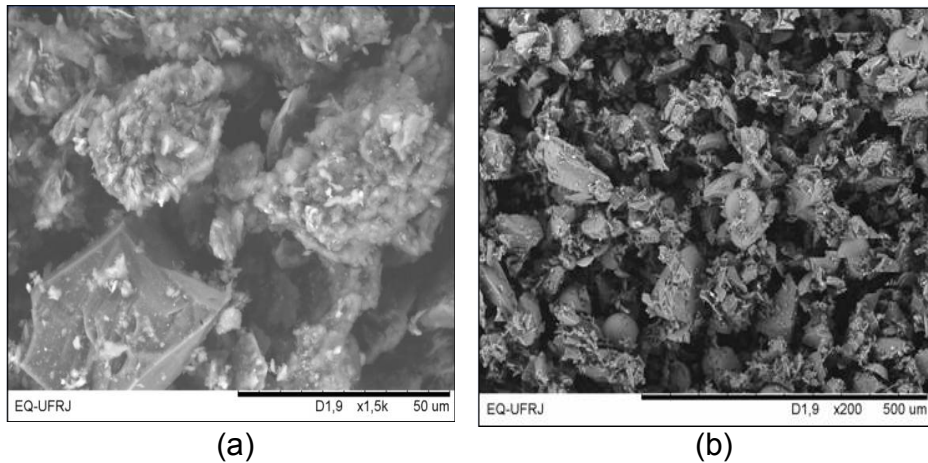


Figura 3.2 – Fotomicrografia das matérias-primas: a – resíduos de tijolos (aumento de 1500X) e b – microesferas de vidro (aumento de 200X).

Na fotomicrografia dos resíduos de tijolos é possível observar uma estrutura heterogênea de natureza densa e formato irregular de caulinita, não bem cristalina. As superfícies mais claras são um indicativo da possível presença de ferro. Na fotomicrografia das microesferas de vidro nota-se um aspecto heterogêneo, formado por algumas poucas e minúsculas esferas maciças, bem como partículas de formatos irregulares, provavelmente causadas pelos choques gerados durante a sua utilização na câmara de jateamento.

3.1.2.2.4 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ÓPTICA

A Figura 3.3 apresenta a fotomicrografia obtida por microscopia óptica, sendo possível visualizar os cristais de quartzo em ambas as amostras.

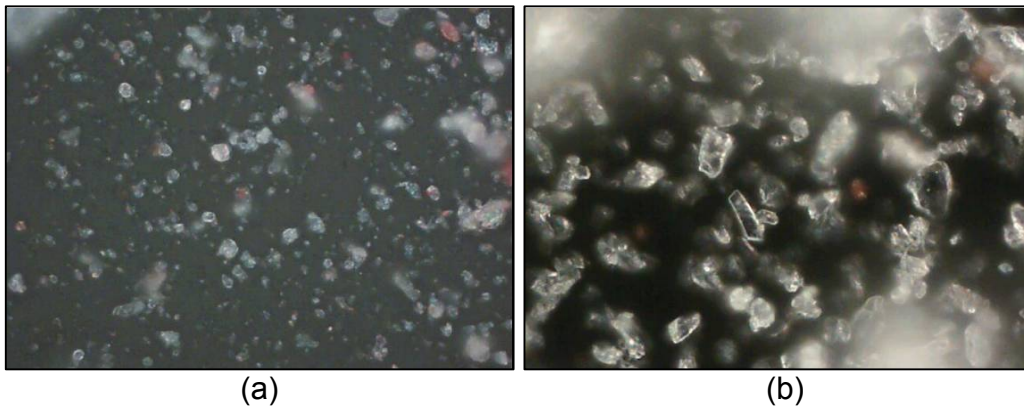


Figura 3.3 – Fotomicrografia das matérias-primas: a – resíduos de tijolos; b – microesferas de vidro (aumento de 500X).

3.2 AVALIAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA APÓS A QUEIMA

3.2.1 ANÁLISE VISUAL DO ASPECTO SUPERFICIAL

Observou-se que logo após a compactação dos corpos de prova, estes apresentaram coloração semelhante nas diferentes composições, entretanto depois da queima houve alteração na cor. Em decorrência da temperatura observou-se que as composições com alto teor de microesferas de vidro, apresentaram clareamento acentuado em todas as temperaturas de queima conforme mostra a Figura 3.4.

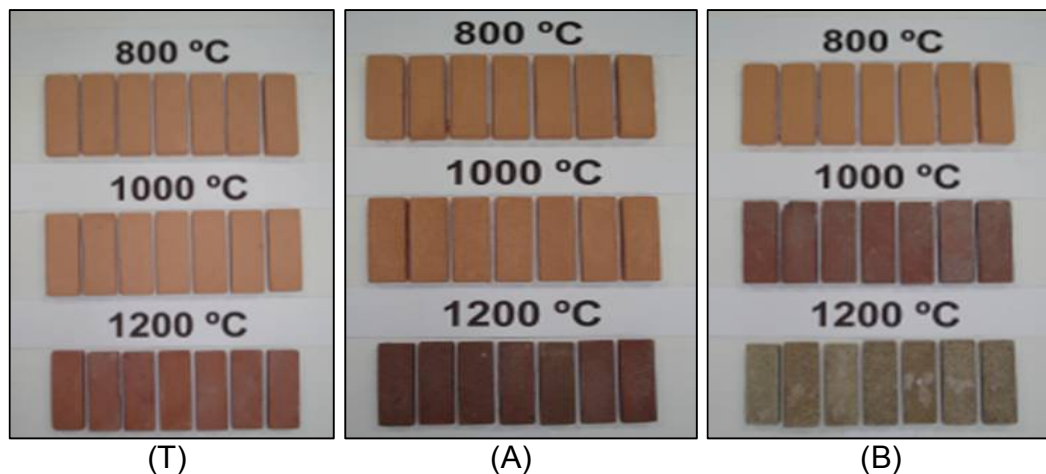


Figura 3.4 – Corpos de prova após a queima em diferentes temperaturas. **T** (100% resíduos de tijolos), **A** (75% resíduos de tijolos + 25% de microesferas de vidro), e **B** (25% de resíduos de tijolos + 75% de microesferas de vidro).

Observou-se que as diferentes colorações ocorreram após o processo de queima nas diferentes temperaturas. Na avaliação de Casagrande (2002), a cor de um material queimado depende dos conteúdos em óxidos corantes presentes na composição, principalmente de óxidos de ferro.

3.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS CORPOS DE PROVA

As variações de comportamento das diferentes composições no que tange às propriedades físico-mecânicas, em função da temperatura de queima são apresentadas na Tabela 3.3. Os resultados experimentais, os quais deram origem aos dados da Tabela 3.3, encontram-se nos apêndices C, D, E, F, G e H.

Tabela 3.3 – Valores médios dos testes físico-mecânicos.

Temperatura de queima °C	Resíduos						
	de Tijolos (%)	RL (%)	RV (%)	AA (%)	PA (%)	D (g/cm ³)	TRF (kgf/cm ²)
800 °C	100	0,07	0,84	29,92	44,06	1,48	ND
	75	0,17	1,87	25,41	38,93	1,55	ND
	25	0,02	1,99	23,45	36,57	1,56	ND
1000 °C	100	0,92	2,92	28,26	43,06	1,52	4,51
	75	1,40	5,89	22,77	36,82	1,62	3,25
	25	1,83	5,88	20,17	33,16	1,64	34,89
1200 °C	100	5,95	15,85	17,96	32,25	1,79	27,69
	75	5,88	16,99	13,55	25,20	1,86	17,86
	25	2,81	9,22	17,72	30,14	1,72	24,86

RL – Retração Linear

RV – Retração Volumétrica

AA – Absorção de Água

PA – Porosidade Aparente

D – Densidade

TRF – Tensão de Ruptura à Flexão

ND – Não disponíveis

Os resultados das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos produzidos em função da quantidade de resíduos de tijolos e de microesferas de vidro e, da temperatura de queima estão representados a seguir graficamente.

A Figura 3.5 apresenta os valores obtidos da Retração Linear (RL) e Retração Volumétrica (RV).

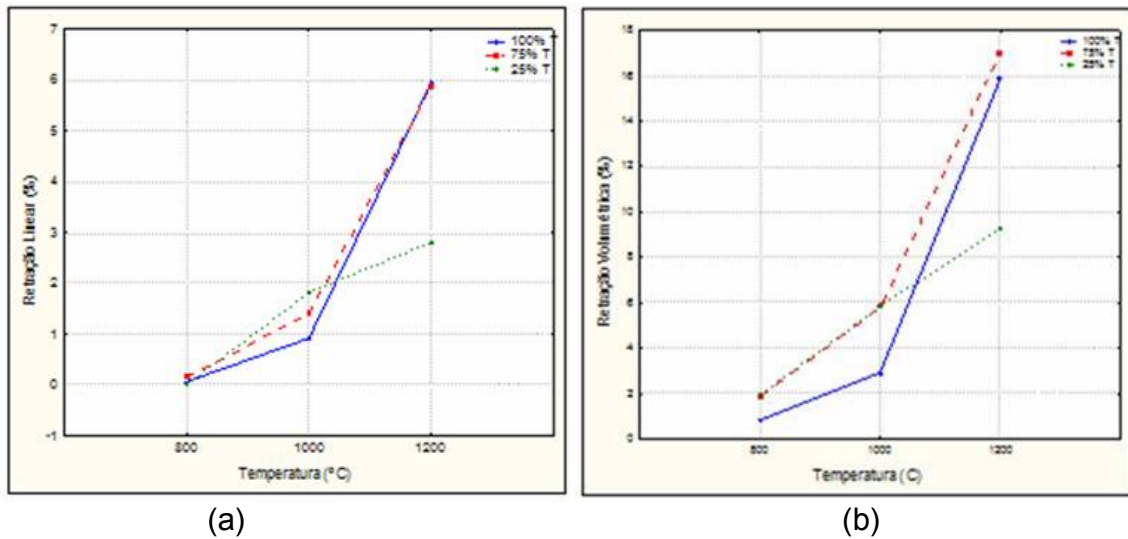


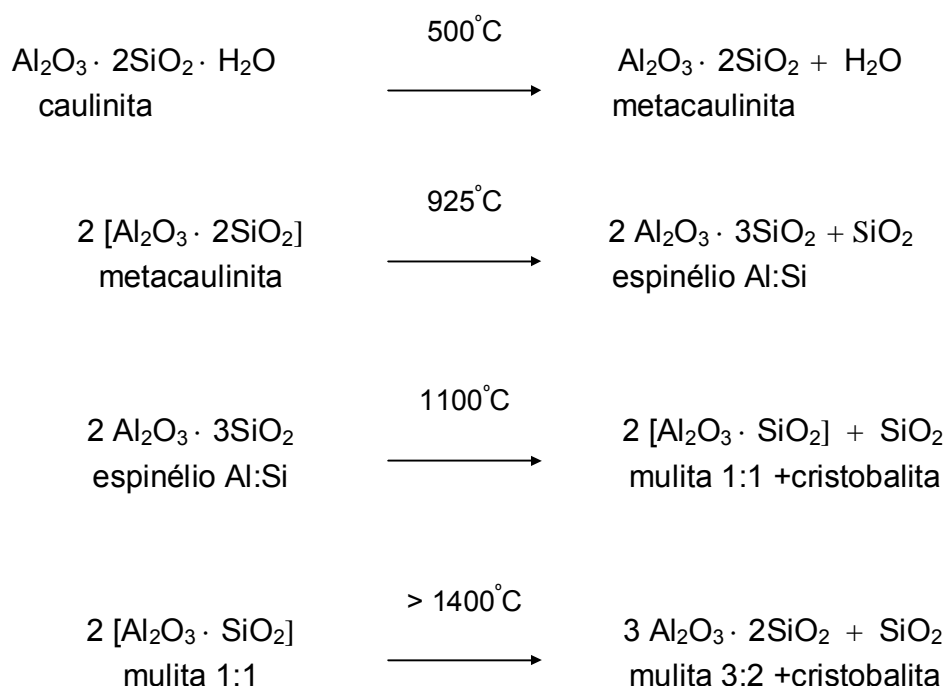
Figura 3.5 – Retração Linear (a) e Retração Volumétrica (b) das massas cerâmicas de acordo com as temperaturas de queima.

Pôde-se observar que para a temperatura de queima a 800 °C, tanto a RL como a RV foram desprezíveis para os corpos de prova preparados. Para a temperatura de 1000 °C verificou-se um aumento da RL e RV, sendo mais significativo para os corpos de prova contendo o resíduo de microesferas de vidro. Percebeu-se ainda, que para os corpos de prova contendo 100% de resíduos de tijolos e a menor quantidade de microesferas de vidro, 25%, na temperatura de 1200 °C observou-se praticamente o mesmo comportamento apresentado nesta temperatura.

Quando materiais à base de argilas são aquecidos à uma faixa de temperatura de 1000-1200 °C, algumas reações complexas e intrincadas podem ocorrer. Uma dessas reações é a vitrificação que consiste na formação gradual de um vidro líquido que flui para o interior do corpo de prova e preenche parte do volume dos poros. O grau de vitrificação depende da temperatura e do tempo de queima, assim como da composição da massa cerâmica. Essa fase tende a escoar ao redor das partículas que permanecem sem fundir e preenchem os poros como resultado de forças de tensão superficial (ou por ação capilar). Uma contração também acompanha esse processo (CALLISTER, 2007).

Segundo Souza Santos (1975) a retração de queima da caulinita atinge o valor máximo a 950 °C, a vitrificação se inicia entre 950 e 1225 °C devido a liberação de cristobalita (SiO₂), que irá reagir com os óxidos metálicos livres, formando vidro.

As sequências de reações de transformação da caulinita nesta faixa de temperatura são:



Deste modo para os corpos com maior teor de microesferas de vidro, a variação da RL ou RV está limitada a essa reação de vitrificação. Ao passo que para as massas cerâmicas com maior percentual de resíduos de tijolos, além desta reação, as transformações de fases mineralógicas presentes ocasionam a aproximação das partículas entre si, refletindo-se no aumento da RL e RV.

A Figura 3.6 apresenta os valores obtidos da Absorção de Água (AA) e da Porosidade Aparente (PA).

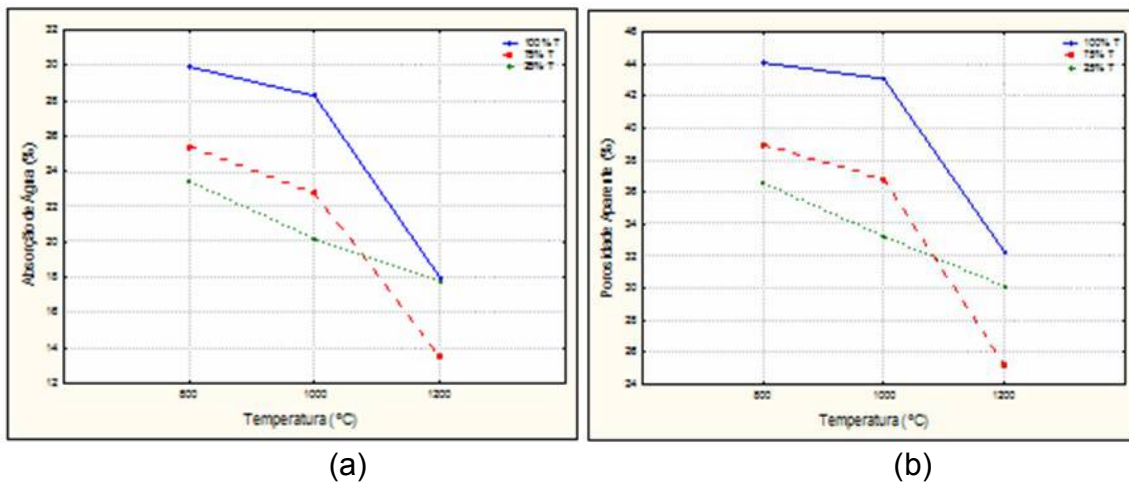


Figura 3.6 – Absorção de Água (a) e Porosidade Aparente (b) das massas cerâmicas de acordo com as temperaturas de queima.

