

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DE CINZAS DO  
PROCESSO DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS DE  
SERVIÇO DE SAÚDE PARA REAPROVEITAMENTO**

**Autor: Carlos Eduardo Silva Andrade**

Orientador: Prof. Dr. Éder Domingos de Oliveira

Co-orientadora: Profa. Dra. Vanessa de Freitas Cunha Lins

**Dezembro/2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**CARLOS EDUARDO SILVA ANDRADE**

**ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DE CINZAS  
DO PROCESSO DE INCINERAÇÃO DE  
RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE PARA  
REAPROVEITAMENTO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA AO CURSO DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**Orientador: Prof. Dr. Éder Domingos de Oliveira**

**Co-orientadora: Profa. Vanessa de Freitas Cunha Lins**

**Escola de Engenharia da UFMG**

**Belo Horizonte**

**Dezembro/2012**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Andrade, Carlos Eduardo Silva

V xxxx Análise e caracterização de cinzas do processo de incineração de resíduos de serviço de saúde para reaproveitamento, Belo Horizonte, MG / Carlos Eduardo Silva Andrade – 2012 98 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Éder Domingos de Oliveira

Co-orientadora: Profa. Vanessa de Freitas Cunha Lins

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Minas Gerais, Escola de Química.

*Aos meus pais e meus filhos*

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ser realizado sem o apoio dos seguintes órgãos e pessoas, aos quais gostaria de agradecer:

- À Empresa SERQUIP MG Ltda. em especial as pessoas dos Srs. Gilson Villela e Michael F. Grugel pela gentileza em abrir a empresa para a visita técnica e fornecer as cinzas, material base da pesquisa;
  - Aos professores, funcionários e colegas do Curso de Pós Graduação em Engenharia Química por tornarem todo este processo possível;
  - Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Química especialmente aos Laboratoristas e à Profa. Kátia Figueiredo, pela ajuda constante;
  - Ao Prof. Dr. Éder Domingos de Oliveira, que me orientou com imensa competência, que me levantou nos momentos difíceis desta caminhada e que vibrou comigo quando das descobertas, pelo apoio e principalmente pela amizade;
  - À Profa. Dra. Vanessa de Freitas Cunha Lins, pela co-orientação correta e precisa, pelo incentivo ininterrupto, pelo gesto amigo e pela imensa atenção;
  - Ao Prof. Dr. Idalmo Oliveira pela participação fundamental na mudança de rumo do meu trabalho.
  - Aos estudantes de graduação em Engenharia Química da UFMG, Gabriel Cholodovskis Machado, Fernanda Amorim Santos, Gabriela Amorim Soares, Ingra de Queiroz Flecha, Marília Ribeiro de Vasconcelos e Vinícius Gomide Castro que contribuíram com parte dos resultados aqui apresentados;
  - Aos meus filhos, André, Letícia e Lucas, minha amada Jacqueline, aos meus familiares, especialmente meus pais, Maura e Marco Túlio, pelo amor, exemplo e apoio incondicional em todos os momentos de minha vida. Que esta conquista seja de vocês, tanto quanto minha;
  - Ao meu querido avô Alyrio pelo exemplo de persistência e determinação e companheiro de todas as horas;
  - A minha amiga Sibebe Augusta pelo incentivo em trilhar o caminho da pesquisa;
  - A Eng<sup>a</sup>. Carla Dias e ao Eng. José Alfredo Araújo pelo apoio no ambiente de trabalho;
  - A todos os meus amigos pelo incentivo e carinho em todos estes anos nos caminhos da vida;
  - A Deus, por tantas graças alcançadas, especialmente pela conclusão desta etapa.
- Enfim, a todos que de uma forma ou outra contribuíram na realização desta pesquisa.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1. OBJETIVO GERAL.....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
3.1. INCINERAÇÃO .....	4
3.2. RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE.....	9
3.3. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL .....	11
3.4. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO .....	12
3.4.1. DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	12
3.4.2. FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.....	13
3.5. CONCRETO E CIMENTO .....	15
3.5.1. CONCRETO.....	15
3.5.2. CIMENTO PORTLAND.....	18
3.5.3. ADIÇÕES MINERAIS AO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND .....	19
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>25</b>
4.1. QUARTEAMENTO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA .....	25
4.2. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X E FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.....	28
4.3. APLICAÇÃO DE CINZAS EM CONCRETO .....	30
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>33</b>
5.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	33
5.2. ANÁLISE POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	35
5.3. ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.....	42
5.4. RESULTADOS DOS TESTES DE COMPRESSÃO .....	43
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>47</b>
<b>7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>48</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>49</b>
<b>9. ANEXOS</b> .....	<b>53</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: CONDIÇÕES NECESSÁRIAS PARA A INCINERAÇÃO COMPLETA DOS RESÍDUOS.....	6
FIGURA 2: DETALHAMENTO DAS CONDIÇÕES DE INCINERAÇÃO .....	7
FIGURA 3: INCINERADOR DA EMPRESA SERQUIP .....	8
FIGURA 4: DIAGRAMA DA REPRESENTAÇÃO DO RSS .....	10
FIGURA 5: ESPECTROS TÍPICOS CRISTALINOS E AMORFOS .....	13
FIGURA 6: REPRESENTAÇÃO DO RAIOS X .....	14
FIGURA 7: EXEMPLOS DE TRAÇO DE CONCRETO E SUAS APLICAÇÕES .....	16
FIGURA 8 : MATERIAIS QUE PODEM CONSTITUIR O CONCRETO .....	17
FIGURA 9: FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS - FISPQ-NBR 14725 .....	18
FIGURA 10: METACAULIM BRANCO PARA USO EM CONCRETO .....	19
FIGURA 11: EMPACOTAMENTO DAS PARTÍCULAS COM O CIMENTO .....	20
FIGURA 12: CASCA DE ARROZ.....	21
FIGURA 13: CAL HIDRATADA.....	22
FIGURA 14: FLUXO DA METODOLOGIA UTILIZADA .....	25
FIGURA 15: AMOSTRA DE CINZAS DE RSS.....	25
FIGURA 16: QUARTEAMENTO DA AMOSTRA – HOMOGENEIZAÇÃO .....	26
FIGURA 17: CONJUNTO DE PENEIRAS UTILIZADAS .....	27
FIGURA 18: CONJUNTO DE PENEIRAS COM AGITADOR MECÂNICO .....	27
FIGURA 19: TRITURAÇÃO DO MATERIAL PARA SUA HOMOGENEIZAÇÃO .....	28
FIGURA 20: DIFRATÔMETRO EMPYREAN PHILIPS – PANALYTICAL.....	29
FIGURA 21: ESPECTRÔMETRO <i>PANALYTICAL (PHILIPS) PW-2400</i> .....	29
FIGURA 22: BETONEIRA PARA FABRICAÇÃO DO CONCRETO.....	31
FIGURA 23: FORMA PARA A MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	31
FIGURA 24: PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	32
FIGURA 25: GRÁFICO DO PERCENTUAL DE CINZAS OBTIDA NAS PENEIRAS ...	34
FIGURA 26: GRÁFICO DA MASSA DE CINZAS RETIDAS NAS PENEIRAS.....	35
FIGURA 27: DIFRATOGRAMA DA AMOSTRA 1 .....	38
FIGURA 28: DIFRATOGRAMA DA AMOSTRA 2 .....	39

FIGURA 29: DIFRATOGRAMA DA AMOSTRA 3 .....	39
FIGURA 30: DIFRATOGRAMA DA AMOSTRA 4 .....	40
FIGURA 31: DIFRATOGRAMA DA AMOSTRA 5 .....	40
FIGURA 32: DIFRATOGRAMA DA AMOSTRA 6 .....	41
FIGURA 33: DIFRATOGRAMA DA AMOSTRA 7 .....	41

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RSS-DADOS CETESB, 1997 .....	11
TABELA 2: COMPOSIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA CONCRETO CONVENCIONAL .....	30
TABELA 3: COMPOSIÇÃO DOS PADRÕES PREPARADOS PARA CONCRETO LEVE .....	32
TABELA 4: DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA .....	33
TABELA 5: RESULTADO DA ANÁLISE DIFRATOMÉTRICA PARA A AMOSTRA .....	38
TABELA 6: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS CINZAS POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X .....	42
TABELA 7: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ESCÓRIA DE ALTO FORNO MATERIAL ADICIONADO AO CIMENTO PORTLAND NA SUA FABRICAÇÃO. ....	43
TABELA 8: DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA UTILIZADA PARA A ELABORAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DE CONCRETO .....	43
TABELA 9: RESULTADO DOS TESTES DE COMPRESSÃO DO CONCRETO SEM ADIÇÃO DE CINZAS .....	44
TABELA 10: ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS CINZAS UTILIZADAS NO CONCRETO LEVE .....	45
TABELA 11: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PADRÕES EM RELAÇÃO À REFERÊNCIA .....	45

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 : LAUDOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS CINZAS RSS (SIMILAR AO MATERIAL A SER ANALISADO).....	53
QUADRO 2- LINHAS ESPECTRAIS.....	56
QUADRO 3 : LAUDOS DE ANALISE DE CARACTERIZAÇÃO DE AMOSTRAS DE CINZAS POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X E CARACTERIZAÇÃO DE AMOSTRAS .....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RSS- Resíduos do Serviço de Saúde

CONAMA – Comissão Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Comissão de Política Ambiental

D N – Deliberação Normativa

FEAM- Fundação Estadual do Meio Ambiente

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR- Normas Brasileiras

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

A.S.T.M - American Society for Testing Materials

M.I.T-Massachusetts Institute of Technology

PS - Poliestireno

PMMA - Polimetilmetacrilato

FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

## LISTA DE SÍMBOLOS

% = Porcentagem

há = Hectare

kg = Quilograma

kgf = Quilograma Força

m = Metro

m<sup>2</sup> = Metro quadrado

m<sup>3</sup> = Metro cúbico

mL = Mililitro

mm = Milímetro

MPa = Mega Pascal

t = Tonelada

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar e caracterizar as cinzas geradas pelo processo de incineração de resíduos gerados pelo serviço de saúde, com vistas ao desenvolvimento de tecnologia para sua aplicação e reutilização. O estudo foi desenvolvido por meio das análises de granulometria, difração de raios X e fluorescência de raios X de amostra de cinzas geradas pela incineração do resíduo de serviços de saúde. Posteriormente, foi avaliada a viabilidade de se estudar a incorporação de cinzas em concreto e em concreto leve. Na análise por fluorescência de raios X, foram identificados nas cinzas os elementos silício e oxigênio em maiores concentrações, cálcio e enxofre em teores intermediários e titânio em menor concentração. As fases calcita, sulfato de cálcio, dióxido de silício e dióxido de titânio foram identificadas nas cinzas por difração de raios X. Os corpos de prova com adição de cinzas apresentaram resistência à compressão similar às dos corpos de prova sem adição de cinzas. No caso do concreto leve, a adição de cinzas ao concreto com isopor aumentou a resistência à compressão do material. Este estudo aponta para a possibilidade de reutilização das cinzas geradas pelo processo de incineração de resíduos de serviços de saúde, na fabricação de concreto, contribuindo para a minimização do montante de resíduos a serem dispostos em aterros sanitários.

## ABSTRACT

The objective of this study was to analyze and characterize the ash which was produced by the incineration of waste generated by healthcare services, aiming the development of technology for its application and reuse. The study was developed by performing granulometry, X ray diffraction, and X ray fluorescence analyzes on ash samples generated by incineration of healthcare services. The feasibility of blending ashes with concrete as well as lightweight concrete was evaluated. The results of X ray fluorescence experiments identified silicon and oxygen in high concentrations, calcium and sulfur in intermediate levels, and low contents of titanium. The solid phases of calcite, calcium sulfate, silicon dioxide and titanium dioxide were identified in the ash by X ray diffraction tests. The concrete specimens blended with ash showed compressive strength similar to those of specimens without ash addition. The addition of ash to concrete with polystyrene (lightweight concrete) increased the compressive strength of the material. This study points to the possibility of reusing the ashes generated by the process of incineration of wastes from healthcare services in the manufacture of lightweight concrete, helping to minimize the amount of waste to be disposed in landfills.