Analisando os dados na faixa de temperatura de 800 a 1000°C, apesar de não se observar uma variação da RL e RV para a temperatura de 800 °C e apenas uma pequena variação à 1000°C, os dados da Figura 3.6 mostram uma diminuição da porosidade à medida que o teor de resíduo de microesferas de vidro na composição aumenta.

Provavelmente esse comportamento pode estar relacionado ao início do processo de vitrificação decorrente da presença das microesferas de vidro, que não teria intensidade suficiente para influenciar na retração da peça, mais sensível ao processo de absorção de água. Na temperatura de 1200 °C observou-se o mesmo comportamento.

Pelos difratogramas dos resíduos utilizados na confecção dos corpos de prova (Figura 3.1) pôde-se verificar que os resíduos de tijolos foram compostos por caulinita ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) e quartzo (SiO_2) e as microesferas de vidro, compostas por quartzo (SiO_2).

A mudança de temperatura (800, 1000 e 1200 °C) proporcionou transformações nos cristais. Um exemplo deste tipo de transformação ocorre com a sílica. Há pelo menos seis formas de sílica, além da possibilidade de ocorrer à dissolução de seus grãos, formando uma fase vítrea (CALLISTER, 2007).

Nos resíduos de tijolos na temperatura de 500 °C ocorre o início da transformação da caulinita em metacaulinita (amorfa). Deste modo, as massas cerâmicas preparadas com maior teor de resíduos de tijolos, irão apresentar além da mudança de fase da caulinita e do quartzo presente no resíduo, a mudança de fase da sílica proveniente das microesferas de vidro, provocando uma diminuição mais acentuada da porosidade.

A Figura 3.7 apresenta os valores obtidos da Densidade (D).

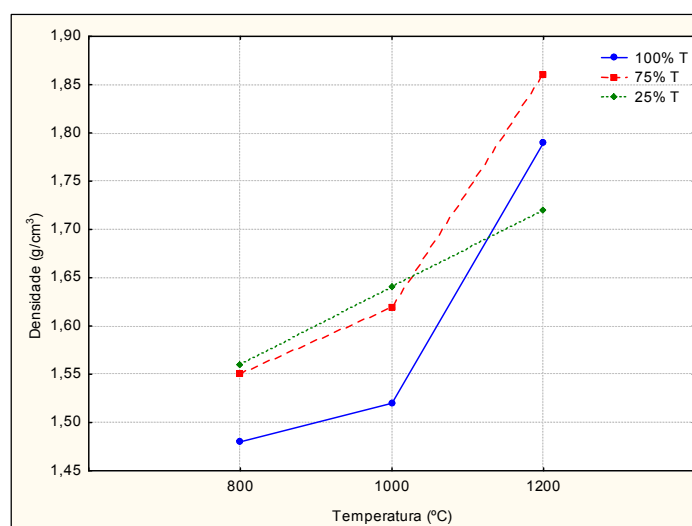


Figura 3.7 – Densidade das massas cerâmicas de acordo com as temperaturas de queima.

Na Figura 3.7 observa-se que até a temperatura de 1000 °C, a presença do resíduo de microesferas de vidro na massa cerâmica acarretou um aumento da densidade para as massas cerâmicas preparadas.

A partir desta temperatura observou-se um aumento mais acentuado para a massa cerâmica contendo apenas resíduos de tijolos. Como dito no item anterior, este comportamento pode ser atribuído à formação da fase vítrea, bem como a recristalização da caulinita em mulita.

Para todas as massas cerâmicas preparadas e queimadas à temperatura de 800 °C, não foi possível realizar as determinações de Tensão de Ruptura à

Flexão (TRF) para os corpos de prova produzidos, pois estes não apresentaram a mínima resistência para este ensaio.

Os dados obtidos na queima de 1000 e 1200 °C estão apresentados na Figura 3.8. Observa-se que para as composições com 75% e 100% de resíduos de tijolos, verificou-se um aumento na TRF à medida que a temperatura aumentou. Enquanto que na composição com 25% de resíduos de tijolos, o comportamento foi o inverso, ou seja, à medida que a temperatura aumentou sua TRF diminuiu.

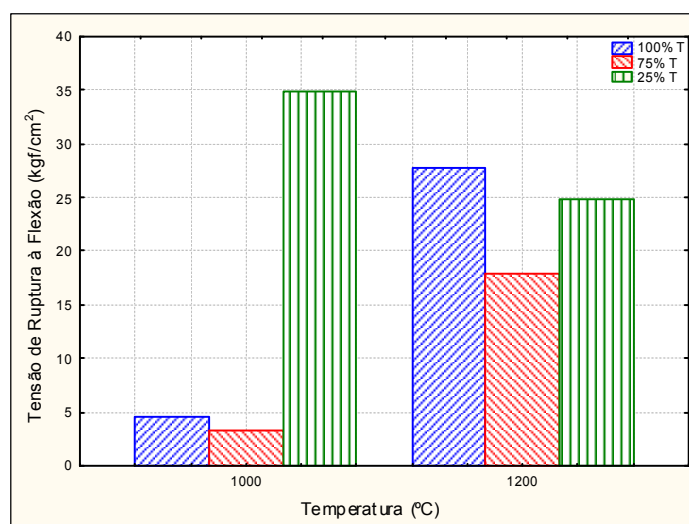


Figura 3.8 – Tensão de ruptura à flexão das massas cerâmicas de acordo com as temperaturas de queima.

Uma explicação para este comportamento possivelmente deve-se à alteração dos cristais de cristobalita em sílica amorfa nas amostras queimadas à 1200 °C, ocasionando a diminuição da TRF.

A análise por microscopia óptica do material contendo 100% de resíduos de tijolos queimados à 1000 e 1200 °C pode ser observada na Figura 3.9.

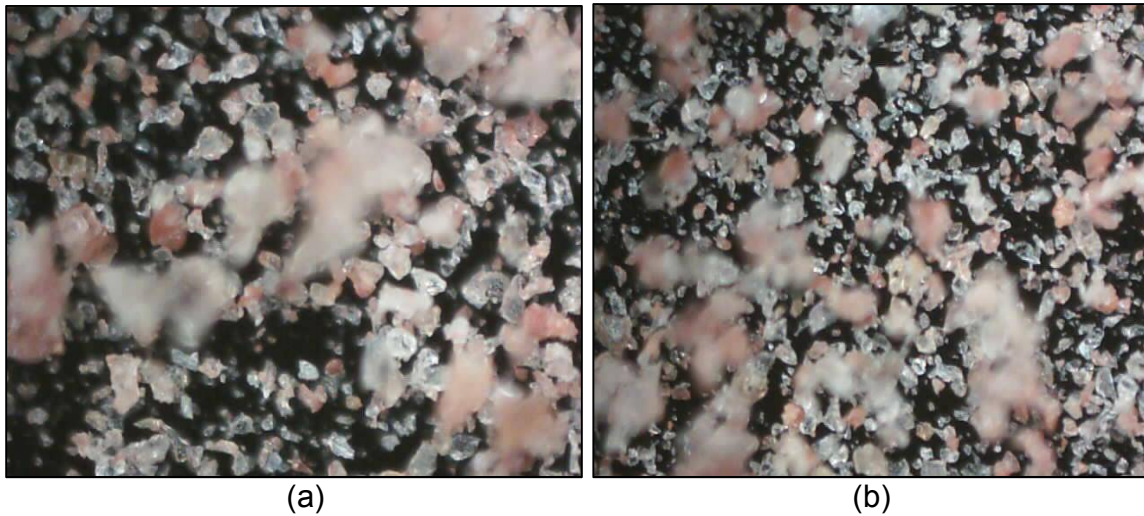


Figura 3.9 – Fotomicrografia óptica das massas cerâmicas contendo 100% de resíduos de tijolos queimados à 1000 °C (a) e 1200 °C (b) (aumento de 500X).

Na fotomicrografia óptica das massas cerâmicas contendo 100% de resíduos de tijolos é possível observar que os cristais de quartzo para massa queimada à 1000 °C apresentaram um espaçamento maior entre eles do que a massa cerâmica queimada à 1200 °C, compatibilizando com o resultado de TRF encontrado.

3.4 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DAS MASSAS CERÂMICAS APÓS A QUEIMA

3.4.1 ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)

A Figura 3.10 mostra os difratogramas de raios-X das massas cerâmicas contendo apenas resíduos de tijolos após a queima.

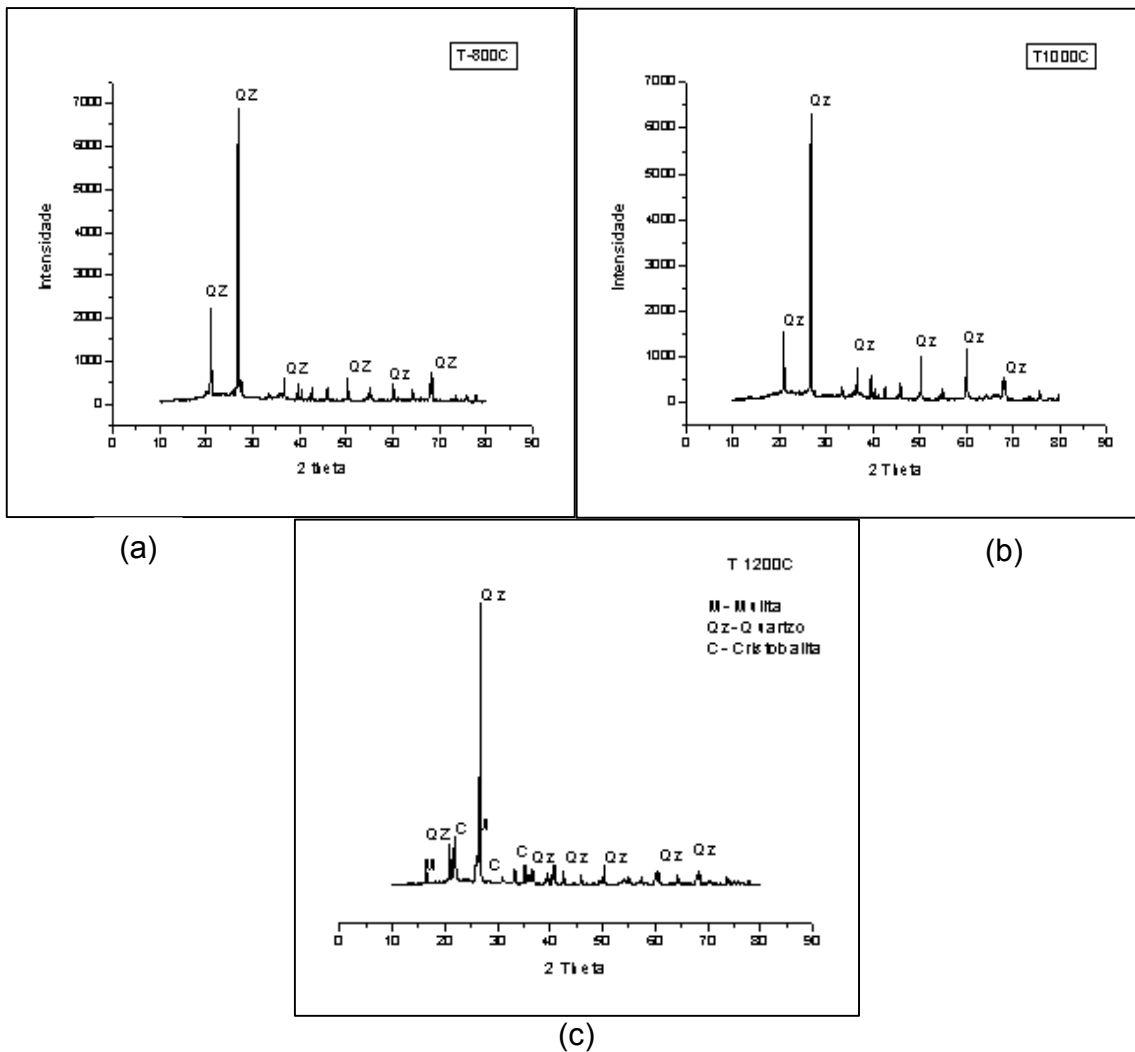


Figura 3.10 – Difratoograma das massas cerâmicas contendo 100% de resíduos de tijolos queimados à temperatura de (a) 800 °C, (b) 1000 °C e (c) 1200 °C.

Nos difratogramas da massa cerâmica queimada à temperatura de 800 e 1000 °C pode-se observar a ausência do pico da caulinita, presente na sobras de resíduos de tijolos antes da queima (Figura 3.1), pois nesta temperatura já se deu o início da transformação da caulinita em metacaulinita (amorfa).

No difratograma da massa cerâmica queimada à temperatura de 1200 °C pode-se observar a presença de dois novos picos: mulita (JCPAS – 15-0776), proveniente da transformação da caulinita e, cristobalita (JCPAS – 39-1425), formada a partir da transformação do quartzo presente.

Na Figura 3.11 estão apresentados os difratogramas das massas cerâmicas contendo 75% de resíduos de tijolos e 25% de microesferas de vidro.

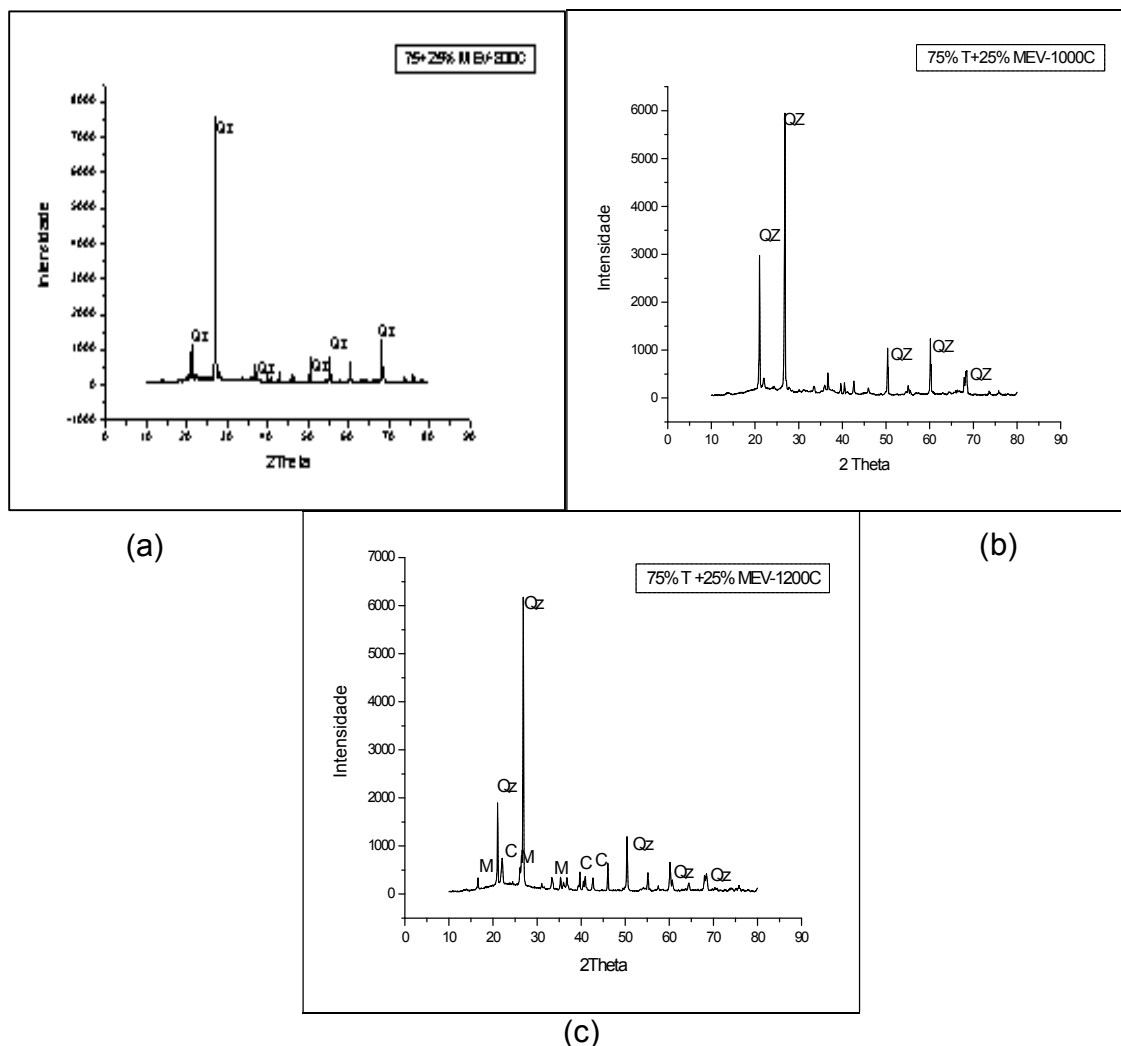


Figura 3.11 – Difratograma das massas cerâmicas contendo 75% de resíduos de tijolos e 25% de microesferas de vidro queimadas à temperatura de (a) 800 °C, (b) 1000 °C e (c) 1200 °C.

No difratograma resultante da queima à temperatura de 800 °C da mistura contendo 75% de resíduos de tijolos e 25% de microesferas de vidro verifica-se a presença de quartzo. No difratograma resultante da queima à 1000 °C, além do quartzo (JCPAS – 46-1045) observa-se o pico de cristobalita (JCPAS – 39-1425).

À temperatura de 1200 °C, observa-se o pico de mulita (JCPAS – 15-0776), cristobalita e quartzo.

A Figura 3.12 mostra os difratogramas das massas cerâmicas contendo 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro.

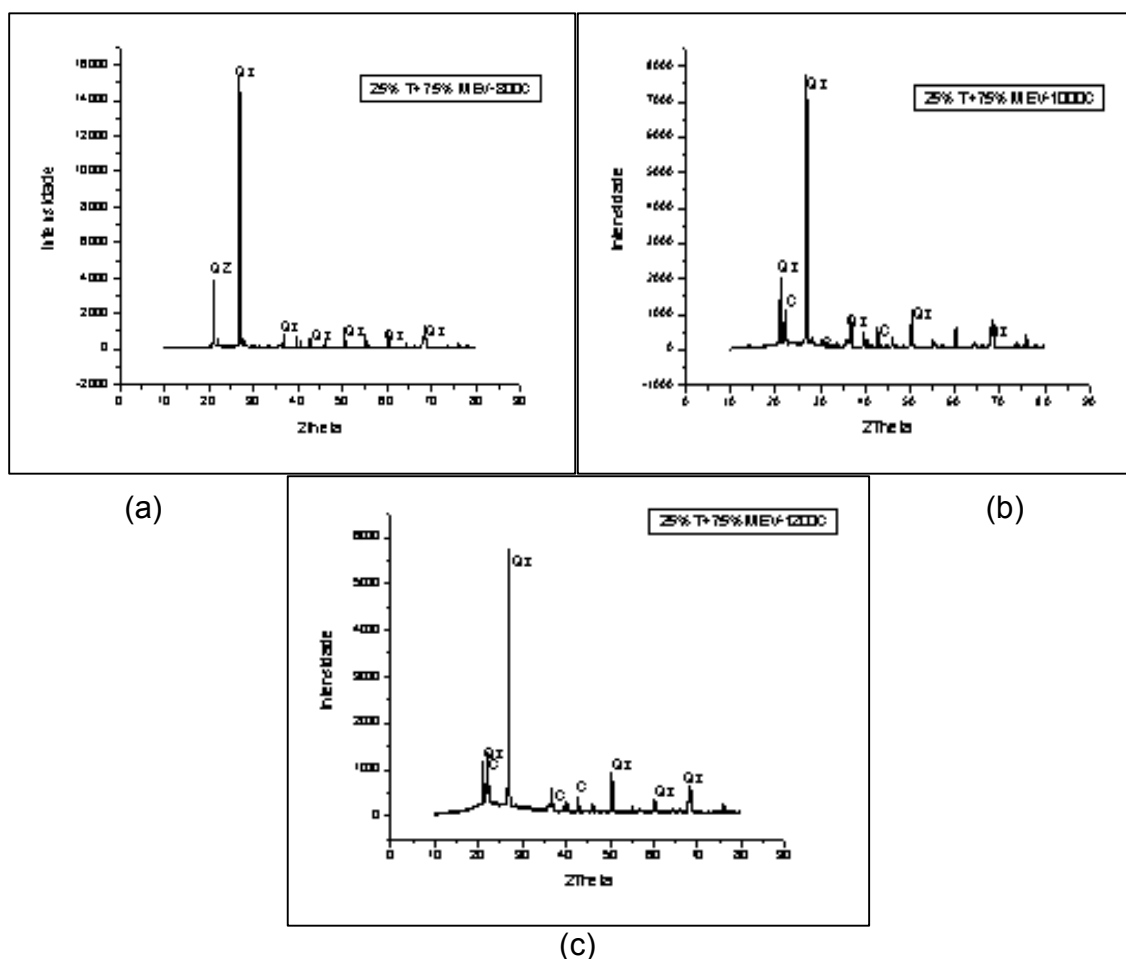


Figura 3.12 – Difratograma das massas cerâmicas contendo 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro queimadas à temperatura de (a) 800 °C, (b) 1000 °C e (c) 1200 °C.

No difratograma resultante da queima à temperatura de 800 °C da mistura contendo 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas verifica-se a presença de quartzo (JCPAS – 46-1045). No difratograma resultante da queima à 1000 e 1200 °C, além do quartzo, observa-se o pico de cristobalita (JCPAS – 39 -1425).

3.4.2 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA POR VARREDURA (MEV)

A análise microestrutural das massas cerâmicas após a queima à 1200°C estão apresentadas nas Figuras 3.13, 3.14 e 3.15.

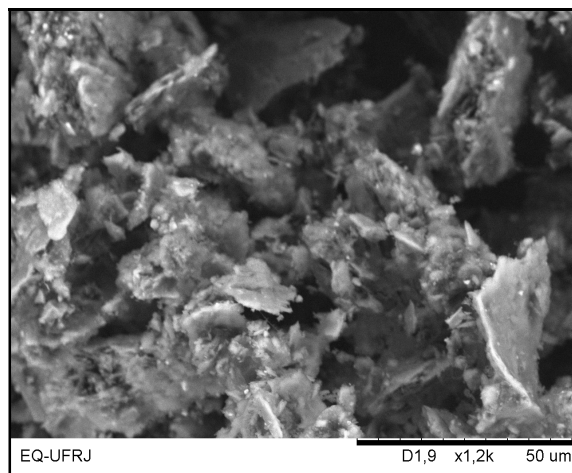


Figura 3.13 – Fotomicrografia da massa cerâmica contendo 100% de resíduos de tijolos queimados à 1200 °C por 3 horas (aumento de 1200X).

Na Figura 3.13 é possível observar um material poroso com partículas de tamanho variado. Observa-se também a presença de um material com aspecto denso não existente na massa cerâmica com a mesma composição, antes da queima (Figura 3.2).

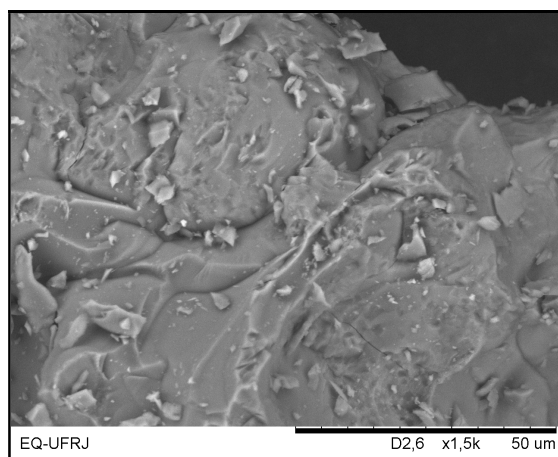


Figura 3.14 – Fotomicrografia da massa cerâmica contendo 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro após a queima à 1200 °C por 3 horas (aumento de 1500X).

Na Figura 3.14 é possível observar um material denso e pouco poroso. Conforme os experimentos de Kobayashi et al. (1992), em temperaturas elevadas acontece uma melhor queima da peça perto da superfície. A formação de uma camada densa próxima à esta superfície pode levar a um abrupto aumento da resistência mecânica em elevadas temperaturas.

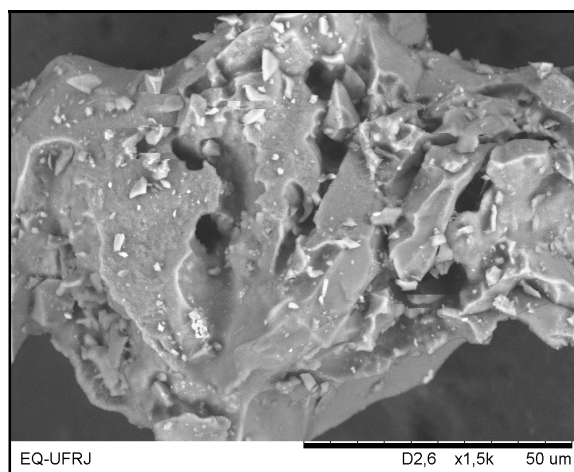


Figura 3.15 – Fotomicrografia da queima da mistura contendo 75% de resíduos de tijolos e 25% de microesferas de vidro após a queima à 1200 °C por 3 horas (aumento de 1500X).

Na Figura 3.15 é possível observar um material denso e pouco poroso, porém apresentando diversas cavidades.

3.5 A ANÁLISE DAS EMISSÕES GASOSAS LIBERADAS DURANTE A QUEIMA

3.5.1 BTEX (BENZENO, TOLUENO, ETILBENZENO, M,P-XILENOS E O-XILENO)

A Figura 3.16 apresenta os resultados da concentração média dos BTEX na faixa de temperatura entre 25 a 300 °C na composição contendo 100% de resíduos de tijolos.

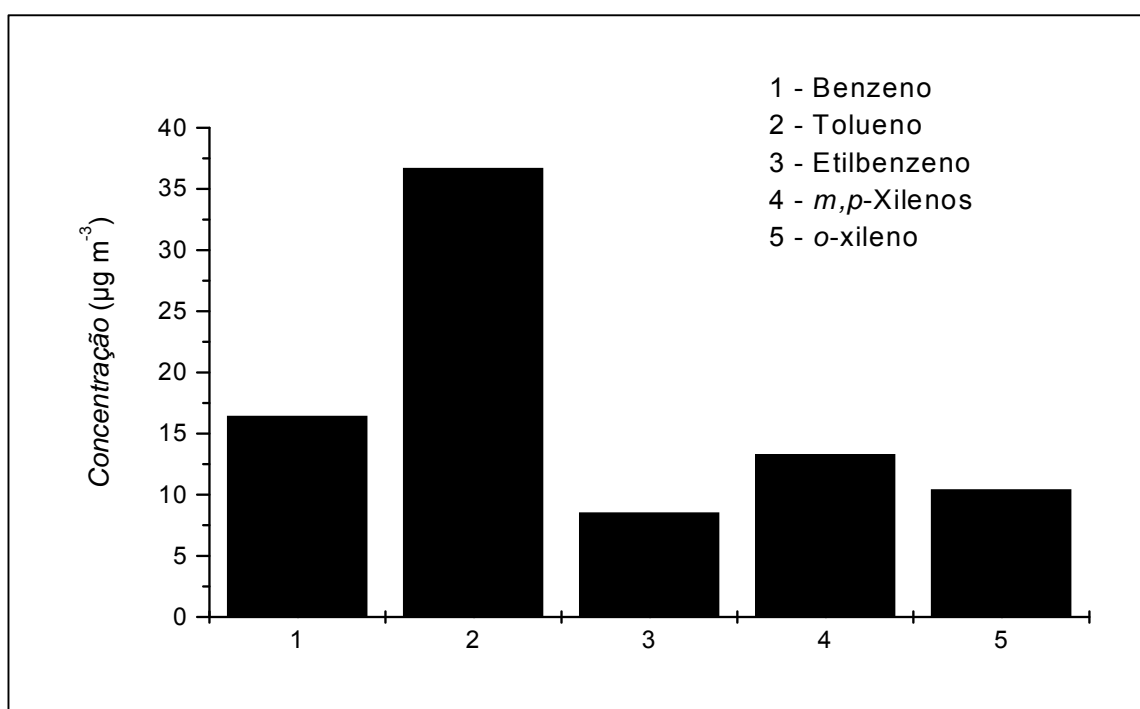


Figura 3.16 – Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra contendo 100% de resíduos de tijolos na faixa de temperatura de 25 a 300 °C.

Analisando a Figura 3.16, pode ser verificada a presença de todos os BTEX nesta faixa de temperatura, com uma concentração total de 85,5 µg m⁻³

O tolueno e o benzeno foram os compostos mais abundantes e responsáveis, respectivamente, por 43% e 19% da massa total obtida. Os xilenos foram responsáveis por aproximadamente 28% da massa total.

A Figura 3.17 apresenta os resultados da concentração média dos BTEX na faixa de temperatura entre 300 a 800 °C na composição contendo 100% de resíduos de tijolos.

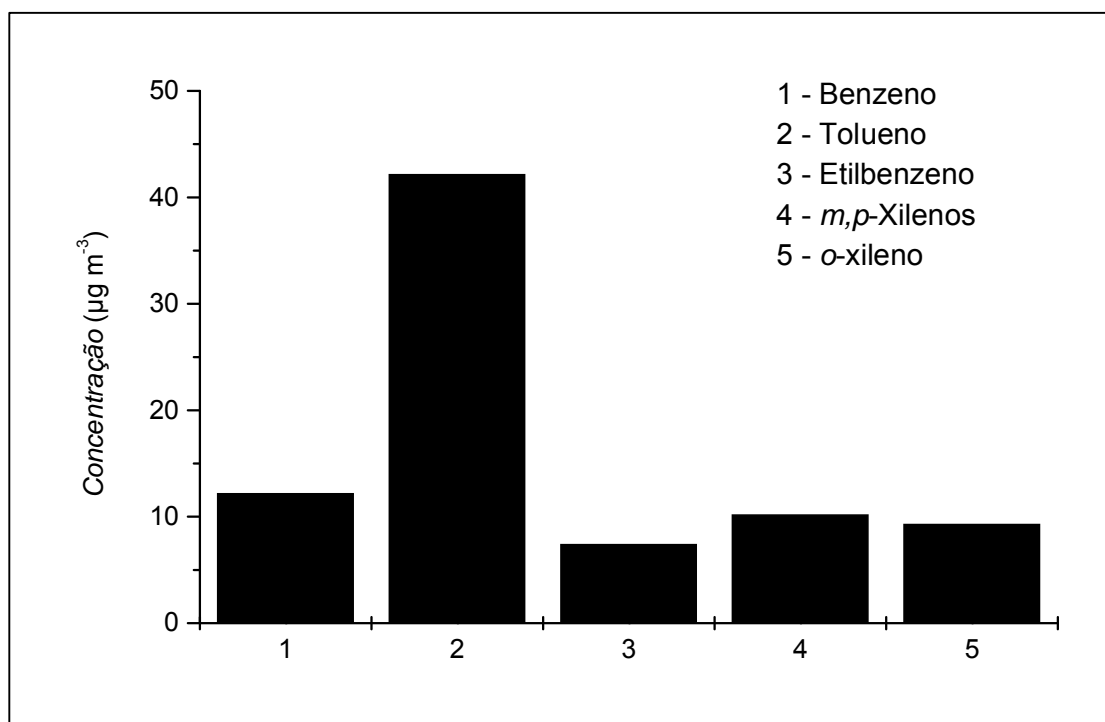


Figura 3.17 – Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra contendo 100% de resíduos de tijolos na faixa de temperatura de 300 a 800 °C.