# 1. INTRODUÇÃO

Os valores que sustentavam o paradigma de desenvolvimento a qualquer preço baseavam-se na produção em larga escala e forte estímulo ao consumo, que conseqüentemente significavam uma utilização de recursos naturais além do limite de sustentabilidade. A produção em larga escala gerou grande quantidade de resíduos e a necessidade de grandes áreas para sua disposição adequada. Na segunda metade do século XX, os problemas começaram a se agravar, pois a disposição dos resíduos vai desde a definição da tecnologia de tratamento dos resíduos até a disponibilidade física de áreas apropriadas para a destinação final dos mesmos. Assim sendo, o mercado e o poder público vêm buscando soluções que aliem atitudes ecologicamente corretas a ações economicamente viáveis.

Um processo que está ganhando força e sendo aceito internacionalmente, principalmente na Europa, Estados Unidos, Japão e China é o da incineração dos resíduos sólidos.

No Brasil, o processo de incineração é ainda pouco utilizado, restrito apenas aos resíduos de serviços de saúde (RSS) e a alguns tipos de resíduos industriais (normalmente os perigosos) devido ao respectivo potencial em causar impacto ambiental. A disposição em aterros sanitários é ainda o processo mais utilizado. Todavia, muitos dos antigos aterros sanitários das grandes metrópoles brasileiras estão no final da vida útil e os novos aterros propostos encontram grande resistência para sua instalação junto às comunidades vizinhas. Desta forma, este paradigma tende a mudar em curto espaço de tempo.

Segundo MORGADO e FERREIRA (2006), as grandes vantagens do processo da incineração são as seguintes:

- Redução da massa dos resíduos entre 70% a 90%;
- Destruição das características patogênicas do resíduo devido às altas temperaturas praticadas;
- Destruição de praticamente toda a carga orgânica do material;
- Não geração das emissões de metano;
- Seu resíduo final é seco, não gerando efluentes líquidos;

- Ocupa áreas inferiores às necessárias para os aterros (sanitários ou industriais);
- Ao fim da vida do processo, as áreas destinadas às plantas de incineração podem ser imediatamente utilizadas (o que não acontece com os aterros).

Como já foi dito, o processo de incineração ainda é restrito no Brasil, não sendo utilizado como tratamento dos resíduos sólidos urbanos. No entanto, isso é apenas uma questão de tempo e de vontade política. Para viabilizar este estudo, utilizaram-se as cinzas de incineração caracterizadas como não perigosas (Classe II A, segundo os parâmetros definidos pela ABNT NBR 10.004/2004), devido a sua similaridade com os resíduos urbanos — basicamente resíduos orgânicos, plástico, papel, metais e vidro.

O presente trabalho se justifica por apresentar uma proposta de utilização de cinzas de resíduo de serviços de saúde na produção de concreto e concreto leve, em substituição de parcela do agregado cimento devido a sua composição química similar. Esta proposta contribui para reduzir a quantidade de cinzas, que poderia ser disposta em aterros, prolongando assim a vida útil destes. Além disso, a proposta poderá estimular os geradores de RSS a incinerá-lo, esterilizando-o e evitando assim que este resíduo com grande potencial patogênico seja disposto *in natura* em aterros ou até em locais inadequados; reduzindo os riscos de impactos ambientais e à saúde da população.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

Analisar, por meio de diferentes técnicas de laboratório, as cinzas do processo de incineração dos resíduos de serviços de saúde, para conhecer sua constituição básica, buscando sua aplicação em concreto e concreto leve, minimizando a destinação final das cinzas em aterros sanitários.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Realizar a análise granulométrica das cinzas provenientes da incineração de resíduos de serviços de saúde;
- Caracterizar a estrutura cristalina da amostra de cinzas, por meio de difração de raios X;
- Realizar a caracterização química elementar das cinzas por meio da técnica de fluorescência de raios X;
- Comparar os resultados obtidos entre as diversas técnicas utilizadas;
- Sugerir aplicação para as cinzas, produto da incineração de resíduos da saúde;

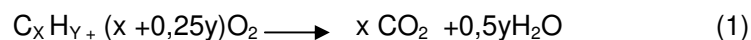
### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Incineração

Incineração como técnica de tratamento de resíduos é uma prática que existe há aproximadamente cem anos, desde que a primeira unidade foi instalada na cidade de Nottingham, Inglaterra. Os incineradores sempre foram associados às instalações que emitiam forte odor e uma fumaça preta característica (PHILIPPI JR; ROMÉRIO; COLLET, 2004-a).

A princípio, a incineração visava unicamente à redução de volume dos resíduos para aumentar a capacidade dos aterros industriais. Atualmente, a incineração tem também como meta a eliminação de resíduos tóxicos ou perigosos, provocando sua combustão e gerando como subprodutos escórias, gases e cinzas volantes (HENRIQUES, 2004).

É bastante comum na literatura encontrar a denominação destruição de resíduos. Na realidade, a palavra destruição, do ponto de vista formal, não pode ser usada neste sentido. Entretanto, é aceita em função de seu uso disseminado em todas as línguas (PHILIPPI JR; ROMÉRIO; COLLET, 2004-a). No incinerador, ocorrem reações de oxidação e de decomposição dos resíduos. De forma bem simplificada, os produtos orgânicos (restos de alimentos, tecidos plásticos) são compostos de ligações envolvendo carbono e hidrogênio. No incinerador, acontece a oxidação ou combustão destes compostos segundo a reação esquemática:



A reação de combustão de produtos orgânicos normalmente libera calor, que é transferido para os gases e para o material sólido. Este calor transferido para os gases pode ser aproveitado na saída do forno, usando-se trocadores de calor, esse é o princípio para a reciclagem energética de resíduos com cogeração de energia (*waste to energy*). Independente do aproveitamento do potencial térmico das reações de oxidação da matéria orgânica, praticamente toda a matéria orgânica sólida pode ser transformada em gases, dependendo das condições de incineração, portanto há uma efetiva redução de volume.

Por outro lado, os produtos inorgânicos podem sofrer decomposição térmica e, nesse caso, há também perda de massa. As equações seguintes mostram casos de decomposição térmica:



Há, portanto, a formação de gases e de óxidos. Os metais eventualmente presentes se oxidam total ou parcialmente, e esses óxidos metálicos, por sua vez, geram escória que fica no reator.

Alguns compostos têm alta pressão de vapor na temperatura de trabalho e são eliminados na forma de vapor, por exemplo, compostos halogênicos e alguns óxidos metálicos. Esses vapores se condensam no sistema de tratamento de gases, formando, junto com os produtos de combustão incompleta, as cinzas volantes.

De acordo com HENRIQUES (2004), incineradores são basicamente reatores com câmaras de alta temperatura e atmosferas oxidantes. Para que a oxidação e/ou decomposição completa dos resíduos possa ocorrer, devem-se controlar de forma criteriosa as condições de combustão. Os fatores que devem ser controlados estão representados na Figura 1 e são:

- Quantidade de oxigênio disponível na câmara de combustão. Deve-se garantir que exista oxigênio suficiente para a total oxidação dos resíduos.
- Turbulência. Há que se garantir a constante mistura entre os resíduos e a atmosfera do forno. A maior turbulência favorece as reações de combustão e diminui a decomposição térmica e o tempo de permanência dentro da câmara aquecida, garantindo assim o melhor rendimento do forno.
- Temperatura de Combustão. É necessário manter o sistema em uma temperatura em que se possa garantir a total degradação dos compostos orgânicos. De uma forma geral, o tempo de permanência diminui com o aumento da temperatura. Não basta apenas trabalhar com uma temperatura elevada, é preciso que haja homogeneidade de temperatura no reator para garantir o tempo de permanência na faixa de temperatura desejada.
- Tempo de Permanência dos Compostos na Temperatura de Combustão. Os resíduos devem permanecer na região de alta temperatura por tempo suficiente para sua total combustão ou decomposição, e, para isso, deve-se observar a

cinética de oxidação dos compostos. A permanência dos compostos em altas temperaturas por tempo insuficiente provoca a produção de produtos perigosos de combustão incompleta. Tais produtos podem ser fontes de poluição do ar (PHILIPI JR; ROMÉRIO; COLLET, 2004-a).

A Figura 1 mostra um esquema das condições para a oxidação ou decomposição completa dos resíduos durante o processo de incineração.



Figura 1: Condições necessárias para a incineração completa dos resíduos

Fonte: PHILIPI JR; ROMÉRIO; COLLET, 2004-a e HENRIQUES, 2004

Assim, todos estes quatro fatores devem ser continuamente controlados, e a negligencia em apenas um deles resulta na eliminação incompleta dos resíduos, o que pode acarretar a geração de produtos perigosos de combustão incompleta. Para que todas essas condições possam ser alcançadas para os diferentes tipos e formas físicas dos resíduos, foram desenvolvidos incineradores de diferentes configurações. São quatro os tipos mais comuns de incineradores: de forno rotativo, de injeção líquida, de leito fixo, e de leito fluidificado (PHILIPI JR; ROMÉRIO; COLLET, 2004-a).

Além dos controles intrínsecos do processo de incineração, existe a necessidade do controle de subprodutos do processo. Provavelmente, a parte mais crítica de um incinerador está no controle de emissões, seja de material particulado, seja de gases. Portanto, o sistema de controle de poluição é tão importante quanto o reator propriamente dito (HENRIQUES, 2004).

Os gases saem do incinerador com temperaturas na faixa de 800°C a 1000°C. Assim, seu resfriamento é necessário para que o tratamento contra a poluição atmosférica seja feito. O resfriamento normalmente se faz em trocadores de calor, que, além de resfriar os gases, aproveitam o calor deles, transformando-os em energia ou vapor, que é usado para cobrir as despesas de incineração (HENRIQUES, 2004).

O material particulado resultante é controlado por equipamentos como filtros de manga, precipitadores eletrostáticos e lavadores Venturi (PHILIPPI JR; ROMÉRIO; COLLET, 2004-a). Em razão da presença de cloretos, enxofre e nitrogênio na carga, existe sempre a possibilidade de formação de gases ácidos na saída (HCl, SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>). A forma considerada mais eficiente é o resfriamento dos gases por lavadores com jatos de água contendo cal, seguido por filtros manga. Essa técnica permite a condensação dos metais e minimiza a formação de dioxinas e furanos.

A Figura 2 apresenta o detalhamento das condições do processo de incineração e a Figura 3 o incinerador da Empresa SERQUIP, que trabalha na temperatura entre 800°C à 1400°C, com emissões tratadas e que gera, como resíduo, cinzas entre 10% a 30% do material de entrada. A Empresa SERQUIP é a fornecedora do material (cinzas de RSS) para o presente estudo.