Analisando a Figura 3.17, pode ser verificada a presença de todos os BTEX nesta faixa de temperatura, com uma concentração total de 81,4 µg m⁻³.

O tolueno e o benzeno foram os compostos mais abundantes e responsáveis, respectivamente, por 52% e 15% da massa total obtida. Os xilenos são responsáveis por aproximadamente 24% da massa total obtida.

Pôde ser observado que para esta faixa de temperatura, ocorreu maior emissão de tolueno se comparado com a faixa de temperatura de 25 a 300 °C.

A Figura 3.18 apresenta os resultados da concentração média dos BTEX no patamar de 800 °C na composição contendo 100% de resíduos de tijolos.

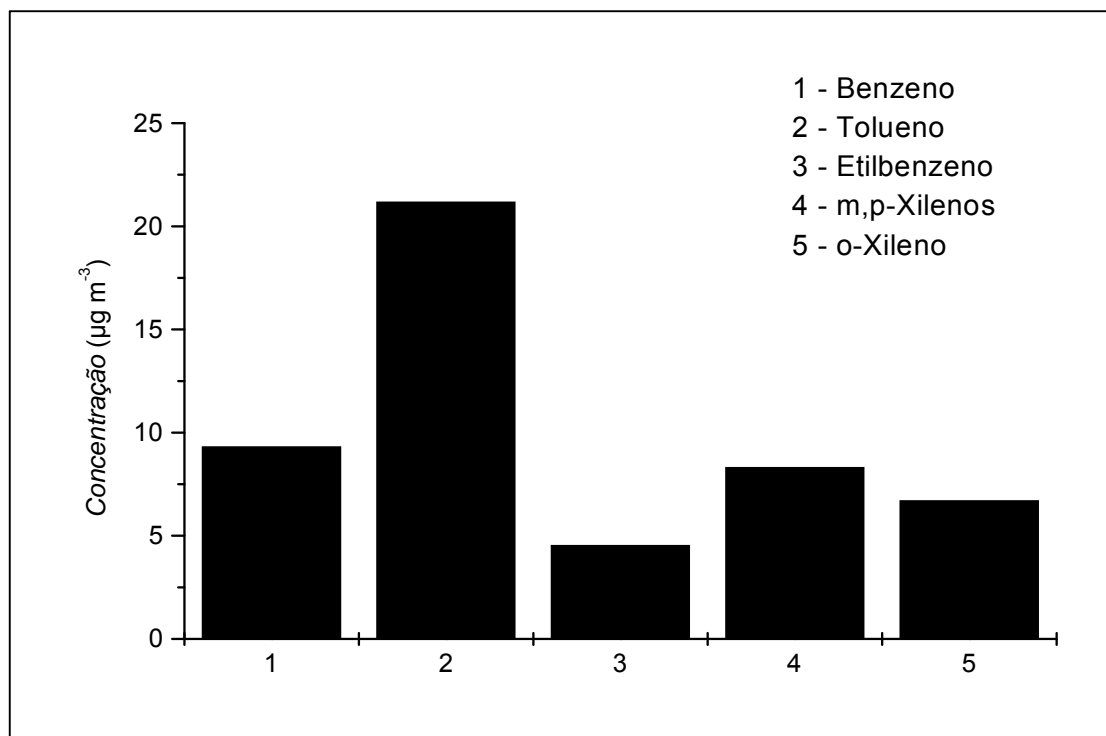


Figura 3.18 – Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra contendo 100% de resíduos de tijolos no patamar de 800 °C.

Analisando a Figura 3.18, pode ser verificada a presença de todos os BTEX no patamar de 800 °C, com uma concentração total de 50,1 µg m⁻³.

O tolueno e o benzeno foram novamente os compostos mais abundantes e responsáveis, respectivamente, por 42% e 19% da massa total obtida. Os xilenos foram responsáveis por aproximadamente 30% da massa total obtida.

Pode ser observado que à 800 °C ocorreu uma diminuição, em massa de BTEX emitidos para a atmosfera.

A Figura 3.19 apresenta os resultados da concentração média dos BTEX na composição de 100% de resíduos de tijolos durante todo o processo de queima (temperatura de 25 a 800 °C por 9 h).

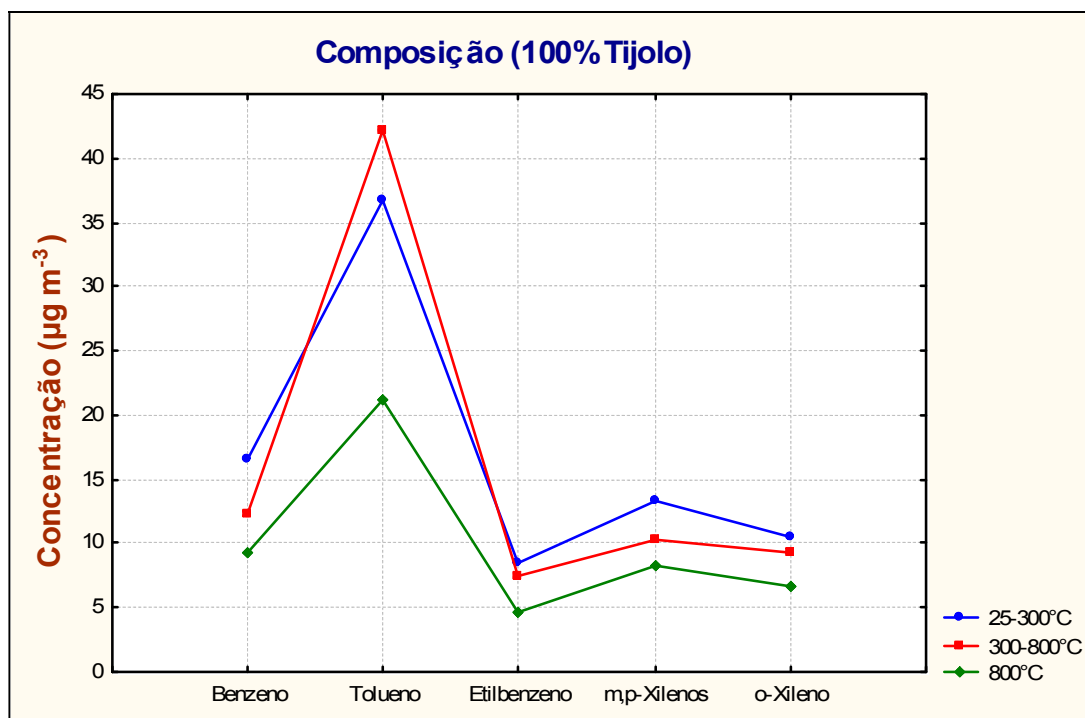


Figura 3.19 – Concentração média de BTEX determinados na queima das amostras contendo 100% de resíduos de tijolos durante todo o processo de queima.

Analisando a Figura 3.19, pode ser observado que a concentração total, em massa e as concentrações de benzeno, etilbenzeno e dos xilenos diminuíram com o aumento da faixa de temperatura. Essa diminuição provavelmente se deve ao fato destes compostos terem sido emitidos, em maiores quantidades, logo no início da queima.

A máxima emissão de tolueno ocorreu entre 300 a 800 °C, estando presente em maior porcentagem, em massa, nas faixas de temperatura empregadas. O benzeno se caracterizou como o segundo composto de maior percentual de emissão. As concentrações totais determinadas na faixa de temperatura de 25 a 300 °C, 300 a 800 °C e 800 °C foram, respectivamente, 85,5, 81,4 e 50,1 µg m⁻³.

A Figura 3.20 apresenta os resultados da concentração média dos BTEX na faixa de temperatura entre 25 a 300 °C na composição contendo de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro.

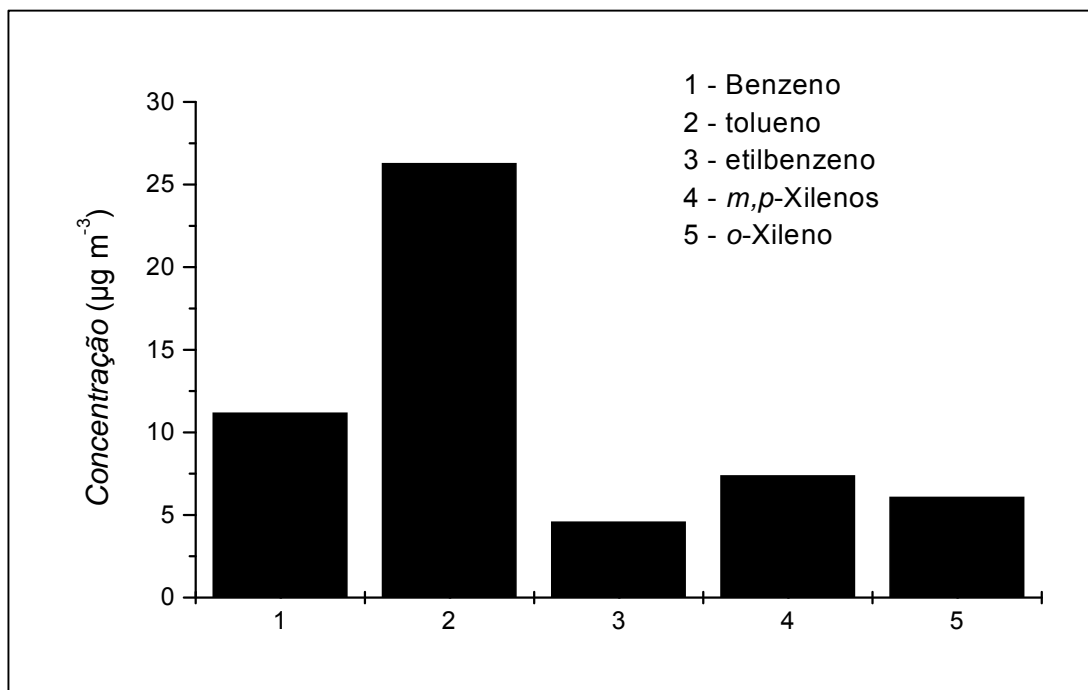


Figura 3.20 – Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro na faixa de temperatura de 25 a 300 °C.

Analisando a Figura 3.20, pode ser verificada a presença de todos os BTEX nesta faixa de temperatura, com uma concentração total de 55,6 µg m⁻³.

O tolueno e o benzeno são novamente os compostos mais abundantes e responsáveis, respectivamente, por 47% e 20% da massa total obtida. Os xilenos foram responsáveis por aproximadamente 25% da massa total obtida.

Pode ser observado que para esta nova composição se comparada à mesma faixa de temperatura que a composição contendo 100% de resíduos de tijolos ocorreu uma diminuição, em massa, de BTEX emitidos para a atmosfera.

A Figura 3.21 apresenta os resultados da concentração média dos BTEX na faixa de temperatura entre 300 a 800 °C na composição contendo de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro.

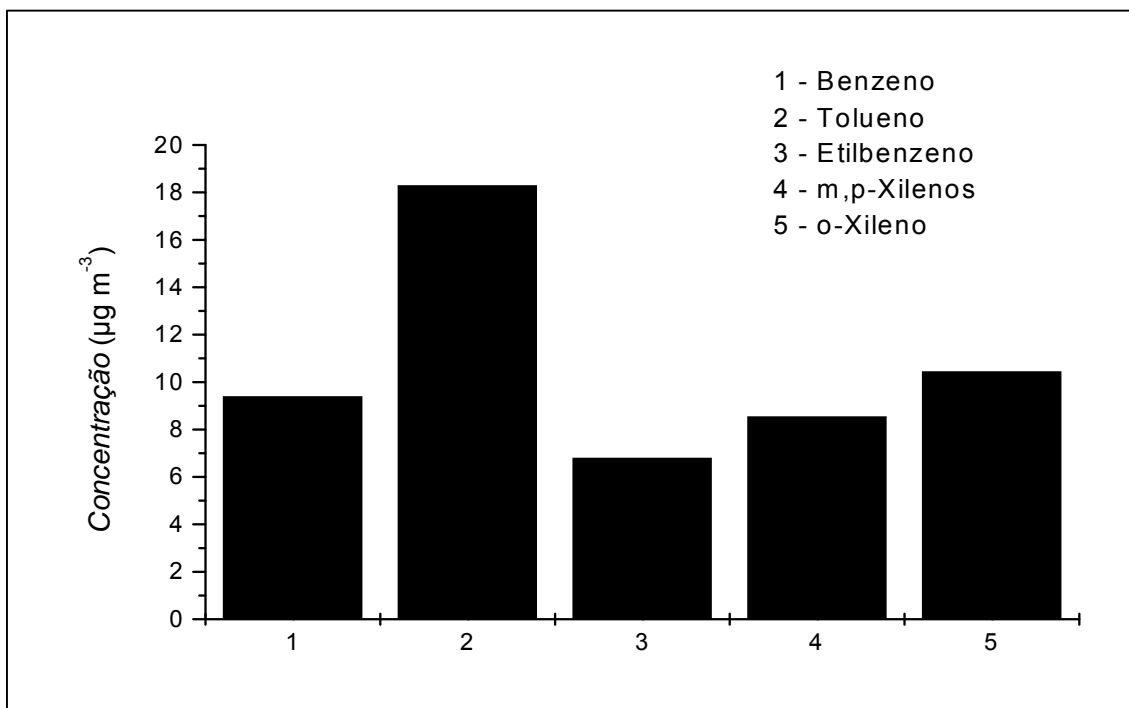


Figura 3.21 – Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro na faixa de temperatura de 300 a 800 °C.

Analisando a Figura 3.21, pode ser verificada a presença de todos os BTEX nesta faixa de temperatura, com uma concentração total de 53,5 µg m⁻³.

O tolueno e o benzeno foram os compostos mais abundantes e responsáveis, respectivamente, por 34% e 18% da massa total obtida. Os xilenos foram responsáveis por aproximadamente 20% da massa total obtida.

Pode-se observar que nesta faixa de temperatura, a concentração, em massa do benzeno e tolueno diminuiu e as concentrações do etilbenzeno e xilenos aumentaram, se compararmos a mesma composição e faixa de temperatura de 25 a 300 °C.

A Figura 3.22 apresenta os resultados da concentração média dos BTEX no patamar de 800 °C na composição contendo de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro.

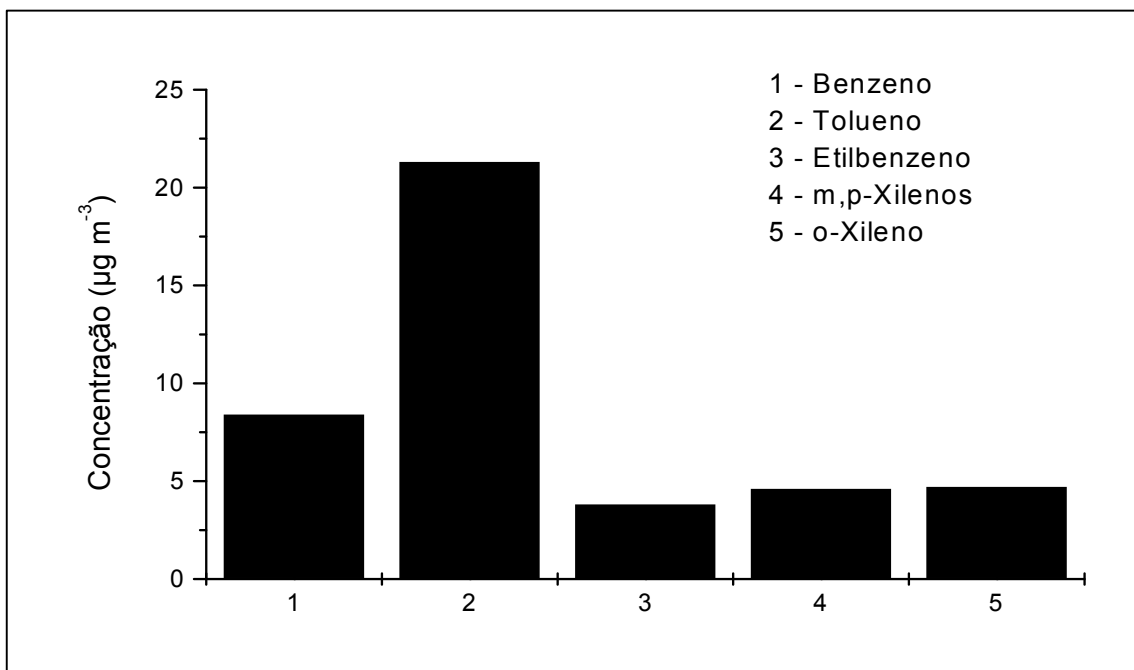


Figura 3.22 – Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro no patamar de 800 °C.

Analisando a Figura 3.22, mais uma vez foi verificada a presença de todos os BTEX nesta faixa de temperatura, com uma concentração total de 42,8 µg m⁻³.

O tolueno e o benzeno foram os compostos mais abundantes e responsáveis, respectivamente, por 50% e 20% da massa total obtida. Os xilenos foram responsáveis por aproximadamente 22% da massa total obtida.

Pode-se também observar que à 800 °C a concentração, em massa, do tolueno aumentou e as concentrações do benzeno, etilbenzeno e xilenos diminuíram em comparação à mesma composição e faixa de temperatura de 300 a 800 °C.

A Figura 3.23 apresenta os resultados da concentração média dos BTEX na composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas e vidro durante todo o processo de queima (temperatura de 25 a 800 °C por 9 h).

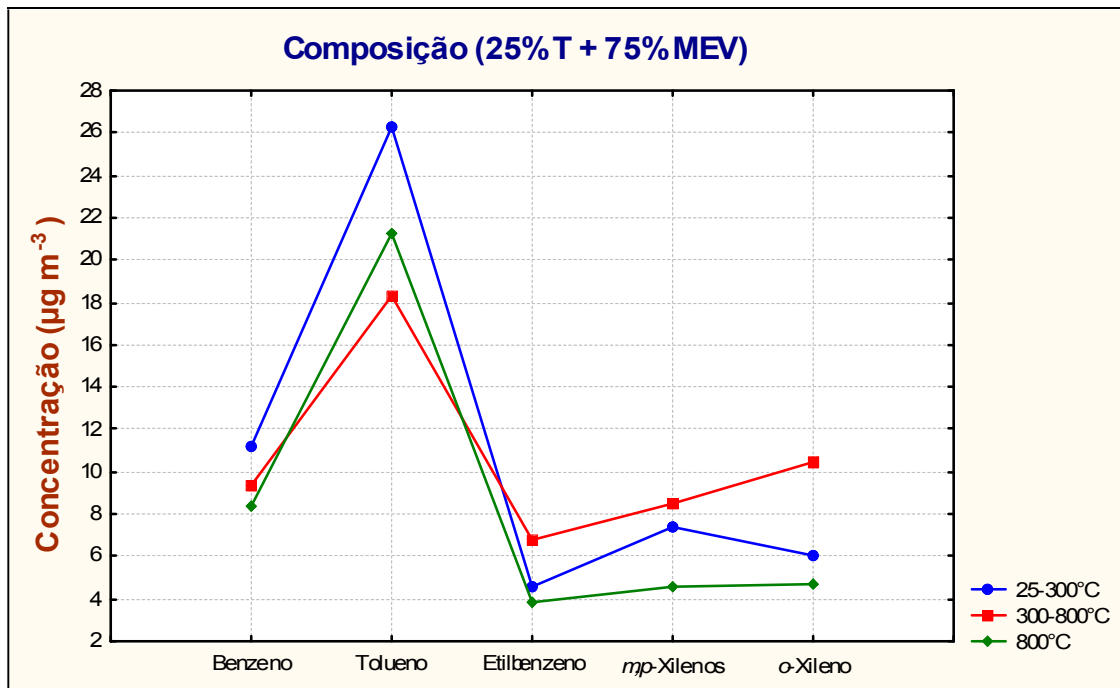


Figura 3.23 – Concentração média de BTEX determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro durante o processo de queima.

Analisando a Figura 3.23, pode ser observado que a concentração total, em massa e a emissão do benzeno diminuíram conforme o aumento da temperatura. A diminuição da concentração total provavelmente deve-se aos compostos terem sido emitidos, em maiores quantidades, logo no início da queima, bem como o benzeno possuir maior pressão de vapor.

A máxima emissão de tolueno, seguida pelo benzeno ocorreu entre 25 a 300 °C, apresentando o maior porcentual, em massa nas faixas de temperatura empregadas.

A maior emissão do etilbenzeno e xilenos ocorreu na faixa entre 300 a 800 °C, sendo a menor emissão no patamar de 800°C.

As concentrações totais determinadas na faixa de temperatura de 25 a 300°C, 300 a 800°C e 800°C foram, respectivamente, 55,6, 42,8 e 51,5 µg m⁻³.

3.5.2 ALDEÍDOS

A Figura 3.24 apresenta os resultados da concentração média dos aldeídos na composição contendo 100% de resíduos de tijolos na faixa de temperatura entre 25 a 300 °C.

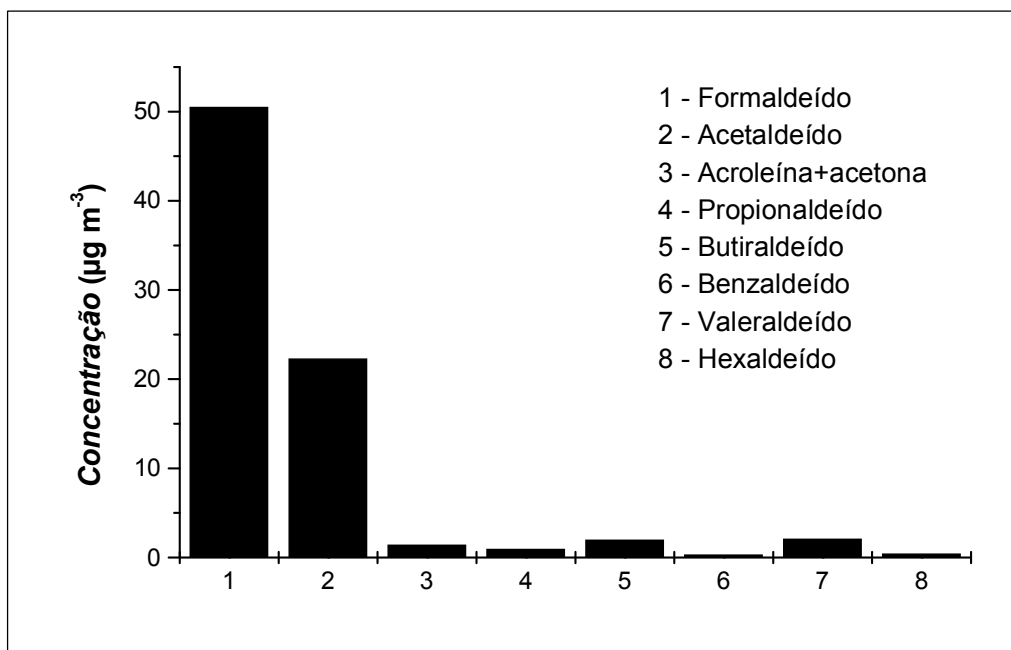


Figura 3.24 – Concentração média dos aldeídos determinados na queima da amostra com a composição de 100% de resíduos de tijolos na faixa de temperatura entre 25 a 300 °C.

Analisando a Figura 3.24, pode ser verificado a presença de 8 aldeídos diferentes com uma massa total de 78,2 µg m⁻³, sendo o formaldeído e o acetaldeído os mais abundantes, representando aproximadamente 93% da massa total obtida.

A razão em massa de [Acetaldeído/Formaldeído] foi de 0,4 indicando uma predominância de formaldeído, emitido na atmosfera, nesta faixa de temperatura.

A Figura 3.25 apresenta os resultados da concentração média dos aldeídos na composição contendo 100% de resíduos de tijolos na faixa de temperatura entre 300 a 800 °C.

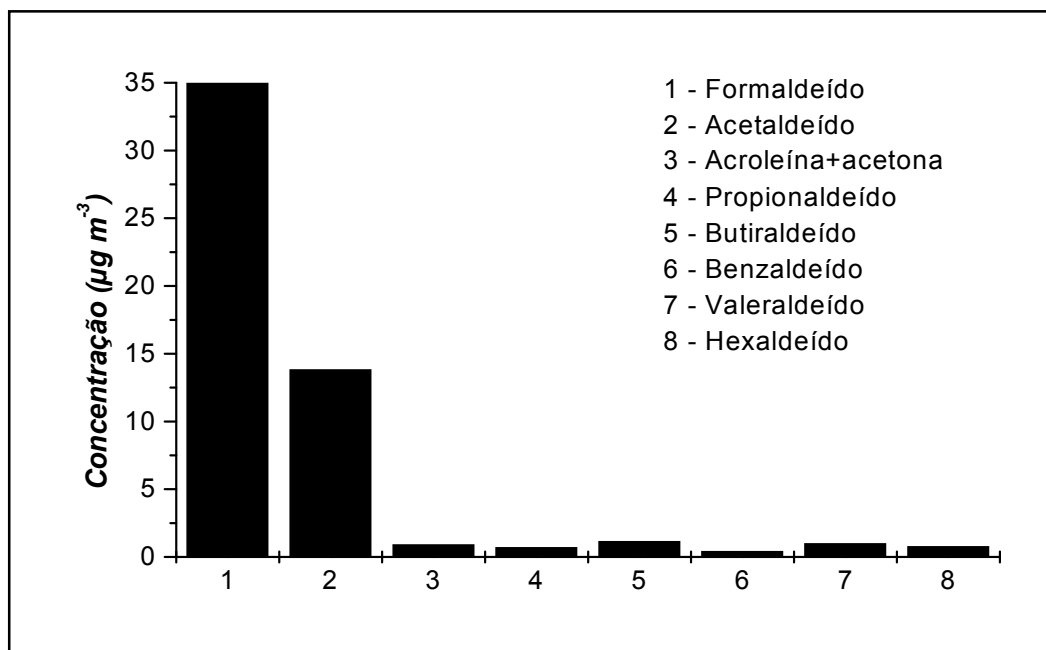


Figura 3.25 – Concentração média dos aldeídos determinados na queima da amostra com a composição de 100% de resíduos de tijolos na faixa de temperatura entre 300 a 800 °C.

Analisando a Figura 3.25, pode ser verificado a presença de 8 aldeídos diferentes com uma massa total de $53,9 \mu\text{g m}^{-3}$, sendo novamente o formaldeído e o acetaldeído os mais abundantes, representando aproximadamente 91% da massa total obtida.

Apesar da concentração total diminuir nesta faixa de temperatura, a razão em massa de [Acetaldeído/Formaldeído] continuou a mesma (0,4), indicando uma predominância de formaldeído, emitido para atmosfera, nesta faixa de temperatura.

A Figura 3.26 apresenta os resultados da concentração média dos aldeídos na composição contendo 100% de resíduos de tijolos no patamar de 800 °C.

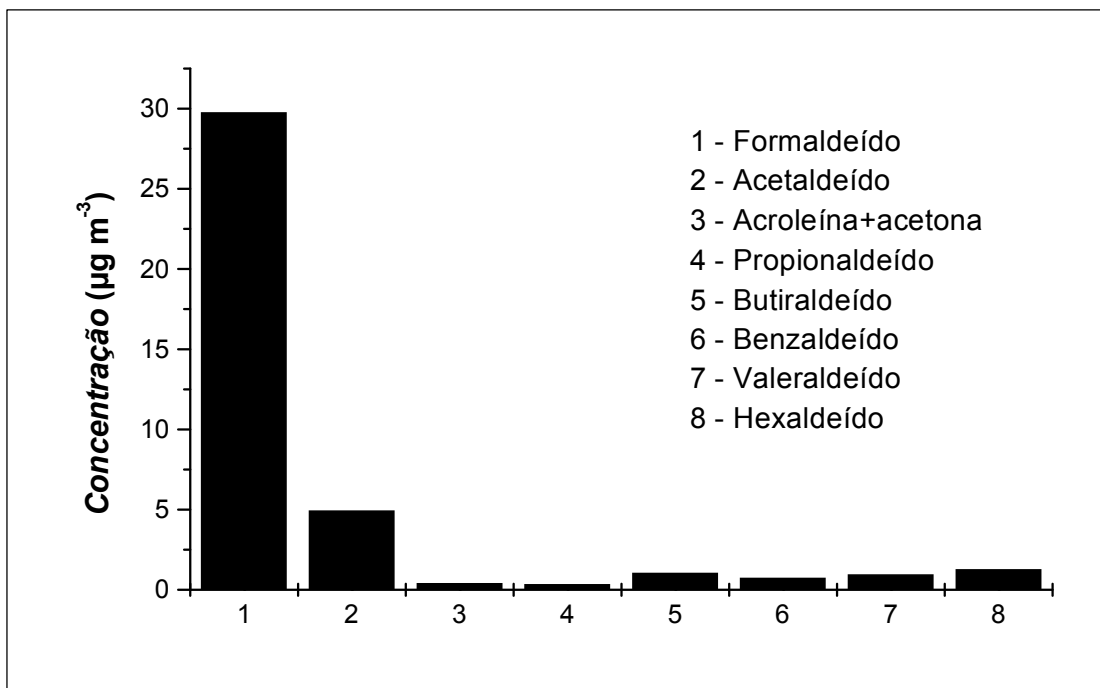


Figura 3.26 – Concentração média dos aldeídos determinados na queima da amostra com a composição de 100% de resíduos de tijolos no patamar de 800 °C.

Analisando a Figura 3.26, mais uma vez pôde ser verificado a presença de 8 aldeídos diferentes com uma massa total de 39,6 µg m⁻³ e o formaldeído junto com o acetaldeído representaram aproximadamente 88% da massa total obtida.

Nesta faixa de temperatura, a razão em massa de [Acetaldeído/Formaldeído] foi de 0,2, indicando uma predominância de formaldeído. Logo, observou-se uma diminuição em massa dos compostos emitidos para atmosfera quando queimamos à 800 °C.

A Figura 3.27 apresenta os resultados da concentração média dos aldeídos na composição de 100% de resíduos de tijolos durante todo o processo de queima (temperaturas de 25 a 800 °C por 9 h).

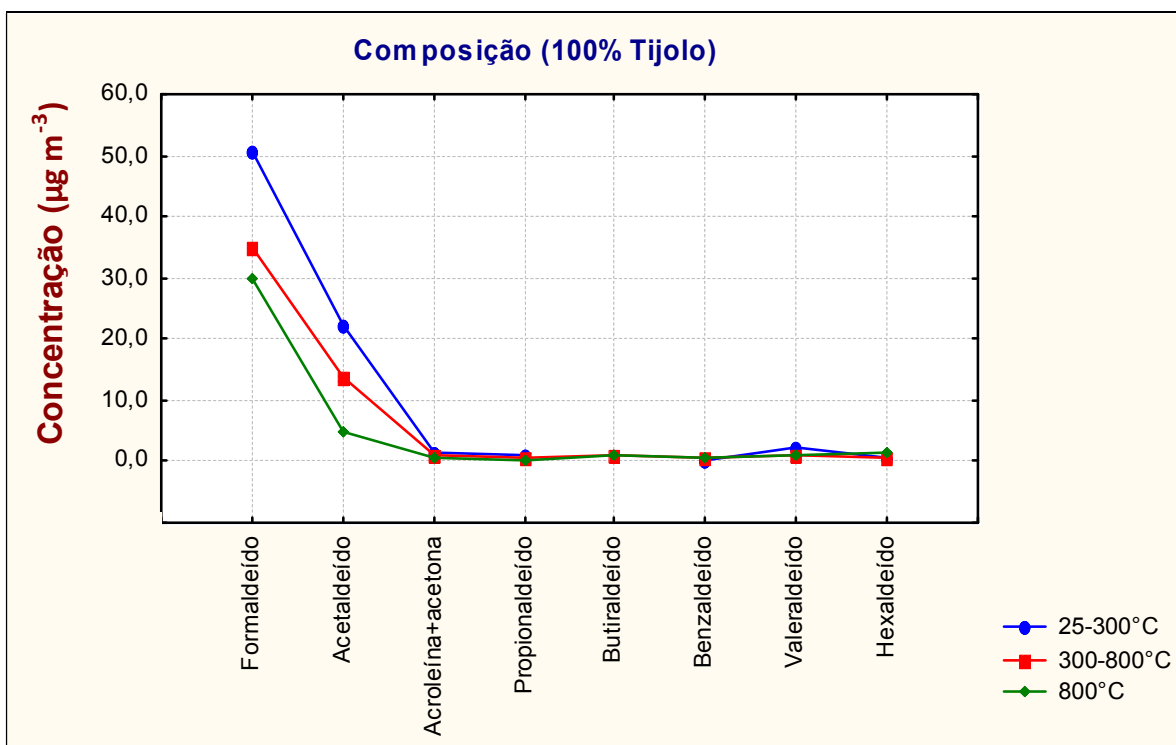


Figura 3.27 – Concentração média dos aldeídos determinados na queima das amostras com a composição de 100% de resíduos de tijolos durante o processo de queima.