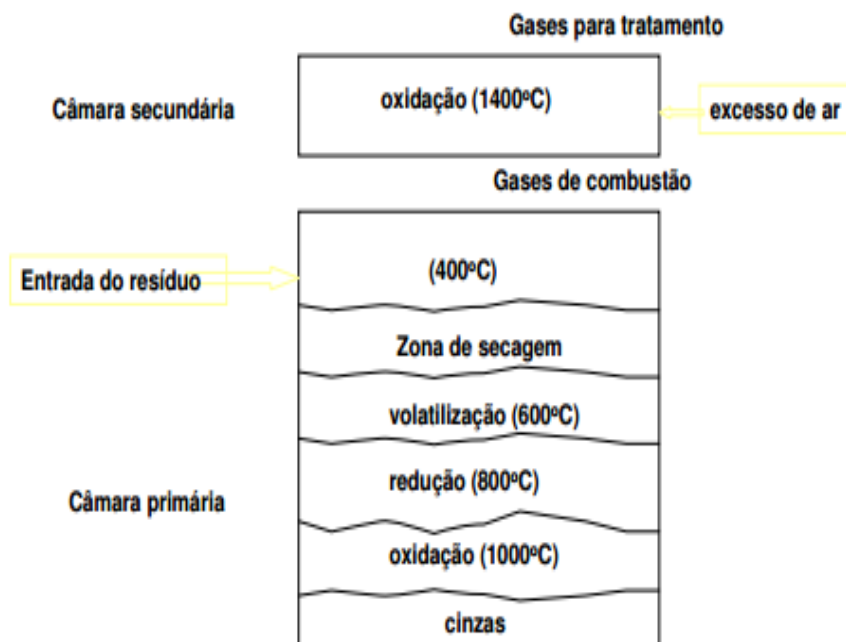


Figura 2- Detalhamento das condições de incineração



Figura 3- Incinerador da Empresa SERQUIP

Segundo MORGADO e FERREIRA (2006), apesar de apresentar tantas vantagens, a incineração é um processo que gera ainda um volume grande de resíduos (cinzas e em alguns casos escórias). A média de geração de lixo no Brasil hoje é de 1,152 kg por habitante por dia, padrão próximo aos dos países da União Européia, cuja média é de 1,2 kg por dia por habitante. Os dados fazem parte do estudo da ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais): “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2009”, que abrangeu 384 municípios brasileiros (ABRELPE, 2010). Ao se analisar a situação de um município com 300.000 habitantes, tem-se que a geração de lixo diária é de 346 toneladas por dia. Ao se incinerar este volume, obtém-se uma redução em torno de 90% (MENEZES et al., 2002), mas haverá ainda 35 toneladas a serem dispostas em aterros para cinzas.

Segundo LEMOS (2005), ao se analisar a área necessária para a instalação de um aterro tem-se:

Considerando o peso específico da cinza  $1t/m^3$  ( $1m^3 = 1 t$ )

$35 m^3/dia \times 365 dias \times 25 anos$  (tempo de vida útil do aterro) =  $319.375m^3$

- Cobertura = 10%
- $319.375 \text{ m}^3 / 0,90 = 354.861 \text{ m}^3$
- Profundidade 4m
- $354.861 \text{ m}^3 / 4\text{m} = 88.715 \text{ m}^2$
- Vias de Circulação, Administrativo (escritório), portaria, etc. = 30%
- $88.715 \text{ m}^2 / 0,70 = 126.736 \text{ m}^2 = 13 \text{ ha}$  ou  $130.000 \text{ m}^2$

Ao se comparar a área necessária para os 25 anos de vida útil do aterro para cinzas a um campo de futebol oficial (FIFA, 2011) tem-se que:

Área do Campo de futebol =  $110\text{m} \times 75\text{m} = 8.250 \text{ m}^2$  área necessária para abrigar as cinzas advindas do processo de queima dos resíduos no período igual a vinte e cinco anos de vida útil seria superior a 15 campos de futebol.

### 3.2. Resíduos de Serviço de Saúde

Resíduos hospitalares infecciosos, lixo hospitalar, resíduos sólidos hospitalares ou como a ABNT 10004/2004 denomina: resíduos de serviços de saúde são os resíduos efetivamente ou potencialmente contaminados, provenientes dos vários serviços de saúde, cujas características podem determinar perigo à saúde humana ou ao meio ambiente quando imprópriamente tratados, armazenados, transportados e destinados (ANDRADE, 1997).

Conforme apresentado na Figura 4, basicamente os resíduos de serviços de saúde são divididos em não séptico ou domiciliar, séptico e especial (PHILIPPI JR; ROMÉRIO; COLLET, 2004-b). O lixo não séptico é gerado nas áreas onde não há risco de contaminação, como a área administrativa de um hospital. O lixo séptico corresponde ao gerado nas regiões onde existe contato com o paciente. Por sua vez, os resíduos especiais são todos os materiais provenientes das unidades de medicina nuclear, radioterapia, radiologia e quimioterapia. Os resíduos de serviços de saúde podem conter microorganismos patogênicos, entre os quais bactérias, fungos e vírus. Assim, o lixo hospitalar é um potencial transmissor de doenças. O RSS é gerenciado seguindo a recomendação da ANVISA (Resolução – RDC nº 306, de sete de dezembro de 2004- DOU de 10/12/2004) Regulamento Técnico para o Gerenciamento

de Resíduos de Serviços de Saúde e Resolução CONAMA 358/2005 que dispõe sobre o tratamento e disposição final dos RSS.

Os resíduos de serviços de saúde devem ser processados em sua origem, separando o que é contaminado e o que não é para posterior destinação. Existe uma série de procedimentos para a separação e o manuseio destes tipos de resíduos que incluem, por exemplo, sacos de cor branca leitosa com uma cruz vermelha e a inscrição “lixo hospitalar” (NBR 9191), e frequência de coleta de uma a duas vezes ao dia.

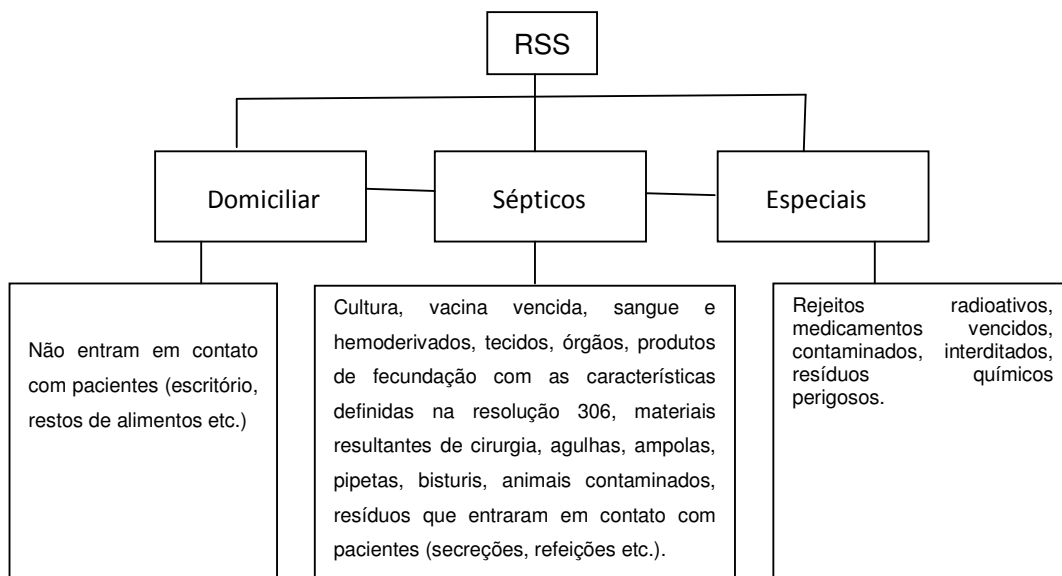


Figura 4- Diagrama da representação do RSS

O tratamento mais usado para este tipo de resíduos é a incineração; as cinzas e escórias geradas devem ser destinadas a aterros sanitários (PHILIPPI JR; ROMÉRIO; COLLET, 2004-b). A Tabela 1 apresenta a caracterização física dos resíduos de saúde conforme COSTA (2007)

Tabela 1: Caracterização física dos RSS(%). Dados CETESB, 1997.

## ANÁLISES FÍSICAS DOS RSS POR SETORES NOS HOSPITAIS A E B

ANÁLISES FÍSICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS POR SETORES NOS HOSPITAIS A e B												
MATERIAIS	SETORES (UNIDADES)											
	C.CIRURGIA		COPA/COZ.		ENF./INT.		LABORAT.		PS/AMB		UTI	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Papel	36,8	40,4	9,25	5,20	43,70	56,85	33,30	38,35	62,10	40	37,2	32,2
Vidro	-	2,8	-	-	5,25	-	37,30	15,50	-	9,4	5,8	8,5
Plástico	35,1	22,6	3,00	4,8	32,05	5,40	10,70	24,4	19,25	38,8	39	44,1
Metal	2,8	1	-	16,25	0,80	-	4	-	2,05	-	0,2	-
Tecido	15,8	22,7	0,20	-	5,85	22,20	-	14	5	11,8	2,8	6,8
M.O.	-	1,7	83	70	11,00	2,80	-	-	7,2	-	-	2,7
Borracha	8,1	3,3	-	-	1	4,35	-	-	0,4	-	14,2	1,7
Madeira	-	-	-	-	0,35	0,80	-	-	0,6	-	-	-
Outros	1,4	6,5	4,50	3,70	-	7,60	14,70	7,7	3,4	-	0,8	4
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: COSTA, 2007

### 3.3. Legislação Ambiental

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010, estimula fortemente a reutilização de resíduos em processos, como por exemplo, o da construção civil. Evidencia-se este estímulo citando os incisos da citada Lei, a seguir descritos:

“a cooperação técnica e financeira entre os setores públicos e privados para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos” (PNRS-Lei 12.305/2010, Capítulo III, Artigo 8º. , Inciso VI)

“Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.” (PNRS - Lei 12.305/2010, Capítulo I, Disposições preliminares, Artigo 9º.)

Para que haja a possibilidade de se utilizar resíduos nos processos, é necessário que o empreendedor se regularize ambientalmente, licenciando a sua

atividade junto ao órgão ambiental local seguindo os preceitos dos regulamentos estabelecidos para o licenciamento. Em Minas Gerais, a FEAM (Fundação Estadual de Meio Ambiente) é a referencia e a regulação legislativa é a DN COPAM 74/04, que enquadra os processos em porte e potencial poluidor por seguimento de atividades, especificando o passo a passo do processo que deverá ser seguido para a obtenção da licença ambiental.

### **3.4. Ensaio de caracterização**

#### **3.4.1. Difração de raios – X**

É fundamental, para o engenheiro de materiais, conhecer a estrutura cristalina e a microestrutura de um material para poder entender suas propriedades (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002). O termo estrutura cristalina envolve o arranjo dos átomos, enquanto que o termo microestrutura engloba desde os constituintes estruturais tais como composição presente, fases, quantidades, inclusões até contornos de grãos, trincas, vazios, e maclas (intercrescimento de dois ou mais cristais de mesmo mineral). Uma das técnicas de análise estrutural e microestrutural mais empregada para identificar os diferentes materiais é a difração de raios X. Um cristal pode ser definido como um arranjo ordenado e periódico de átomos formando um sólido ou parte dele como um grão, por exemplo. Esta repetição periódica é devido à coordenação atômica no interior do material, na busca de minimizar a energia volumétrica contida no cristal. Essa repetição periódica pode ser responsável também pela forma externa do cristal como acontece com o cloreto de sódio, o quartzo ou topázio cristalino encontrado na natureza. Desta forma, cristais (sólidos) se diferem fundamentalmente dos gases e líquidos (fluidos) por estes não possuírem uma exigência essencial que é a periodicidade do seu arranjo atômico. Nem todos os sólidos são cristalinos; alguns são totalmente amorfos (sem forma definida) como os vidros e alguns polímeros como o poliestireno (PS) e o polimetilmetacrilato (PMMA). A técnica de análise estrutural por raios X se baseia na presença de uma rede cristalina ou na periodicidade do arranjo atômico. Esta é a principal limitação da técnica, ou seja, a técnica de difração de raios X não se aplica a materiais sólidos totalmente amorfos como os vidros ou polímeros e nem a líquidos (CALLISTER, 2009).

Os materiais sólidos podem ser classificados de acordo com a regularidade na qual os átomos ou íons se dispõem em relação a seus vizinhos. Material cristalino é aquele no qual os átomos encontram-se ordenados sobre longas distâncias atômicas formando uma estrutura tridimensional que se chama de rede cristalina. Todos os metais, muitas cerâmicas e alguns polímeros formam estruturas cristalinas sob condições normais de solidificação. Nos materiais não-cristalinos ou amorfos, não existe ordem de longo alcance na disposição dos átomos. A Figura 5 apresenta espectros típicos de materiais cristalinos e amorfos. Algumas cerâmicas e polímeros não apresentam estrutura cristalina. Há um número grande de diferentes estruturas cristalinas, desde estruturas simples exibidas pelos metais até estruturas mais complexas exibidas pelos cerâmicos e polímeros (SHACKELFORD, 2008).

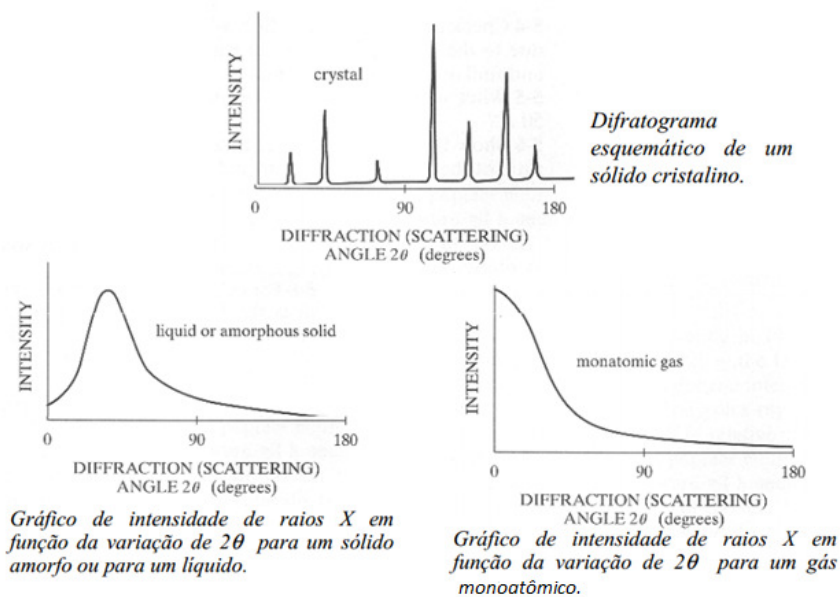


Figura 5 - Espectros típicos cristalinos e amorfos

Fonte: CALLISTER, 2009.

### 3.4.2. Fluorescência de raios X

A espectrometria de fluorescência de raios X é uma técnica não destrutiva que permite identificar os elementos presentes em uma amostra (análise quantitativa ou semi-quantitativa) assim como estabelecer a proporção (concentração) em que cada elemento se encontra presente na amostra (OLIVEIRA, 2011). Na espectrometria de

fluorescência de raios X, uma fonte de radiação de elevada energia (radiação gama ou radiação X) provoca a excitação dos átomos da substância que se pretende analisar.

Quando o átomo no estado fundamental fica sob a ação de uma fonte externa de energia, ele absorve esta energia, promovendo elétrons a maiores níveis energéticos. Neste estado, o átomo estará numa situação instável, chamado “estado excitado”. O átomo excitado tende, naturalmente, a retornar ao seu estado fundamental, ocorrendo uma emissão de energia. Esta energia envolvida na absorção é uma característica específica de cada elemento químico, permitindo a sua identificação e correspondente quantificação (OLIVEIRA, 2011).

A análise por espectrometria de fluorescência de raios X é baseada no fato de que os elementos químicos emitem radiações características quando submetidos a uma excitação adequada. A emissão de espectros de linha característica pode ser induzida pelo impacto de partículas aceleradas, tais como elétrons, prótons, partículas  $\alpha$  e íons. E, também, pelo impacto das radiações de alta energia a partir de um tubo de raios X ou de uma fonte radioativa. Geralmente, a excitação direta do elétron é utilizada em técnicas de microsonda eletrônica, enquanto as fontes de radioisótopos e geradores de prótons são comumente associadas à de energia do elétron.

Um átomo ao receber uma descarga de raios X tem um elétron removido, este elétron é retirado da camada atômica de menor energia, deixando um vazio (Figura 6). Este vazio é preenchido por um elétron de maior energia e, neste processo, há liberação de energia (fluorescência) desprendida na forma de um fóton de raios X.

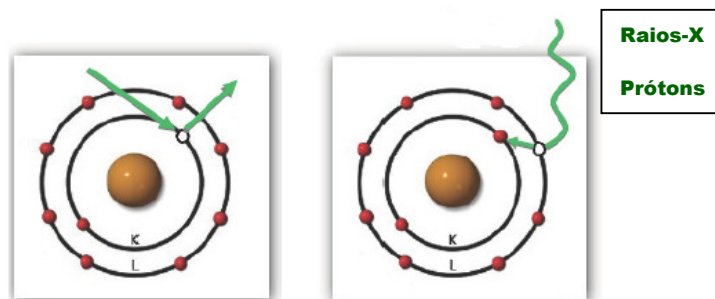


Figura 6: Representação de raios X

Fonte: OLIVEIRA, 2011; apud Manual ARL 9900 intellipower Series nº AA83654-02, Thermo Fisher Scientific, 2007

A radiação emitida pela amostra demonstra as características de comprimento de onda dos elementos presentes na amostra. O feixe refletido é guiado em um sistema chamado dispersivo, produzindo espectros de linhas que estão diretamente relacionados com os elementos presentes na amostra.

A natureza da energia fornecida pode variar dependendo da técnica. Por exemplo, em um experimento de raios X, os átomos são expostos a radiação X (chamado de raios X primários), enquanto na técnica de emissão óptica utiliza-se uma descarga elétrica ou uma fonte de plasma de alta temperatura para proporcionar certa quantidade de energia (OLIVEIRA, 2011).

## 3.5. Concreto e Cimento

### 3.5.1. Concreto

O concreto ou betão é o material mais utilizado na construção civil, composto por uma mistura de Cimento Portland, areia, pedra e água, além de outros materiais eventuais, os aditivos e as adições (METHA; MONTEIRO, 1994).

Historicamente, os romanos foram os primeiros a usar uma versão deste material conhecida por *pozzolana*. No entanto, o material só veio a ser desenvolvido e pesquisado no século XIX.

Concreto é o material de construção obtido pela mistura de um aglomerante, de agregados miúdos e graúdos e de água, ou seja, é a associação íntima entre um aglomerante, um agregado miúdo, um agregado graúdo, água, além de ferragens quando armado.

Quando armado com ferragens passivas (não tem tensões iniciais), recebe o nome de concreto armado, e quando for armado com ferragens ativas (com tensões prévias) recebe o nome de concreto protendido ou betão pré-esforçado (METHA; MONTEIRO, 1994). Além disso, existem vários tipos de concretos especiais, como o concreto autoadensável, concreto leve, concreto pós-reativo, concreto translucido, concreto colorido, concreto com fibras, que são utilizados de acordo com necessidades específicas de cada projeto. Sua resistência e durabilidade dependem

da proporção entre os materiais que o constituem. A mistura entre os materiais constituintes é chamada de dosagem ou traço.

Traço é a relação, em volume, entre o cimento, o agregado miúdo (areia grossa lavada) e o agregado graúdo (brita, pedregulho, cascalho). Alguns exemplos podem ser observados na Figura 7.

O traço simples se refere a apenas um aglomerante e o traço composto a mais de uma aglomerante, por exemplo, Ex. 1:2:8 (cimento + cal + areia). Quanto maior a proporção de aglomerante, maior a resistência, aumentando também o custo.

## Traços e aplicações

<b>Usos e Indicações das Argamassas</b>	
<b>Alvenaria de pedra em fundações e baldrame</b>	
Cimento + areia grossa	1:16
Cimento + cal + areia grossa	1:2:12
<b>Muro de arrimo, alvenaria de pedra</b>	
Cimento + areia grossa	1:5
<b>Alvenaria de tijolos</b>	
Cimento + areia ou saibro	1:8
Cimento + areia + 10% de terra vermelha peneirada	1:8
Cimento + saibro + areia	1:3:9
Cal + areia	1:4
Cimento + cal + areia	1:2:8 – 1:2:10

Figura 7- Exemplo de traços de concreto e suas aplicações

A água utilizada contribui para a reação química que transforma o Cimento Portland em uma pasta aglomerante (PETRUCCI, 1998). Se a quantidade de água for muito pequena, a reação não ocorrerá por completo e também a facilidade de se adaptar às formas ficará prejudicada, porém se a quantidade for superior à ideal, a resistência diminuirá em função dos poros que ocorrerão quando este excesso evaporar. A porosidade, por sua vez, tem influência na permeabilidade e, conseqüentemente, na durabilidade das estruturas confeccionadas em concreto. A proporção entre a água e o cimento utilizados na mistura é chamada de fator água/cimento.

As proporções entre areia e brita na mistura tem influência na facilidade de se adaptar às formas e na resistência do concreto.

A relação água/cimento influencia as seguintes propriedades do concreto:

- Trabalhabilidade
- Porosidade
- Permeabilidade
- Resistência à compressão
- Durabilidade

Segundo PETRUCCI (1998), os materiais que podem constituir o concreto para elaborar as associações discriminadas na Figura 8 são :

- Aglomerante — Cimento Portland;
- Agregado Miúdo — areia natural ou artificial (pó de pedra beneficiado), pó de pedra;
- Agregado Graúdo — pedra britada ou seixo natural;
- Água — pode ter parte ou totalidade substituída por gelo;
- Aditivo — plastificante, retardador de pega;
- Adições — metacaulim, cinza volante, pozolanas, cal, pó de pedra;
- Aço – Barras de aço (CA-25, CA-32, CA-40, CA-50) e cordoalhas;



Figura 8: Materiais que podem constituir os concretos

Fonte: FURQUIM, 2006

Dentre os concretos especiais, estão os concretos leves, caracterizados pela redução na sua massa específica. Esta redução é obtida pela substituição do material sólido por ar, que se faz introduzindo vazios na massa do concreto, com a incorporação de ar ou espuma, ou, formando vazios entre as partículas de agregados, produzindo o concreto sem finos, ou ainda, utilizando agregados com altos índices de vazios (NEVILLE 1997).

Os concretos leves são reconhecidos pela sua elevada capacidade de isolamento térmico e acústico e sua reduzida densidade, a qual diminui a sua resistência e impede a sua utilização para fins estruturais. No entanto, tem sido amplamente aplicado no enchimento e regularização de lajes, pisos e elementos de vedação, dentre outras exigências específicas de algumas obras (REDIMIX, 2012).

Os concretos leves mais utilizados são os celulares, os sem finos e os produzidos com agregados leves, como vermiculita, argila expandida e isopor.