Analisando a Figura 3.27, pode ser observado que a concentração total, em massa e as concentrações de formaldeído e acetaldeído diminuíram com o aumento da faixa de temperatura. Essa diminuição provavelmente se deve à liberação desses compostos logo no início da queima.

Os demais aldeídos apresentaram o mesmo comportamento em todas as faixas de temperatura.

As concentrações totais determinadas são respectivamente, 78,2, 53,9 e 39,6 $\mu\text{g m}^{-3}$, sendo o formaldeído e o acetaldeído predominantes em todas as faixas de temperatura.

As razões em massa de [Acetaldeído/Formaldeído] foram, respectivamente, 0,4, 0,4 e 0,2.

A Figura 3.28 apresenta os resultados da concentração média dos aldeídos na faixa de temperatura entre 25 a 300 °C na composição contendo 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro.

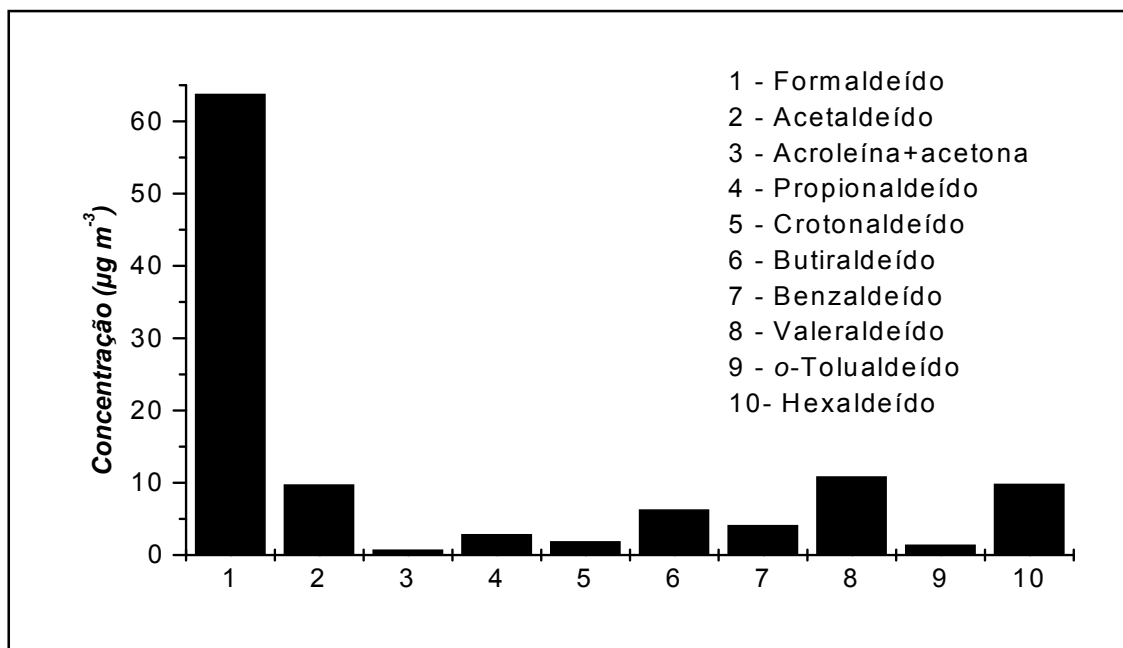


Figura 3.28 – Concentração média dos aldeídos determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro na faixa de temperatura de 25 a 300 °C.

Analisando a Figura 3.28, pode ser verificada a presença de 10 aldeídos diferentes com uma massa total de 111,7 µg m⁻³, sendo o formaldeído e o acetaldeído os mais abundantes, representando, aproximadamente, 66% da massa total obtida.

Foi verificada a presença de mais dois aldeídos diferentes nesta composição, crotonaldeído e o-tolualdeído, além dos obtidos anteriormente na composição contendo apenas resíduos de tijolos.

As emissões de formaldeído e acetaldeído nesta faixa de temperatura foram de 73,6 µg m⁻³, menos de 1% se comparado com as emissões da composição contendo 100% de resíduos de tijolos nesta mesma temperatura. Para os demais aldeídos, acroleína+acetona, propionaldeído, crotonaldeído,

butiraldeído, benzaldeído, valeraldeído, o-tolualdeído e hexaldeído, a massa total foi de $38,1 \mu\text{g m}^{-3}$, cerca de 400% a mais que a massa encontrada para a composição contendo 100% de resíduos de tijolos. Essa diferença de massa se deve, provavelmente, a adição das microesferas de vidro na composição da amostra.

A razão em massa de [Acetaldeído/Formaldeído] foi de 0,2, indicando uma predominância de formaldeído nesta faixa de temperatura.

A Figura 3.29 apresenta os resultados da concentração média dos aldeídos na faixa de temperatura entre 300 a 800 °C na composição contendo 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro.

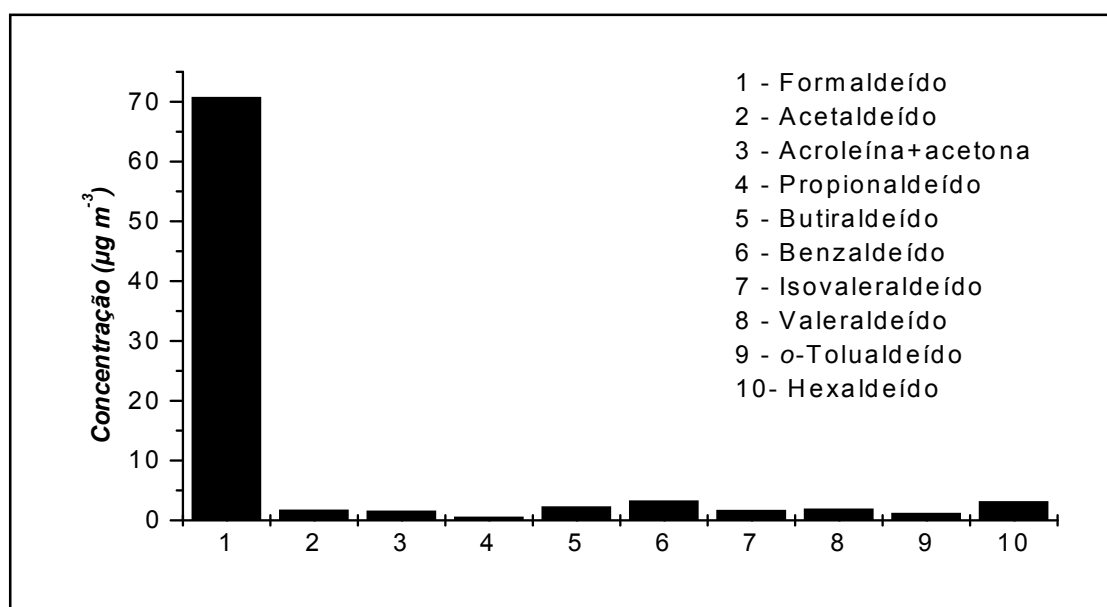


Figura 3.29 – Concentração média dos aldeídos determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro na faixa de temperatura de 300 a 800 °C.

Analisando a Figura 3.29, pode ser verificada a presença de 10 aldeídos diferentes com uma massa total de $88,5 \mu\text{g m}^{-3}$, sendo o formaldeído e o acetaldeído os mais abundantes, representando, aproximadamente, 66% da massa total obtida.

A razão em massa de [Acetaldeído/Formaldeído] foi de 0,03, indicando uma predominância de emissões de formaldeído nesta faixa de temperatura.

Pode ainda ser observado que as concentrações de butiraldeído, benzaldeído, valeraldeído e hexaldeído são maiores que a concentração de acetaldeído.

A Figura 3.30 apresenta os resultados da concentração média dos aldeídos no patamar de 800 °C na composição contendo 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro.

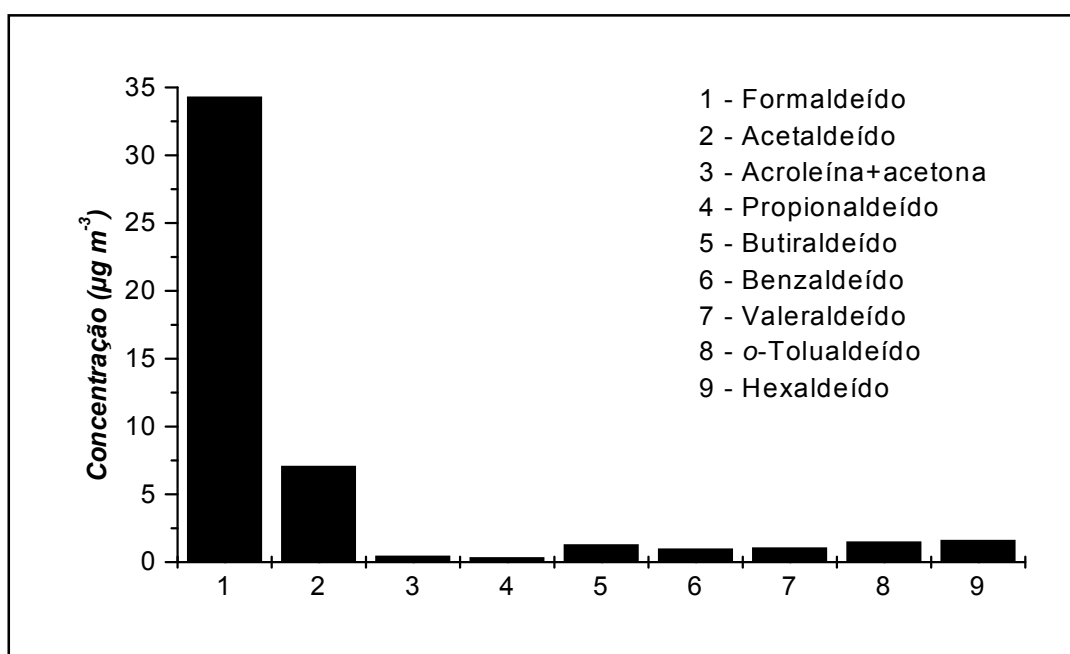


Figura 3.30 – Concentração média dos aldeídos determinados na queima da amostra com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro no patamar de 800 °C.

Analisando a Figura 3.30, pode ser verificada a presença de 9 aldeídos diferentes com uma massa total de 48,8 µg m⁻³, sendo o formaldeído e o acetaldeído os mais abundantes, representando, aproximadamente, 85% da massa total obtida.

Nesta faixa de temperatura não há presença do isovaleraldeído, indicando que este composto foi totalmente emitido na faixa de temperatura de 25 a 800 °C.

A razão em massa de [Acetaldeído/Formaldeído] foi de 0,2, indicando uma predominância de formaldeído, emitido para a atmosfera, nesta faixa de temperatura.

A Figura 3.31 apresenta os resultados da concentração média dos aldeídos na composição contendo 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro durante todo o processo de queima (temperatura de 25 a 800 °C por 9 h).

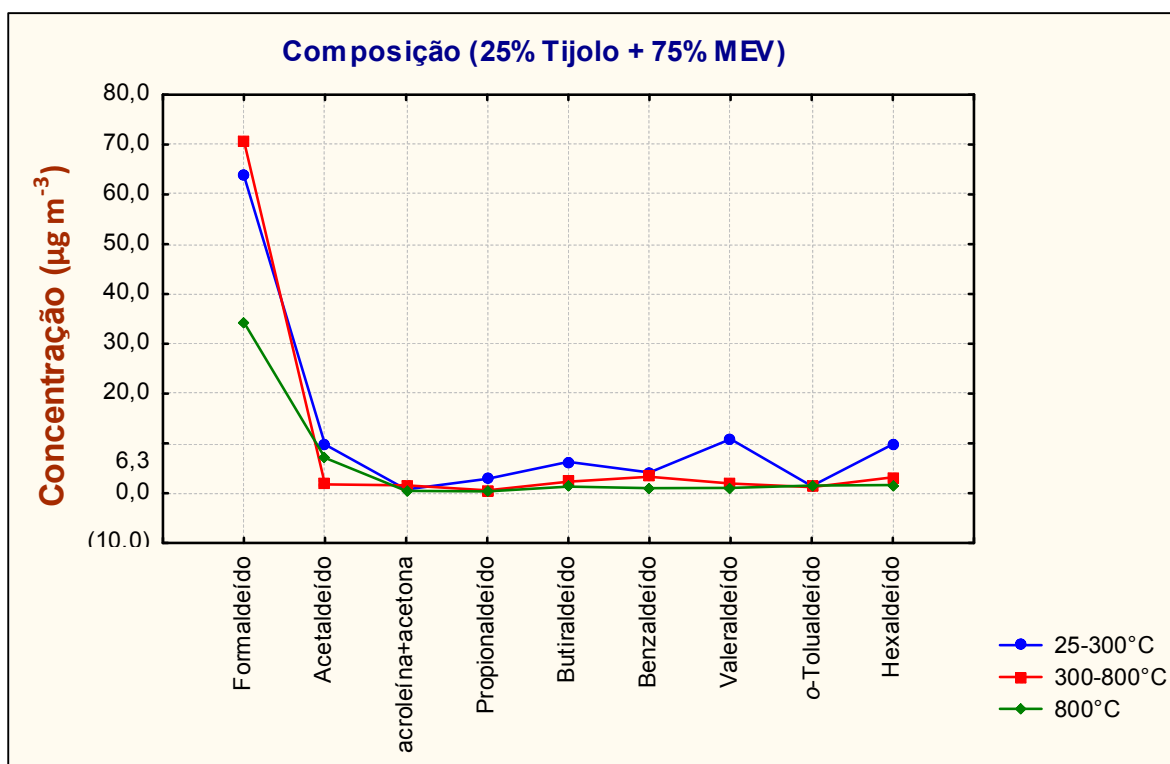


Figura 3.31 – Concentração média dos aldeídos determinados na queima das amostras com a composição de 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro durante o processo de queima.

Analisando a Figura 3.31, pode ser observado que a concentração total, em massa do formaldeído foi predominante em todas as faixas de temperatura, tendo maior emissão, ocorrido entre 300 a 800 °C.

Para os demais aldeídos foi observado que as maiores emissões ocorreram na faixa de temperatura de 25 a 300 °C.

As concentrações totais determinadas são respectivamente, 111,7, 88,5, 48,8 $\mu\text{g m}^{-3}$, sendo o formaldeído predominante em todas as faixas de temperatura.

CAPÍTULO 4

CONCLUSÃO

O reaproveitamento dos resíduos de tijolos e das microesferas de vidro como matérias-primas alternativas para o desenvolvimento de um novo produto cerâmico é viável na fabricação de cerâmica vermelha. Os teores destes, presentes na massa cerâmica podem atingir concentrações de até 25% resíduos de tijolos e 75% em microesferas de vidro, sendo dependente das propriedades mecânicas desejáveis para o produto final.