### 3.5.2. Cimento Portland

Segundo a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos-FISPQ-NBR 14725, os materiais constituintes do Cimento Portland são apresentados na Figura 9:

2 COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE INGREDIENTES		
<b>Produto químico preparado CAS 65997-15-1</b>		
O cimento Portland é constituído basicamente de clínquer portland finamente moído e gesso. Podem, ainda, ser adicionados outros materiais normalizados dependendo do tipo que se deseja. Pode ter a seguinte composição, conforme a mistura que for preparada:		
Componente	Faixa de concentração (%)	Número CAS
Silicato tricálcico .....	20-70 .....	12168-85-3
Silicato dicálcico .....	10-60 .....	10034-77-2
Ferro-aluminato de cálcio .....	5-15 .....	12068-35-8
Sulfato de cálcio .....	2-10 .....	vários
Aluminato tricálcico .....	1-15 .....	12042-78-3
Carbonato de cálcio .....	0-5 .....	1317-65-3
Óxido de magnésio .....	0-4 .....	1309-48-4
Óxido de cálcio .....	0-0,2 .....	1305-78-8
Figura 9: Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos-FISPQ-NBR 14.725 Composição do Cimento Portland Fonte: Votorantim Cimentos SA		

### 3.5.3. Adições Minerais ao concreto de cimento Portland

Os agregados minerais são compostos por uma mistura que pode reunir pó de quartzo, materiais metálicos, escória granulada de alto forno, sílica ativa, metacaulim (Figura 10), pigmentos e aditivos. O uso dessas adições tem proporcionado concretos cada vez mais resistentes e duráveis, segundo PETRUCCI (1998).

Quando se substitui parte de Cimento Portland por cinza volante, cinza de casca de arroz, escória de alto-forno, sílica ativa, cada uma destas adições minerais atua de modo distinto, de acordo com sua granulometria e atividade química ou física (FURQUIM, 2006).



Figura 10: Metacaulim branco para uso em concreto

Fonte: FURQUIM, 2006

O desenvolvimento das reações pozolânicas proporciona a formação de compostos hidratados mais homogêneos e induz a uma diminuição nos teores de hidróxido de cálcio na solução dos poros do concreto, originando uma pasta mais densa e homogênea, substituindo poros grandes por menores, o que dificulta o ingresso e deslocamento de agentes agressivos no interior da pasta. Por efeito físico, as partículas pequenas propiciam um maior empacotamento com o cimento e diminuem o efeito parede da zona de transição, promovendo o aumento da resistência do concreto. A proporção para substituição do cimento por adições varia conforme o tipo de adição (FURQUIM, 2006). O empacotamento das partículas com o cimento é mostrado na Figura 11.

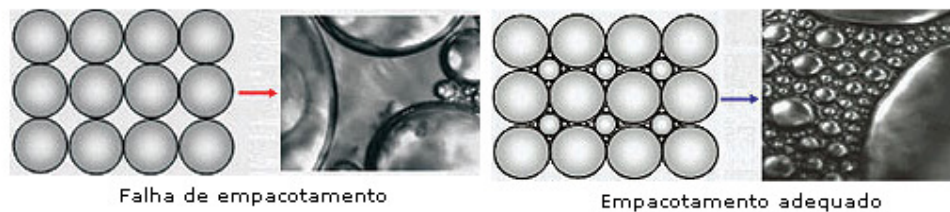


Figura 11: Empacotamento das partículas com o cimento

Fonte: FURQUIM, 2006

Segundo FURQUIM (2006), o uso de adições minerais traz grande benefício à sociedade, por dar um destino a esses resíduos e, principalmente, por reduzir o consumo de energia e poluição do ar, gerados pela produção do cimento, ao substituir grande parte desse produto na indústria da construção civil. De acordo com o tipo de adição e dosagem, diversas características importantes podem ser obtidas:

- Redução do calor de hidratação;
- Incremento de resistência em idades avançadas;
- Melhora da coesão;
- Diminuição da exsudação;
- Melhoria da fluidez do concreto;
- Melhoria da resistência na zona de transição entre a pasta e o agregado;
- Redução da permeabilidade;
- Influência na resistividade elétrica;
- Aumento da resistência química.

Segundo METHA e MONTEIRO (1994), as pozolanas são materiais silicosos ou sílico-aluminosos que em si mesmo possuem pouca ou nenhuma propriedade cimentante, mas, numa forma finamente dividida e na presença de umidade, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio a temperatura ambiente para formar compostos com propriedades cimentantes.

As pozolanas podem ser naturais, materiais de origem vulcânica (KHENDAKER; HOSSAIN, 2004), geralmente ácida, ou de origem sedimentar; podem também ser artificiais, materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica (NBR 5.736/91). Exemplos mais comuns de pozolanas são listados a seguir:

**Sílica ativa** – mais utilizada em concreto de alto desempenho em todo mundo. Sua contribuição consiste na alta reatividade nas primeiras idades, induzindo a um aumento nas resistências mecânicas iniciais e finais; diminuição da taxa de absorção e aumento da resistência capilar.

**Cinza volante** – melhora a coesão, diminuindo a exsudação e a segregação, facilitando a operação de transporte, lançamento e o acabamento, pois ocorre o retardamento do tempo de pega, redução do calor de hidratação; redução da permeabilidade e aumento da durabilidade, de acordo com PERA (1997), METHA e RAVINA (1988).

**Cinza de casca de arroz** (Figura 12) - apresenta comportamento similar ou até superior à sílica ativa. Por isso, alguns pesquisadores a consideram como uma 'superpozolana', quando obtida por meio de queima controlada (ZHANG; LASTRA; MALHOTRA, 1996).



Figura 12: Casca de arroz

Fonte: FURQUIM, 2006

**Filler calcário** – devido às suas propriedades físicas, tem um efeito benéfico sobre as propriedades do concreto convencional, tais como densidade, exsudação, permeabilidade e capilaridade. Não possui atividade pozolânica, sendo quimicamente inerte.

**Cal hidratada** (Figura 13) – tem por finalidade repor, parcialmente ou totalmente, as reservas de hidróxido de cálcio para as reações pozolânicas e, ainda, restabelecer a reserva alcalina do concreto, a qual sofre decréscimo variável

dependendo da reatividade e teor de cada adição. A adição de cal hidratada diminui a porosidade total, com a formação de uma estrutura mais densa e acelera a taxa de hidratação do cimento.



Figura 13: Cal hidratada

Fonte: FURQUIM, 2006

Embora em outros países, seja corrente o emprego da escória de alto forno em canteiros de obras ou usina, onde ela é adicionada ao concreto preparado com Cimento Portland tradicional. No Brasil, essa prática é restrita por razões diversas, incluindo-se a falta de dados técnicos e desenvolvimento de métodos a respeito (PETRUCCI, 1998).

NEVILLE (1982) afirma que o nome Cimento Portland é usado até hoje para designar um cimento obtido pela mistura apropriada de materiais calcários e argilosos, ou outros materiais contendo sílica, alumina e óxidos de ferro, aquecidos a uma temperatura necessária para a clinquerização e moendo-se o clinquer resultante. Os componentes principais do Cimento Portland, determinados por análise química, consistem em cal ( $\text{CaO}$ ), sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnésia ( $\text{MgO}$ ), álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) e sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Essas substâncias reagem entre si no forno, dando origem a uma série de produtos mais complexos.

Segundo METHA e MONTEIRO (1994), as características dos agregados que são importantes para a tecnologia do concreto incluem porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes.

De acordo com FONSECA e GOMES (2010), as características de superfície, a distribuição granulométrica das partículas e a morfologia da cinza volante

empregada como adição mineral ao concreto exercem grande influência sobre o consumo de água, a trabalhabilidade do concreto fresco e a velocidade de desenvolvimento da resistência no concreto endurecido.

Atualmente, o aproveitamento de resíduos na construção civil tem sido estimulado por ser este um dos maiores consumidores de materiais naturais em seus processos e produtos. As cinzas agroindustriais ocupam lugar de destaque dentre os resíduos com possibilidades de aplicação em materiais cimentícios, pois algumas, como a cinza da casca do arroz (ZHANG; LASTRA; MALHOTRA, 1996), apresentam propriedades pozolânicas, contribuindo para a redução do consumo de cimento Portland. Nesse sentido, LIMA (2007) pesquisou a avaliação da viabilidade técnica do uso da cinza da casca da castanha de caju como adição mineral em matrizes de cimento Portland. Foram realizados ensaios para avaliação da composição química e a determinação da fase amorfa (LIMA, 2007) RODRIGUES; BERALDO (2010) e ZHANG; LASTRA; MALHOTRA (1996) relataram a utilização da cinza de casca de arroz residual como substituta parcial do cimento na produção de argamassas. A caracterização da cinza de casca de arroz foi realizada por meio da análise de fluorescência de raios X (composição química), análise do teor de carbono e difração de raios X; também foi realizada análise granulométrica a laser. A atividade pozolânica da cinza de casca de arroz é caracterizada pela capacidade da sílica, presente em misturas com cimento ou cal no estado amorfo, de solubilizar-se no meio alcalino, reagindo em solução com íons de cálcio liberados nas reações de hidratação do cimento, e formar compostos estáveis (monossilicatos de cálcio) — dotados de poder aglomerante (silicatos e aluminatos de cálcio). Assim, quanto maior for a quantidade de sílica amorfa, maior será a possibilidade de se aprimorar a resistência da argamassa (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

De acordo com REIS (2008), o concreto pode ser entendido como uma concentração de partículas sólidas em suspensão (agregados) em um líquido viscoso (pasta de cimento). Por sua vez, a pasta de cimento não se configura como um líquido homogêneo, sendo composta por partículas (grãos de cimento) e um líquido (água). Em uma escala macroscópica, o concreto fresco flui como um líquido. Se o concreto fresco se comporta como um líquido, sendo considerado um líquido bifásico, os conceitos da reologia têm sido aplicados ao estudo do comportamento do concreto no estado fresco.

O comportamento do concreto fresco é dependente da viscosidade da matriz (pasta de cimento) e da quantidade de agregados o que justifica a importância de se estudar a reologia do concreto fresco, da pasta de cimento e da argamassa. As propriedades reológicas do concreto no estado fresco são importantes principalmente no período em que o material é lançado nas fôrmas e podem ser determinadas em qualquer momento durante o período de indução da hidratação do cimento. As características reológicas da pasta de cimento no estado fresco podem ser influenciadas por diversos fatores, tais como: relação água/cimento, idade da pasta, características do cimento, natureza das adições químicas e minerais incorporados à mistura, e procedimentos de mistura empregados na sua produção. Além desses, o comportamento no escoamento das pastas de cimento são influenciadas pelas condições de ensaio durante as determinações (dependência do tempo e da intensidade de mistura) e pela temperatura (FERRARIS; OBLA; HILL, 2000).

A sílica ativa é usada na otimização da granulometria dos materiais cimentícios, pelo fato de ela ser muito fina e com os grãos esféricos. BACHE (1981) apontou as vantagens da utilização da sílica ativa. Ele afirma que quando as minúsculas partículas esféricas estão bem dispersas no sistema cimento-água, elas podem deslocar moléculas de água da vizinhança dos grãos de cimento. Dessa forma, moléculas de água presas entre partículas de cimento (floculadas) podem ser liberadas e assim contribuir para fluidificar a mistura. Isto provoca um aumento na tensão de escoamento e na viscosidade plástica do concreto. Porém, a substituição de parte do cimento por uma adição mineral também pode resultar em uma redução de ambos os parâmetros reológicos do concreto. A granulometria melhorada do aglomerante e o efeito lubrificante concedido pelas pequenas partículas de sílica possivelmente reduzem o imbricamento entre os agregados e, conseqüentemente, a tensão de escoamento e a viscosidade plástica do material (NEHDI; MINDESS; AITCIN, 1998). De acordo com WALLEVIK *apud* TATTERSALL (1991), a incorporação de sílica ativa — em substituição ao cimento até um determinado valor limite, que depende do teor de cimento e diminui com a redução do teor de água — reduz a viscosidade plástica em até 50%. A tensão de escoamento é praticamente constante até que o valor limite para a substituição de cimento por sílica ativa seja alcançado e, a partir daí, ela aumenta consideravelmente.

## 4.0 – Metodologia

A metodologia utilizada segue o fluxo apresentado na Figura 14:

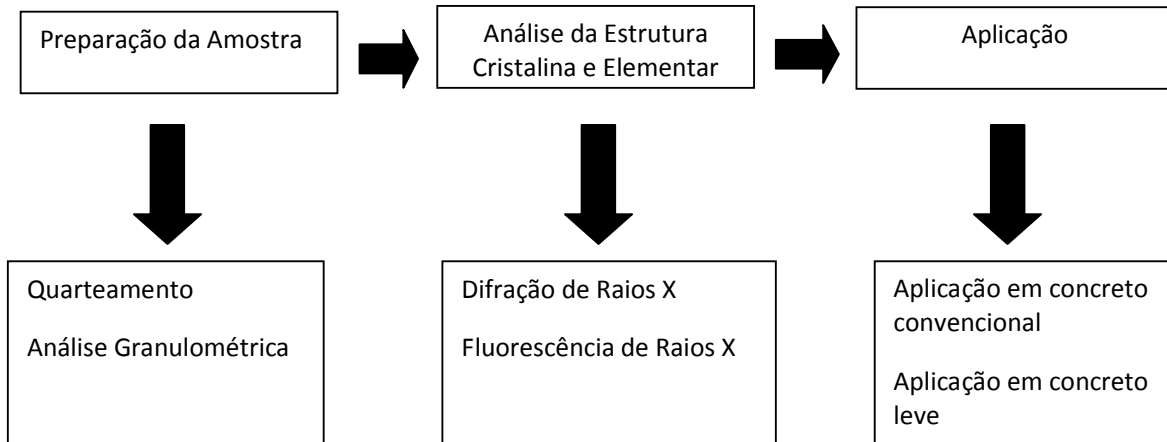


Figura 14 – Fluxo da metodologia utilizada

### 4.1. Quarteamento e Análise Granulométrica

Foram obtidas amostras de cinzas provenientes de resíduos de serviço de saúde de origem diversa. A empresa fornecedora foi a SERQUIP, localizada na cidade de UBÁ, Minas Gerais. Foi cedida uma quantidade de 3 kg de cinzas de incineração de RSS. O material tinha aspecto visual heterogêneo, composto por vidro (frascos de medicamentos), lâminas metálicas, cinzas, entre outros, conforme apresentado na Figura 15.



Figura 15- Amostra de cinzas de RSS

Inicialmente, todo o material foi despejado em um plástico limpo e depois homogeneizado, virando-se o plástico várias vezes até que a amostra parecesse homogênea;

A amostra foi dividida em quatro partes (quarteamento conforme indicado na Figura 16) e foi feita a exclusão de duas delas diametralmente opostas (suprimindo dois quadrantes opostos). O processo de homogeneização foi então repetido e foi realizado um novo quarteamento no material restante (Figura 16).



Figura 16 - Quarteamento da amostra de RSS – Homogeneização

Novamente, a amostra foi dividida em quatro partes, desprezando-se dois quadrantes opostos. Na seqüência, foi pesada e submetida à análise granulométrica usando-se as peneiras da marca *Granutest* (Figura 17) com granulometria correspondente em mm a: +6,35; -6,35 +2,83; -2,83 +1,00; -1,00 +0,710; -0,710 +0,500; -0,500 +0,355; -0,355 +0.



Figura 17 - Conjunto de peneiras da marca Granutest utilizadas

O conjunto de peneiras foi posto em um agitador mecânico por oito minutos. A massa de cada fração de amostra (contida em cada peneira) foi medida. A Figura 18 apresenta o conjunto de peneiras com agitador mecânico.



Figura 18 - Conjunto de peneiras com agitador mecânico

#### 4.2 - Difração de Raios -X

Foram analisadas as 7 (sete) amostras segregadas por meio do peneiramento.

## 4.2- Difractometria de raios X e Fluorescência de raios X

Cada amostra (numeradas de 1 a 7 após o fracionamento) foi submetida a análises semi-quantitativas por Difractometria de Raios X (DRX), realizadas em um Difratorômetro *EMPYREAN (PHILIPS)– PANALYTICAL* (Figura 20), utilizando radiação  $\text{CuK}\alpha$  e cristal monocromador de grafita. O método de análise se baseia na comparação dos valores das distâncias interplanares e das intensidades dos picos nos difratogramas das amostras analisadas em relação aos de uma amostra de referência, utilizando o banco de dados do ICDD – *International Center for Diffraction Data* (2011).

Os padrões do banco de dados PDF-2 do ICDD (2011) utilizados para a identificação das fases cristalinas foram:

Cobre (Cu) - ICDD# 85-1326

Alumínio (Al) - ICDD# 85-1327

Para reduzir a granulometria das amostras, utilizou-se um gral de vidro (almofariz) com bico e pistilo com a capacidade de 250 mL (Figura 19).



Figura 19 - Trituração do material para sua homogeneização

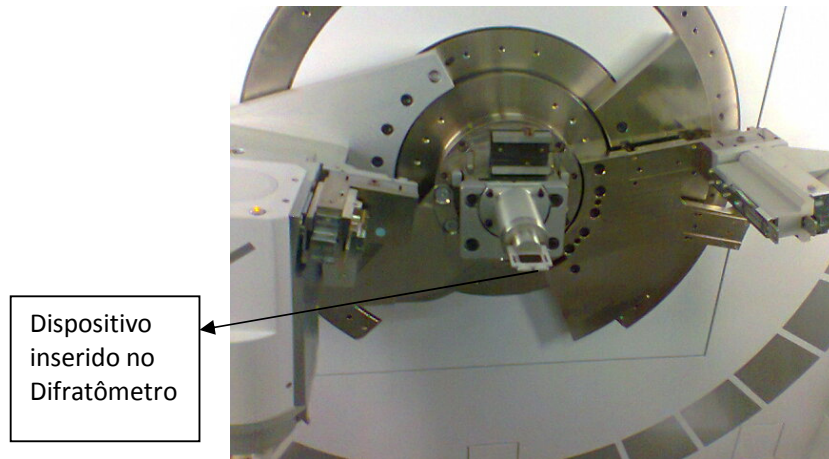


Figura 20 - Difratorômetro EMPYREAN (PHILIPS)- PANALYTICAL

Para a realização da análise por Fluorescência de Raios X, a granulometria da amostra foi reduzida para valores inferiores a 0,038 mm.

A amostra foi preparada e submetida à análise química semi-quantitativa por espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX) em espectrômetro PANALYTICAL (PHILIPS) PW-2400 (Figura 21).



Figura 21 - Espectrômetro PANALYTICAL (PHILIPS)- PW-2400

### 4.3- Aplicações das cinzas em concreto

O cimento CP III 32 do fabricante HOLCIM, brita 1, areia média grossa, água e o aditivo Viscocrete 3535 CB foram empregados na confecção dos corpos de prova de concreto. Posteriormente, foram também preparados corpos de prova com a adição ao concreto de cinzas de granulometria inferior a 0,15 mm, provenientes da incineração de resíduos de serviços de saúde.

Foram elaborados 6 (seis) corpos de prova contendo cinzas, conforme indicado na Tabela 2, sendo três com a composição de 2,0 kg de cimento, 0,5 kg de resíduo de cinzas de incineração de acordo com KHENDAKER; HOSSAIN (2004) e HOLT; RAVIO (2005) (substituição de cimento por cinzas com propriedades pozolânicas em até 25%), 1375mL de água, 6,8 kg de areia, 6,725 kg de brita 1 e 0,0125kg de aditivo e os outros três com a composição de 2,250 kg de cimento, 0,250 kg de resíduos de cinzas de incineração, 1250 mL de água (125mL a menor pois o concreto estava com consistência mais mole, 6,800 kg de areia, 6,725 kg de brita 1 e 0,0125kg de aditivo. Foram moldados 3 corpos de prova sem resíduos (branco) com 2,500kg de cimento, 1375mL de água, 6,800kg de areia, 6,725 kg de brita 1 e 0,0125kg de aditivo como referencia. O valor de resistência à compressão esperado é em torno de 30 MPa, de acordo com a curva de Abrams para a relação água/cimento = 0,55. A Tabela 2 apresenta a composição dos corpos de prova estudados.

Tabela 2: Composição dos corpos de prova para concreto convencional

Corpo de Prova (unidades)	Cimento (kg)	Cinzas de RSS (kg)	Água (L)	Areia (kg)	Brita (kg)	Aditivo Viscocrete (L)
3 ( CP Ref.)*	2,500	0	1,375	6,800	6,725	0,0125
3	2,000	0,500	1,375	6,800	6,725	0,0125
3	2,250	0,250	1,250	6,800	6,725	0,0125
*C P Ref. - Sem utilização de Cinzas						

O material de cada proporção de cimento/cinza foi misturado em uma betoneira, mostrada na Figura 22. A seguir, o concreto foi inserido nas formas cilíndricas (10 cm x 20 cm), apresentadas na Figura 23.

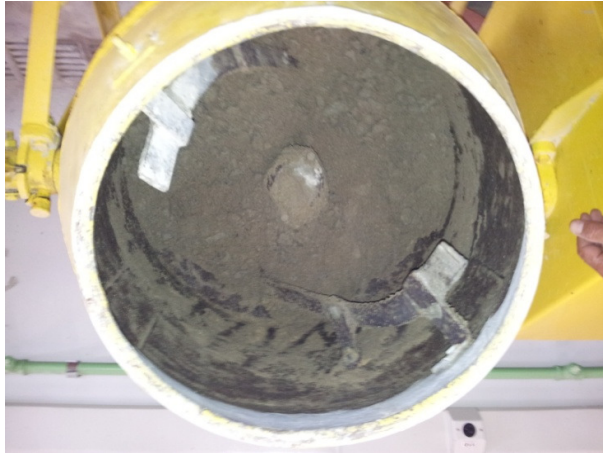


Figura 22: Betoneira para fabricação do concreto



Figura 23: Forma para a moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram rompidos em 28 dias por meio do método de ensaio a compressão simples, conforme a norma NBR 5739 (2007), usando-se o equipamento *EMIC PC-200 Célula Trd30*.

Na sequência, foi coletada uma nova amostra de cinzas de resíduos de serviços de saúde na empresa SERQUIP para estudar a utilização destas em concreto

leve. Foram preparadas cinco composições diferentes de concreto com os traços apresentados na Tabela 3. Para cada composição, foram moldados seis corpos de prova.

Tabela 3: Composição dos padrões preparados para concreto leve.

Padrão	Cimento (kg)	Areia Natural (kg)	Brita 0 (kg)	Água (L)	Aditivo Viscocrete (mL)	Pozolana (kg)	Isopor (L)	Cinzas RSS (kg)
I	3,0	6,0	12,0	2,0	18	-	-	-
II	2,0	6,0	12,0	1,7	18	1,0	-	-
III	2,0	6,0	8,0	1,7	18	1,0	2,8	-
IV	1,5	6,0	12,0	1,8	18	1,0	-	0,5
V	1,5	6,0	8,0	1,8	18	1,0	2,8	0,5

O valor de resistência esperado para o Padrão I, de acordo com a curva de Abrams para a relação água/cimento = 0,67, é de aproximadamente 20 MPa.

Homogeneizada e na textura desejada, a mistura foi colocada em cilindros (10cm x 20 cm) para obtenção dos corpos de prova e então adensada. Os cilindros preenchidos foram colocados em uma câmara úmida para curar (Figura 24).