A massa cerâmica contendo 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro, queimada à 1000 °C e as massas contendo 100% de resíduos de tijolos, bem como a massa cerâmica contendo 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro, queimadas à 1200 °C atendem as normas, possuindo variadas utilizações como tijolo maciço e furado para construções.

Destaca-se ainda que em virtude das proporções dos componentes, os corpos de prova apresentaram tons variados, que combinados poderão ser utilizados de forma decorativa em revestimento de uso interno e externo.

As concentrações de compostos orgânicos voláteis, provenientes das emissões das diferentes composições cerâmicas foram distintas qualitativa e quantitativamente nas diferentes composições cerâmicas em diferentes faixas de temperaturas de queima. Em particular, as concentrações totais dos aldeídos emitidas na atmosfera foram maiores na utilização da composição contendo 25% de resíduos de tijolos e 75% de microesferas de vidro, sendo o formaldeído e o acetaldeído, os compostos mais abundantes.

No caso dos BTEX, as concentrações totais foram maiores no caso da massa cerâmica contendo 100% de resíduos de tijolos, destacando-se o tolueno e o benzeno como os compostos mais abundantes.

Apesar das diferentes composições, o impacto destes poluentes na atmosfera é um fator de grande importância, pois esses compostos são muito

reativos e precursores da formação de oxidantes fotoquímicos, contaminando não só o ambiente ao redor, mas regiões a quilômetros de distância das fontes emissoras de poluição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCERAM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Disponível em <<http://www.abceram.org.br>>, acesso em 02 jan 2010.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6220. Materiais refratários densos conformados - Determinação da densidade de massa aparente, porosidade aparente, absorção e densidade aparente da parte sólida, Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 2p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7170. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria, Rio de Janeiro: ABNT, 1983, 6p.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7171. Bloco cerâmico para alvenaria, Rio de Janeiro: ABNT, 1987, 8p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. Resíduos Sólidos – Classificação, Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 77p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007 – Amostragem de Resíduos Sólidos, Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 21p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818. Placas Cerâmicas para Revestimento - Especificação e Métodos de Ensaio, Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 81p.

ÂNGULO, C. S. Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil e Urbana) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ÂNGULO, C. S.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. J. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. In: Seminário de desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil – Materiais reciclados e suas aplicações, 4, 2001, São Paulo. Anais eletrônicos. Disponível em <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>, acesso em 19 jan 2010.

ANICER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. Disponível em <<http://anicer.org.br>>, acesso em 05 fev 2010.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Method C 20 00. Standard test method for apparent porosity, water absorption, apparent specific gravity, and bulk density of burned refractory brick and shapes by boiling water. Book of standards. v. 15.08, ASTM: West Conshohocken, 2010, 1084p.

BAIRD, C. Introdução à química ambiental. 1ª. ed., Bookman companhia: São Paulo, 2002, 624p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 3 de 28 de junho de 1990. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 22 ago 1990.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 307 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 17 jul 2002.

BRASIL. Ministério do Trabalho e do Emprego. Norma Regulamentadora n° 15 de 8 de junho de 1978 e atualizada em 11 de março de 2008. Atividades e operações insalubres. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 13 mar 2008.

CALLISTER, W. D. Ciência e engenharia de materiais – uma introdução. 7ª. ed. LTC: Rio de Janeiro, 2008, 590p.

CASAGRANDE, M. N. Efeito da adição de chamote semi-gresificado no comportamento físico de massa cerâmica para pavimento. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CHRISTENSEN, L. K., BALL, J. C.; WALLINGTON, T. J. Atmospheric oxidation mechanism of methyl acetate. *J Phys Chem A*. Washington. v. 104, n. 3, p. 345-351, 2000.

CORRÊA, S. M. Qualidade do ar na cidade do Rio de Janeiro: sinergia entre simulação e monitoramento. 2003. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

COUVIGNOU, E. M. Análise da conformidade e caracterização da matéria-prima empregada na fabricação de blocos cerâmicos na Região Metropolitana de Salvador. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2007.

DE ANDRADE, M. V. A. S.; PINHEIRO, H. L. C.; DE PEREIRA, P. A.; DE ANDRADE, J. B. Compostos carbonílicos atmosféricos: fontes, reatividade, níveis de concentração e efeitos toxicológicos. *Quim Nova*. São Paulo, v. 25, n. 6, p. 1117–1131, 2002 (suplemento).

DONDI, M.; FABBRI, B; MARSIGI, M. Resenha das experiências de reciclagem de resíduos industriais e urbanos na produção de tijolos. *Cerâmica Informação*. Faenza. v.1, n.1, p.17-30, 1998.

DUTRA, R. P. S.; L. R. A., PONTES. Obtenção e análise de cerâmicas porosas com a incorporação de produtos orgânicos ao corpo cerâmico. *Cerâmica*. São Paulo. v. 48, n. 308, p. 223-230, 2002.

FINLAYSON-PITTS, B. J.; PITTS, J. N. Chemistry of upper and lower atmosphere. 1st. ed., Academic Press: San Diego, 1999, 969p.

GROSJEAN, D.; MIGUEL, A. H.; TAVARES, T. M. Urban air pollution in Brazil: acetaldehyde and other carbonyls. *Atmos Environ*. Amsterdam. v. 22, n. 6, p. 1637–1648, 2002.

GROSJEAN, D.; MIGUEL, A. H.; TAVARES, T. M. Urban air pollution in Brazil: acetaldehyde and other carbonyls. *Atmos Environ*. Amsterdam. v. 24, n. 2, p. 101-106, 1990 (suplemento).

GUIMARÃES, C. S. Caracterização das emissões de compostos orgânicos voláteis na área de taxiamento de três aeroportos brasileiros. 2009. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

HIRSCHFELD, H. Engenharia econômica e análise de custos. 7^a. ed., Atlas: São Paulo, 2000, 520p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>, acesso em 02 fev 2010.

IDHEA – INTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DA HABITAÇÃO ECOLÓGICA. Disponível em <<http://idhea.com.br>>, acesso em 01 fev 2010.

JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KOBAYASHI, Y.; OHIRA, O.; OHASHI, Y.; KATO, E. Effect of firing temperatura on bending strength of porcelains for tableware. *J Am Ceramic Soc.* Westville. v. 75, n. 7, p. 1801-1806, 1992.

MORGAN, D. J. Termal analysis – including evolved gas analysis – a clay raw materials. *Appl Clay Sci.* Amsterdam. v. 8, n. 2-3, p. 81-89, 1993.

NORTON, F.H. Introdução a tecnologia cerâmica. 2^a. ed. Edgard Blücher: São Paulo, 1973, 324p.

NUNES, T. V.; PIO, C. A. Emission of volatile organic compounds from Portuguese eucalyptus Forest. *Chemosphere. Glob Change Sci.* Oxford. v. 3, n. 3, p. 239-248, 2001.

OLIVEIRA, G. E.; HOLANDA, J. N. F. Análise do impacto ambiental causado pela utilização de resíduo sólido do setor siderúrgico em cerâmica vermelha. *Cerâmica.* São Paulo. v. 50, n. 315, p. 185-189, 2004.

REED, S. J. Principles of ceramics processing. 2nd. ed. New York: John Wiley & Sons, 1995, 668p.

RIBEIRO, H.; GUNTHER, W. R.; JACOBI, P. R.; DEMAJOROVIC, J; BESEN, G. R. Programas municipais de coleta seletiva de lixo como fator de sustentabilidade dos sistemas públicos de saneamento ambiental na RMSP. In: Seminário Internacional de Engenharia de Saúde Pública, 3, Fortaleza, 2006. Anais... p. 123-130.

RIBEIRO, F.; SERRA, N. G. S. Utilização de entulho na pavimentação. 2001. Monografia (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2001.

SANTOS, P. S. Ciência e tecnologia de argilas. Volume 1. 2ª. ed., Edgard Blücher: São Paulo, 1989, 408p.

SEINFELD, J. H. Ozone air quality models: a critical review. *Int J Air Pollut Control Hazard Waste Manag.* Amsterdam. v. 38, n. 5, p. 616-645, 1988.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. 1st. ed. John Willey & Sons: New Yor, 1997, 1360p.

SESI – SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA. Manual de segurança e saúde no trabalho para as indústrias. Disponível em <<http://sesisp.org.br/home/2006/saude/manual.asp>>, acesso em 03 fev 2010.

SKOV, H.; HANSEN, A. B.; LORENZEN, G.; ANDERSEN, H. V.; LOFSTROM, P.; CHRISTENSEN, C. S. Benzene exposure and the effect of traffic pollution in Copenhagen Denmark. *Atmos Environ.* Amsterdam. v. 35, n. 8, p. 2463–2471, 2001.

SOARES, R. A L.; NASCIMENTO, R. M. O processo produtivo e a qualidade do produto cerâmico estrutural, Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2, João Pessoa, 2007. Anais...

SOUZA, P. V.; TOLEDO, R.; HOLANDA, J. N. F.; VARGAS, H.; FARIA Jr., R. T. Análise dos gases poluentes liberados durante a queima de cerâmica vermelha incorporada com lodo de estação de tratamento de água. *Cerâmica*. São Paulo. v. 54, n. 3, p. 351-355, 2008.

SPANGENBERG, J. H.; BONNIOT, O. Sustainability indicators – a compass on the road towards sustainability. Disponível em <http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/WP81.pdf>, acesso em 23 dez 2009.

STERN, P. C.; DRUCKMAN, D.; YOUNG, O. R. Mudanças e agressões ao meio ambiente. 1ª. ed., Makron books: São Paulo, 1993, 314p.

TEIXEIRA, B. A. N.; ZANIN, M. Reciclagem e reutilização de embalagens. In: PROSOB- PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. Técnicas de minimizações, reciclagem e resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABES, 1999, p. 25-30.

TOCHETTO, M. R. L. Resíduos Sólidos Industriais: gerenciamento e destinação Final – Módulo I. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental: Porto Alegre, 2000, 73p.

TOLEDO, R.; DOS SANTOS, D. R.; FARIA Jr., R. T.; CARRIÓ, J. G.; AULER, L. T.; VARGAS, H. Gas release during clay firing and evolution of ceramic properties. *Appl Clay Sci*. Amsterdam. v. 27, n. 3-4, p. 151-157, 2004.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Disponível em <<http://www.epa.org>>, acesso em 02 dez 2009.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method TO-11A. Determination of formaldehyde in ambient air using adsorbent cartridge by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Center for Environmental Research Information: Cincinnati, 1997.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method TO-2. Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in ambient air by carbon molecular sieve and Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC/MS). Center for Environmental Research Information: Cincinnati, 1999.

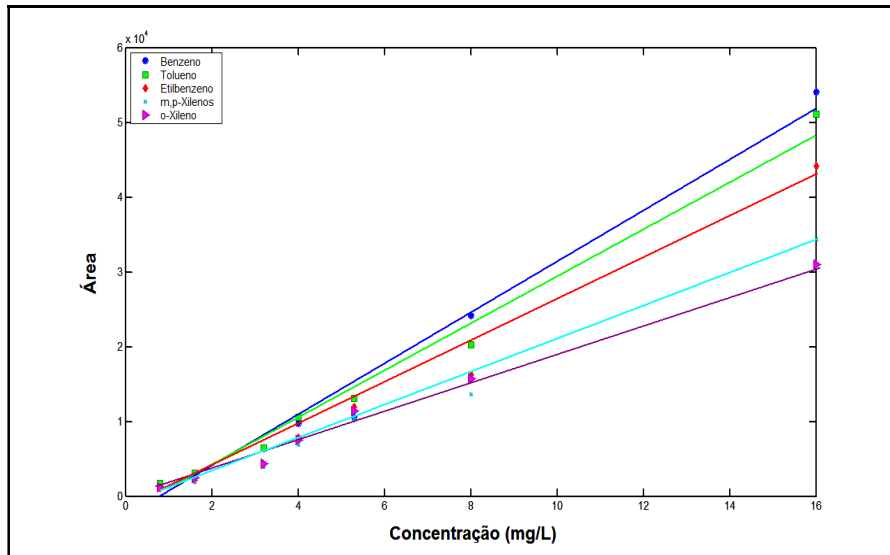
USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras. Disponível em <<http://perdas.pcc.usp.br/>>, acesso em 12 jan 2010.

WENG, C-H.; LIN, D-F.; CHIANG, P-C. Utilization of sludge as brick materials. *Adv Environ Res*. Amsterdam. v. 7, n. 3, p. 679-685, 2003.

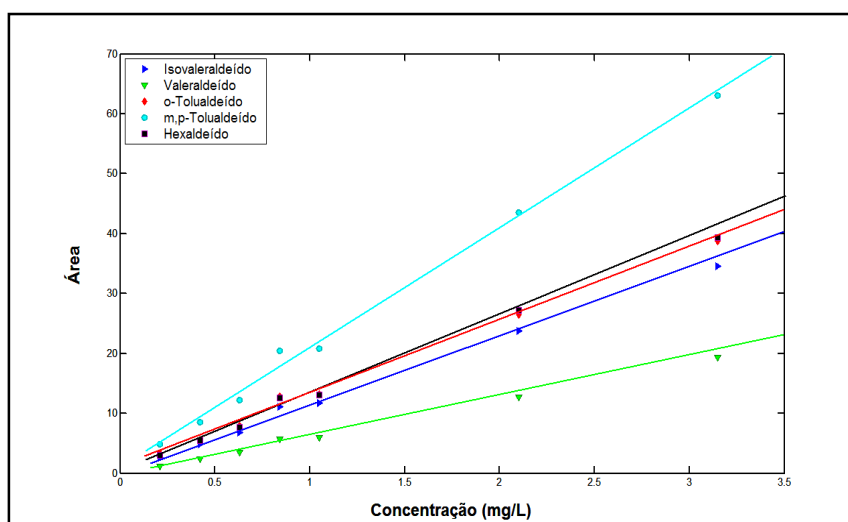
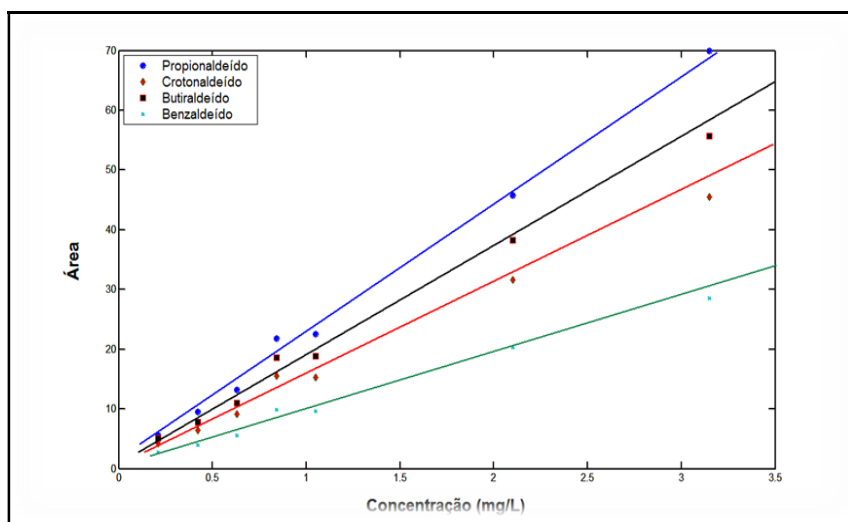
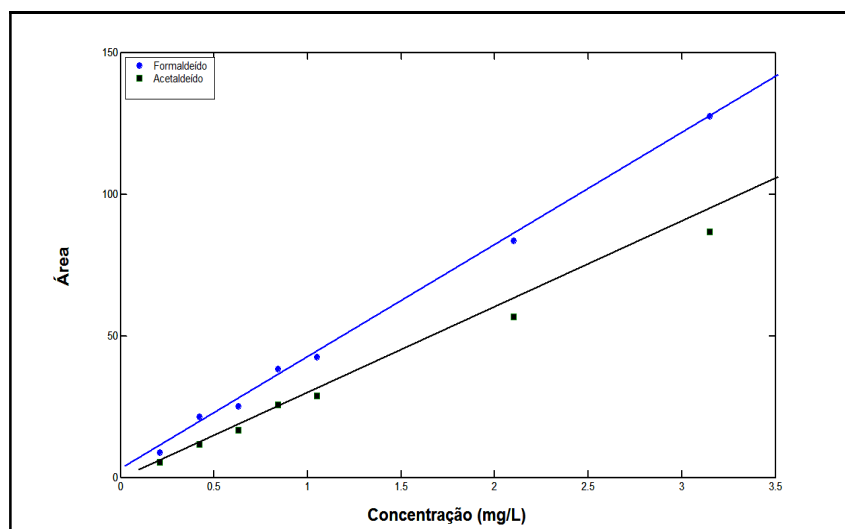
WCED – WORLD COMMISSION FOR THE ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. Our common future. Disponível em <<http://sknworldwide.net/library/capacity/brundtland%20report%201987.pdf/view>>, acesso em 04 jan 2010).