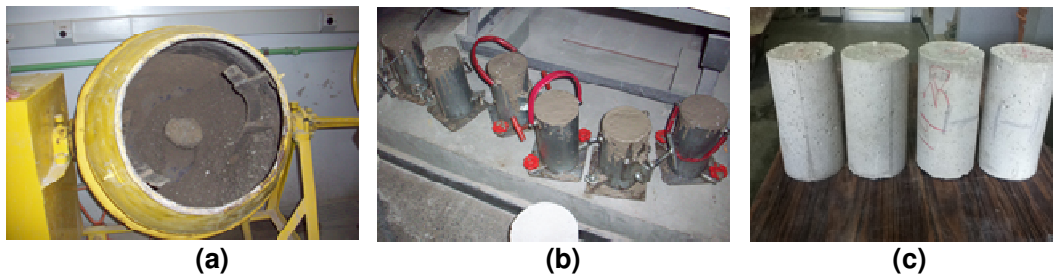


Figura 24 - Processo de produção dos corpos de prova do concreto leve

- a) Betoneira utilizada no processo.
- b) Moldagem dos corpos de prova.
- c) Corpos de prova moldados.

Os testes de compressão foram realizados no equipamento *EMIC PC200*, com célula TRD30, 29 dias após a moldagem. Os ensaios de resistência à compressão foram feitos segundo os procedimentos da norma NBR 5739 (2007) e os corpos de prova foram moldados conforme a norma NBR 5738 (2003).

## 5. RESULTADOS e DISCUSSÃO

### 5.1. Análise Granulométrica

A Tabela 4 apresenta a distribuição granulométrica da amostra de resíduos de serviço de saúde (RSS)

Tabela 4: Distribuição granulométrica da amostra de cinzas RSS

Granulometria		
Faixa Granulométrica (mm)	Massa Retida (kg)	% Massa Retida na Peneira
6,35	0,0825	34
- 6.35 +2,83	0,0337	14
-2,83 +1,00	0,0386	16
-1,00 +0,710	0,0138	6
-0,710 +0,50	0,0154	6
-0,50 +0.355	0,0246	10
-0.355 + 0	0,0348	14
Total	0,2434	100

O aspecto do material retido em cada peneira após passagem pelo agitador descrito a seguir:

#### Peneira 1 (+6,35 mm)

- Basicamente frascos de vidro e materiais grosseiros (lâminas metálicas)

#### Peneira 2 (- 6,35 mm +2,83mm)

- Vidro (mais fino), pedaços de lâminas e cinzas.

#### Peneira 3 (-2,83mm + 1,00 mm)

- Basicamente cinzas, mas ainda aparecem pequenos pedaços metálicos (hastes metálicas similares a agulhas)

**Peneira 4 (-1,00mm + 0,710 mm)**

- Basicamente cinzas, mas ainda aparecem pequenos pedaços metálicos (hastes metálicas similares a agulhas)

**Peneira 5 (- 0,710mm + 0,500 mm)**

- Cinzas

**Peneira 6 – (- 0,500mm + 0,355 mm)**

- Cinzas

**Peneira 7 – (-0,355 mm + 0,00 mm)**

- Cinzas

As figuras 25 e 26 apresentam o perfil granulométrico do material analisado.

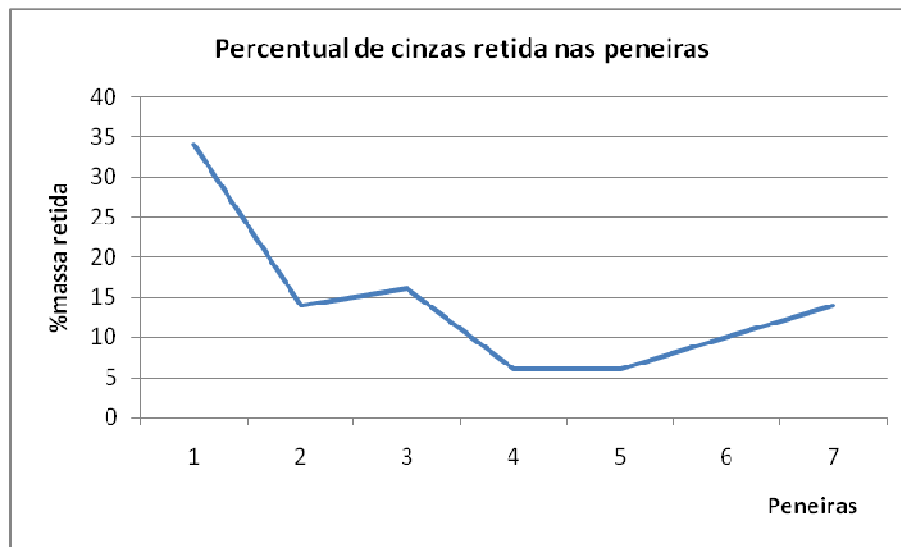


Figura 25 – Gráfico do percentual de cinzas retido nas peneiras



Figura 26 – Gráfico da massa de cinzas retida nas peneiras

A maior fração do resíduo ficou retida na faixa granulométrica de 6,35 mm. As menores massas retidas foram nas faixas granulométricas de -1,00 +0,71mm e -0,71 +0,50mm. A massa total após quarteamento foi de 0,2434 kg.

Ao final da passagem do material pelo conjunto de peneiras, a amostra de cinzas estava ainda com uma granulometria elevada para a análise de fluorescência de raios X e para a elaboração dos corpos de prova. A granulometria ideal para interatividade das cinzas com a argamassa é inferior a 0,15 mm. Quanto menor o tamanho das partículas maior a sua superfície e maior a reatividade química na massa de cimento e água. Foi necessária, então, a redução da granulometria com o Gral.

## 5.2. Análise por Difração de Raios X

As Amostras de 1 à 7, da Tabela 4 e também representadas nas Figuras 25 e 26, foram segregadas pela sua faixa granulométrica, para serem analisadas por difração de raios X.

As Figuras 27 à 32 apresentam os difratogramas das amostras analisadas e a Tabela 5 apresenta as fases identificadas em cada amostra.

As amostras de diferentes granulometrias apresentaram diferenças também na composição química. A Amostra 1, mais grosseira, apresentou em seu difratograma uma região típica de material amorfo, e um pico em  $3,03936\text{Å}$  atribuído à presença de carbonato de cálcio (Figura 27). O pico de maior intensidade do carbonato de cálcio se situa em  $3,0357\text{Å}$ , de acordo com os dados do *Internacional Center for Diffraction Data*. Na ordem de granulometria, a Amostra 2 apresentou o composto sulfato de cálcio em maior proporção na sua composição. Foram identificadas, ainda, as fases calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), óxido de silício, e hidróxido silicato de ferro, sódio e potássio como constituintes do resíduo sólido. Nesta amostra, o pico de maior intensidade ocorreu em  $3,50\text{Å}$ , associado ao sulfato de cálcio. Já na Amostra 3, o pico de maior intensidade surgiu em  $3,038\text{Å}$ , associado ao carbonato de cálcio. A Amostra 3 apresentou também as fases sulfato de cálcio e óxido de silício. A Amostra 4 apresentou o pico de maior intensidade em  $3,038\text{Å}$ , associado ao carbonato de cálcio. A Amostra 4 também apresentou as fases sulfato de cálcio e óxido de silício. Na Amostra 5, o pico em  $3,50\text{Å}$  reduziu sua intensidade em relação à Amostra 3. À medida que a granulometria da amostra se tornava mais fina, o pico mais intenso do sulfato de cálcio diminuía de intensidade e o composto predominante passava a ser o carbonato de cálcio. Este resultado se repetiu na Amostra 5. As amostras 4 e 5 apresentaram também a fase hidróxido silicato de ferro, sódio e potássio.

Uma diferença observada foi que, na Amostra 6, o pico de maior intensidade se situou em  $3,34\text{Å}$ , associado ao óxido de silício. Assim, a fase mais abundante na Amostra 6 foi o óxido de silício, e em seguida as fases: carbonato de cálcio e sulfato de cálcio.

Já na amostra mais fina (Amostra 7), o pico de maior intensidade ocorreu em  $3,848\text{Å}$ . O carbonato de cálcio voltou a ser a fase preponderante, seguido do óxido de silício e do sulfato de cálcio.

Em todas as amostras, foi identificada a presença do óxido de titânio como uma fase também constituinte do resíduo.

Considerando a aplicação do resíduo de cinza na fabricação de concreto, substituindo parcialmente o cimento, devem-se fazer algumas considerações. Foram identificadas como principais fases do resíduo de cinza o sulfato de cálcio, principalmente nas amostras de maior granulometria, o óxido de silício e o carbonato de cálcio, majoritário nas amostras mais finas. O cimento é constituído das fases: silicato tricálcico,  $3\text{CaO.SiO}_2$ , silicato dicálcico ( $2\text{CaO.SiO}_2$ ), aluminato tricálcico

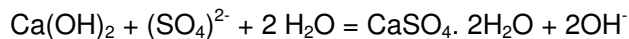
( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e ferro aluminato tetracálcico ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Assim, o óxido de silício presente nas cinzas é constituinte do cimento. No cimento, o composto de cálcio presente é o óxido e não o carbonato. O sulfato de cálcio existe no cimento em percentagem reduzida.

O carbonato pode ser formado no cimento devido à entrada de  $\text{CO}_2$  no concreto, que reage com a água presente nos poros do concreto e forma o ácido carbônico. Este ácido reage com o hidróxido de cálcio do concreto produzindo carbonato de cálcio. O carbonato de cálcio pode se difundir no concreto e alcançar a superfície se apresentando como um pó branco na superfície das estruturas de concreto. O carbonato de cálcio pode se formar, ainda, da reação direta do  $\text{CO}_2$  com o hidróxido de cálcio:

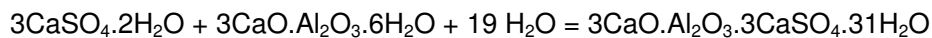


Ressalta-se que os cimentos pozolânicos são mais adequados para resistir à carbonatação, proveniente da entrada de gás carbônico no concreto.

Embora exista no cimento sulfato de cálcio em percentagem reduzida, o sulfato no concreto pode ser prejudicial devido à reação entre o sulfato e o hidróxido de cálcio:



O sulfato de cálcio hidratado reage com o aluminato tricálcico hidratado gerando o sulfoaluminato de cálcio, etringita, cuja formação gera aumento de volume e alta pressão interna, causando fissura e desagregação da massa de concreto:



O volume da etringita é 4,7 vezes maior que o volume do aluminato tricálcico e 21,5 vezes o volume do hidróxido de cálcio.

Já o óxido de titânio presente nas cinzas é também um constituinte presente no cimento. E a outra fase que foi identificada, o hidróxido silicato de ferro, sódio e potássio possui elementos presentes no cimento, visto que o cimento contém óxidos de ferro, sódio e potássio, estes dois últimos em menor proporção.

Tabela 5 – Resultado da análise difratométrica por amostra

Amostra	Pico de maior intensidade (Å)	Fase identificada
1	3,0357	Carbonato de Cálcio.
2	3,500	Sulfato de Cálcio, Carbonato de Cálcio, Óxido de Silício e Hidróxido Silicato de Ferro, Sódio e Potássio.
3	3,038	Carbonato de Cálcio, Sulfato de Cálcio e Óxido de Silício.
4	3,038	Carbonato de Cálcio, Sulfato de Cálcio , Óxido de Silício e Hidróxido Silicato de Ferro, Sódio e Potássio.
5	3,50	Carbonato de Cálcio, Hidróxido Silicato de Ferro, Sódio e Potássio.
6	3,34	Óxido de silício, Carbonato de Cálcio e Sulfato de Cálcio.
7	3,848	Carbonato de Cálcio, Óxido de Silício e Sulfato de Cálcio.