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Disponível em <<http://www.who.int/en/>>, acesso em 20 jan 2010.

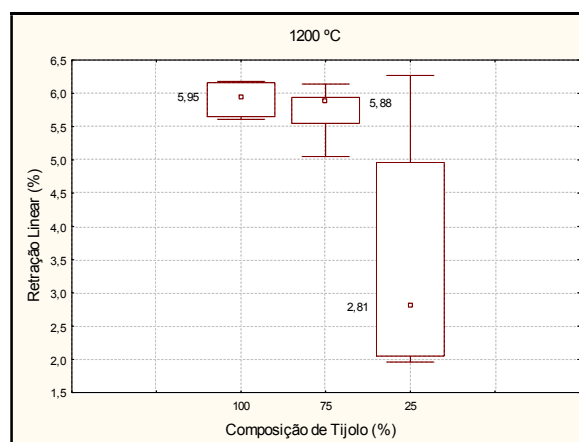
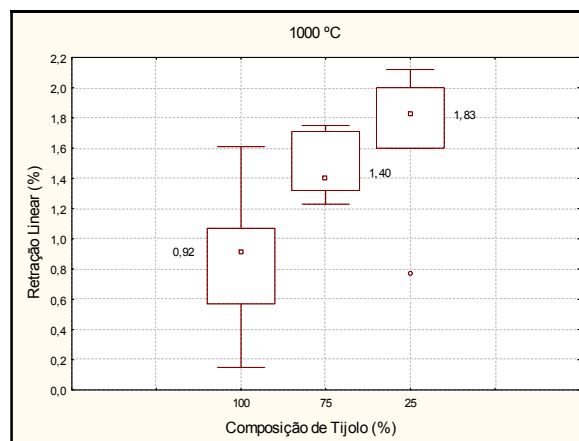
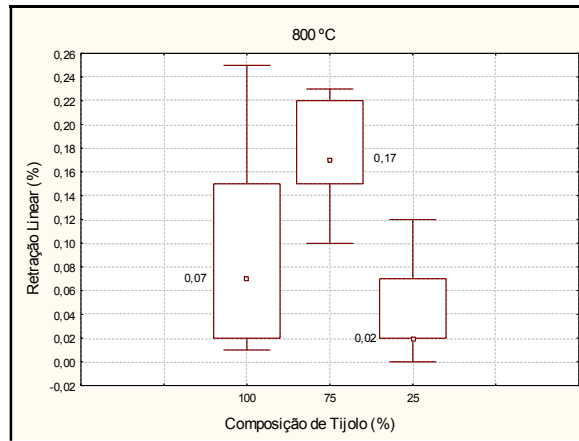
APÊNDICE A – Curvas de calibração para os BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, m+p-Xilenos e o-Xileno).



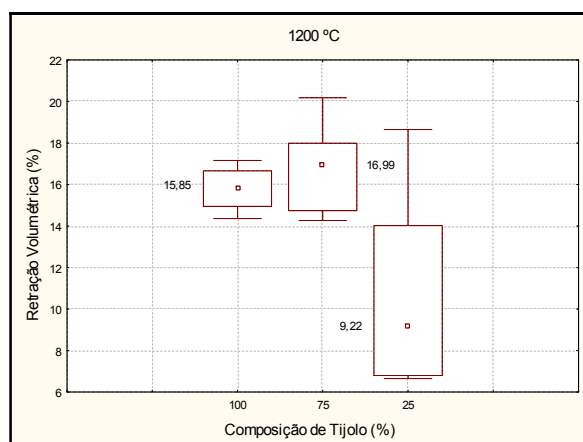
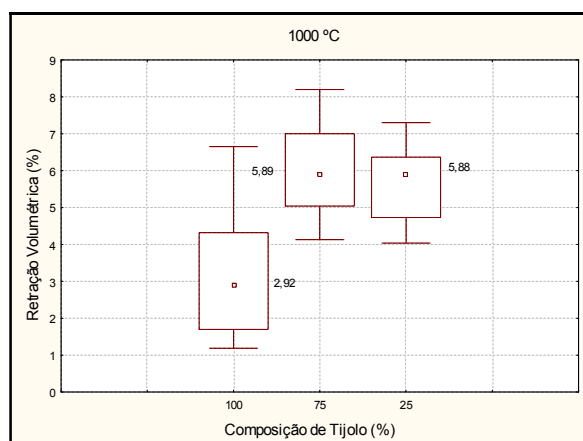
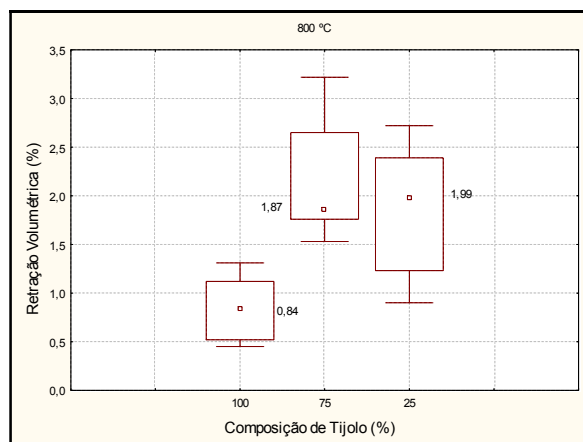
APÊNDICE B – Curvas de calibração para os Aldeídos.



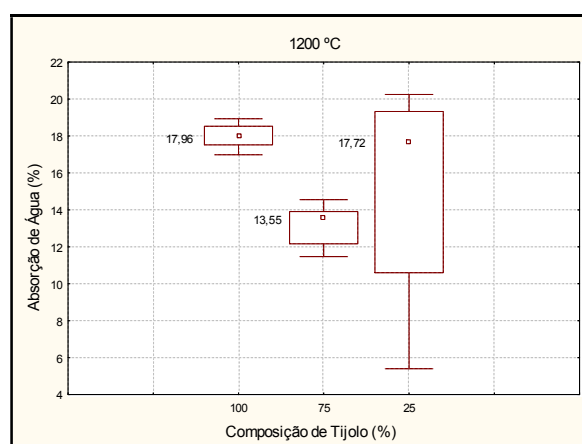
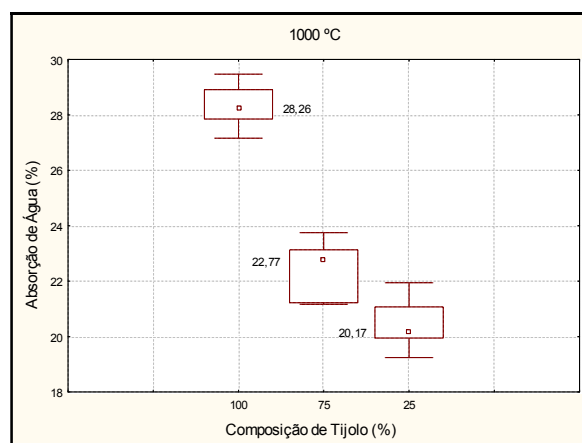
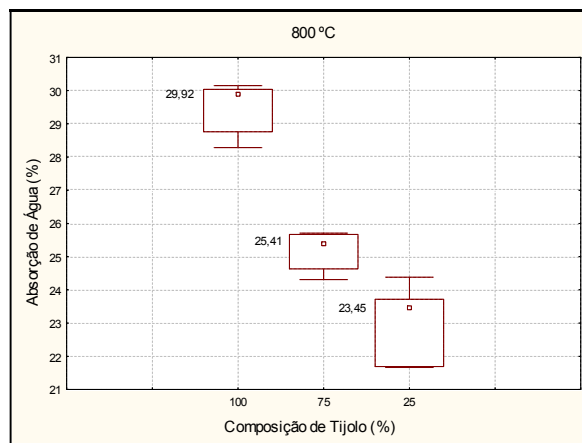
APÊNDICE C – Análise estatística da Retração Linear em diferentes temperaturas.



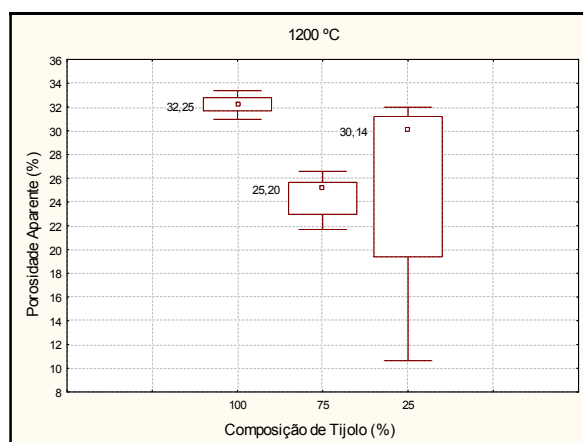
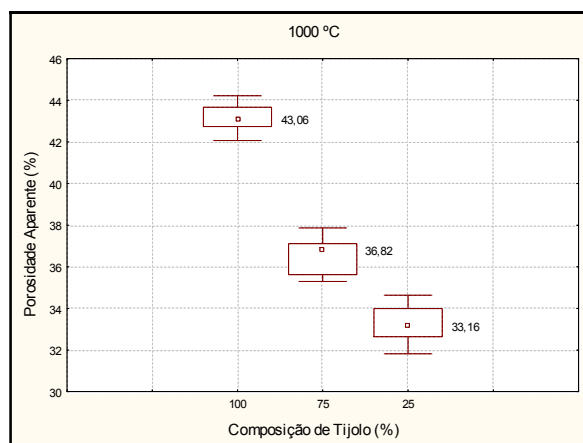
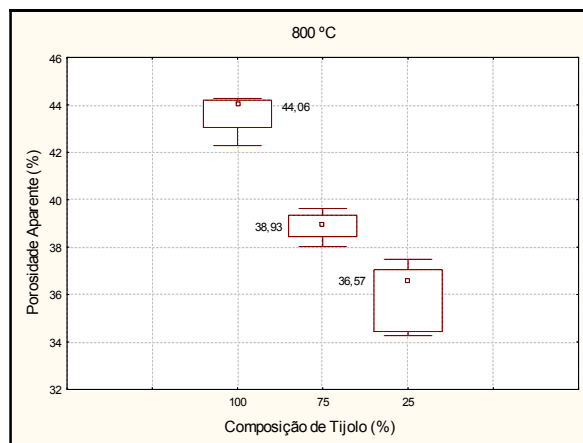
APÊNDICE D – Análise estatística da Retração Volumétrica em diferentes temperaturas.



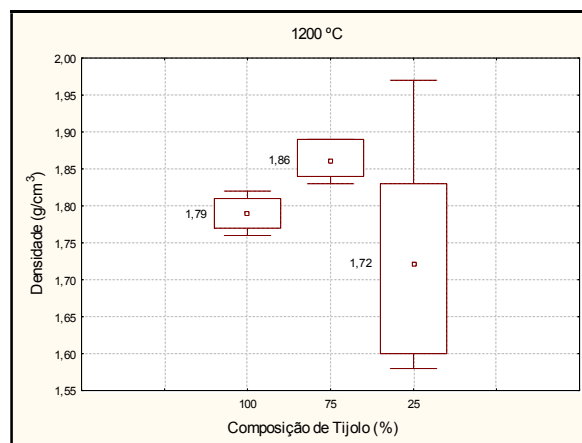
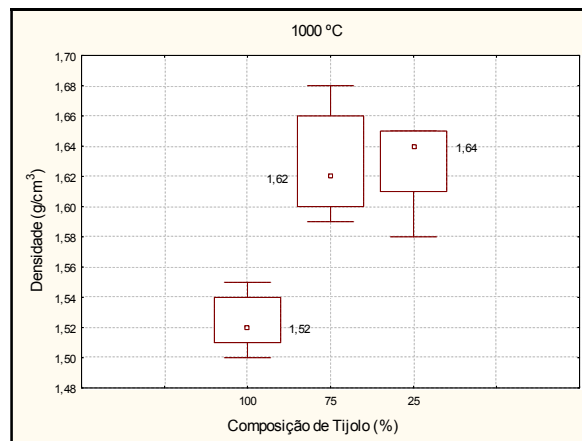
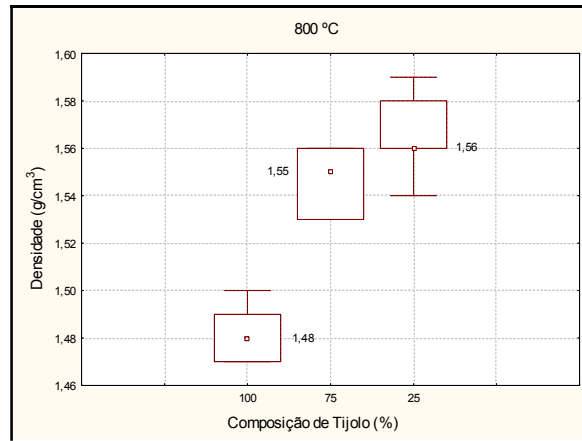
APÊNDICE E – Análise estatística da Absorção de Água em diferentes temperaturas.



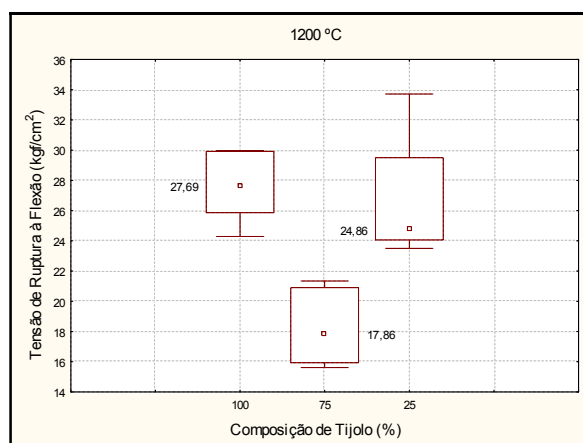
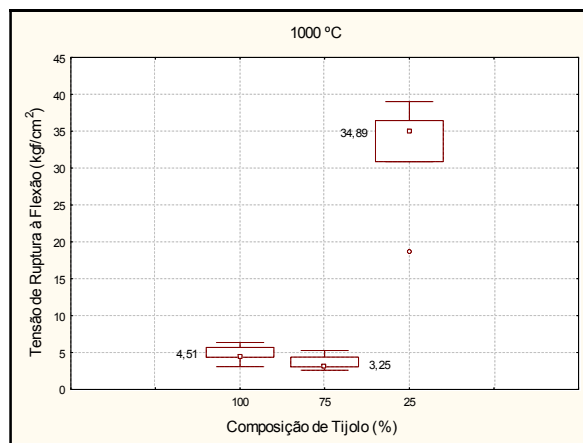
APÊNDICE F – Análise estatística da Porosidade Aparente em diferentes temperaturas.



APÊNDICE G – Análise estatística da Densidade em diferentes temperaturas.



APÊNDICE H – Análise estatística da Tensão de Ruptura à Flexão em diferentes temperaturas.



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.