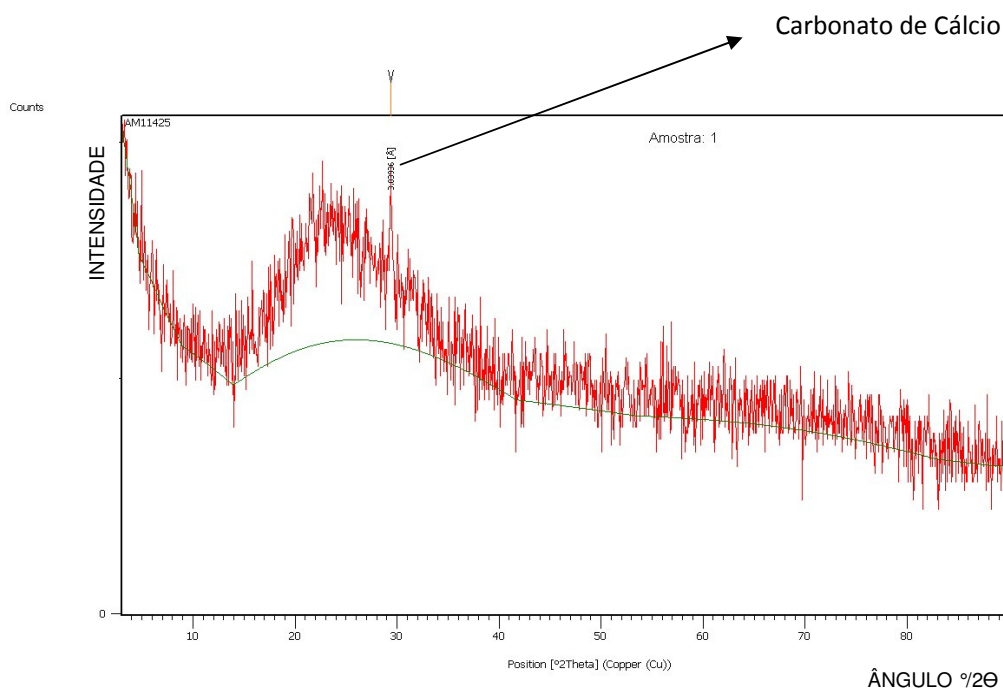


Figura 27- Difratograma da Amostra 1

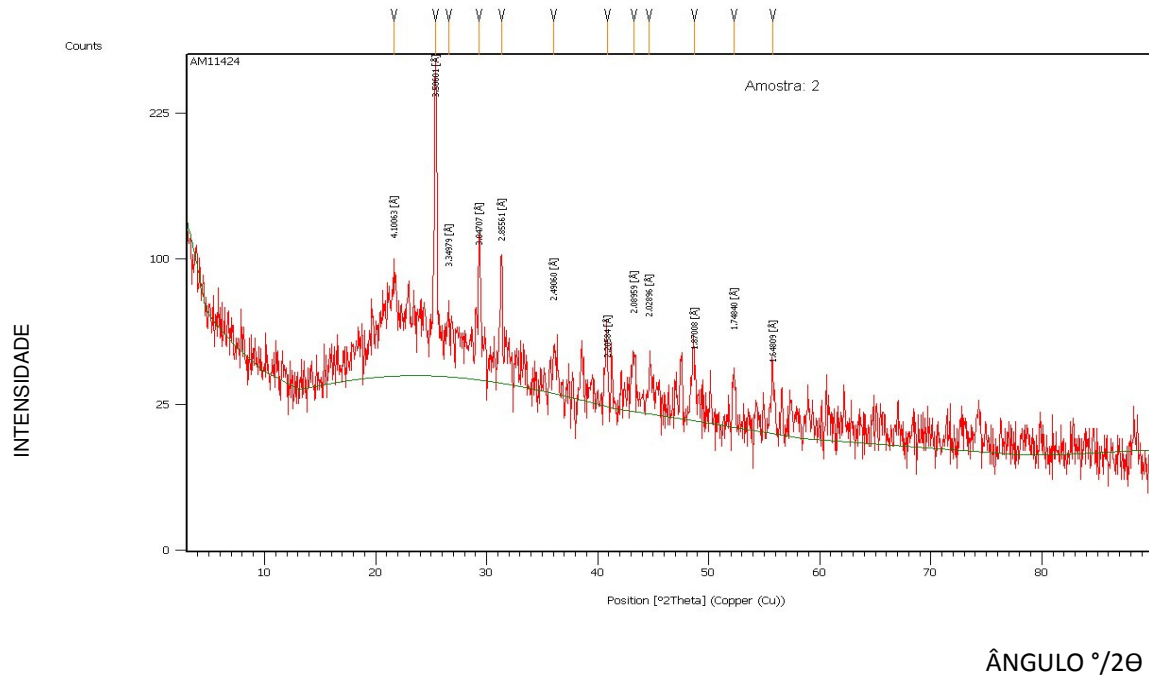


Figura 28 - Difratoograma da Amostra 2

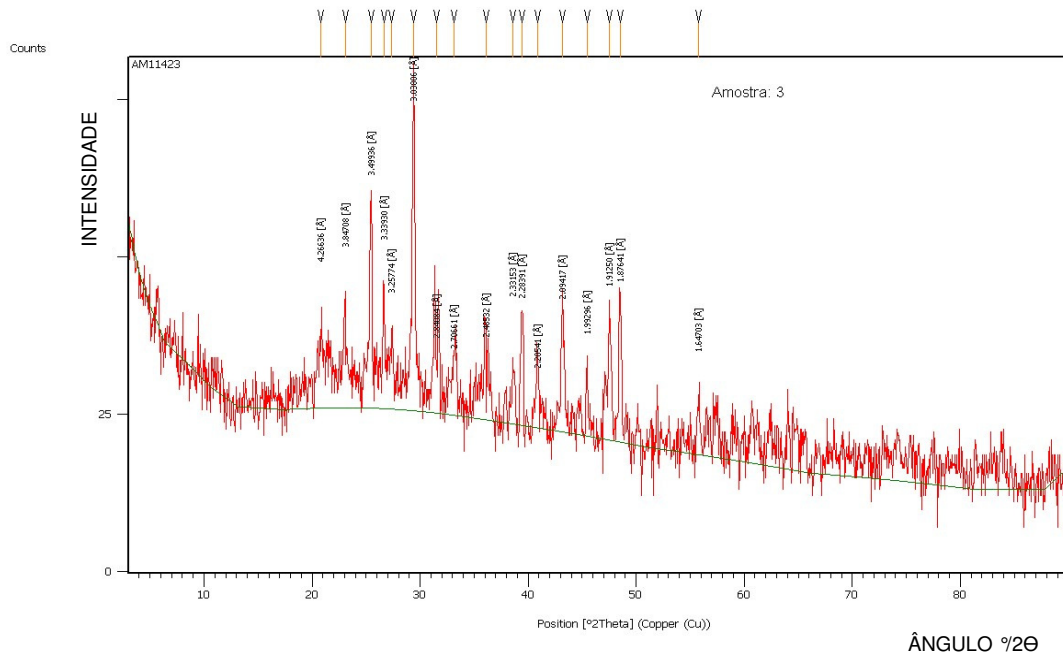


Figura 29- Difratoograma da Amostra 3

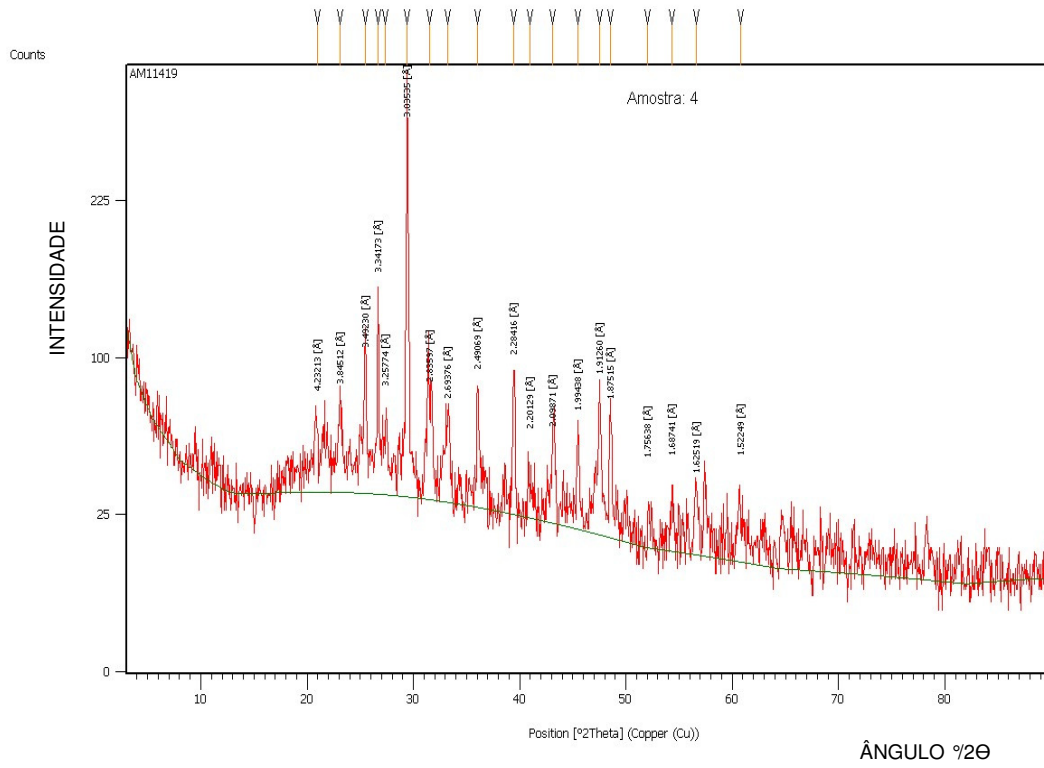


Figura 30 - Difratoograma da Amostra 4

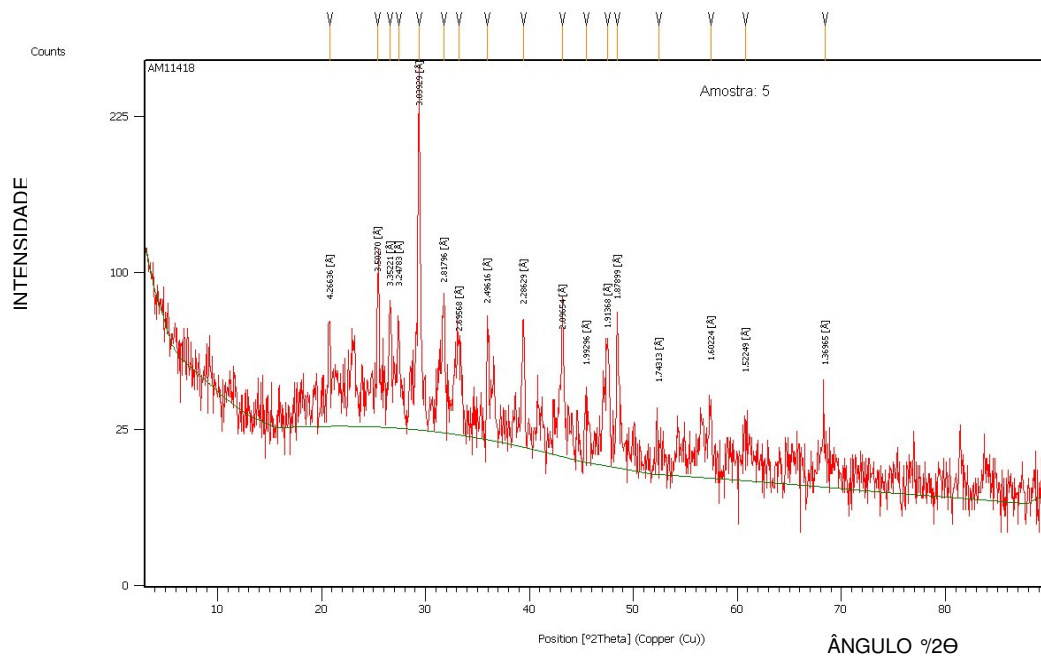


Figura 31 - Difratoograma da Amostra 5

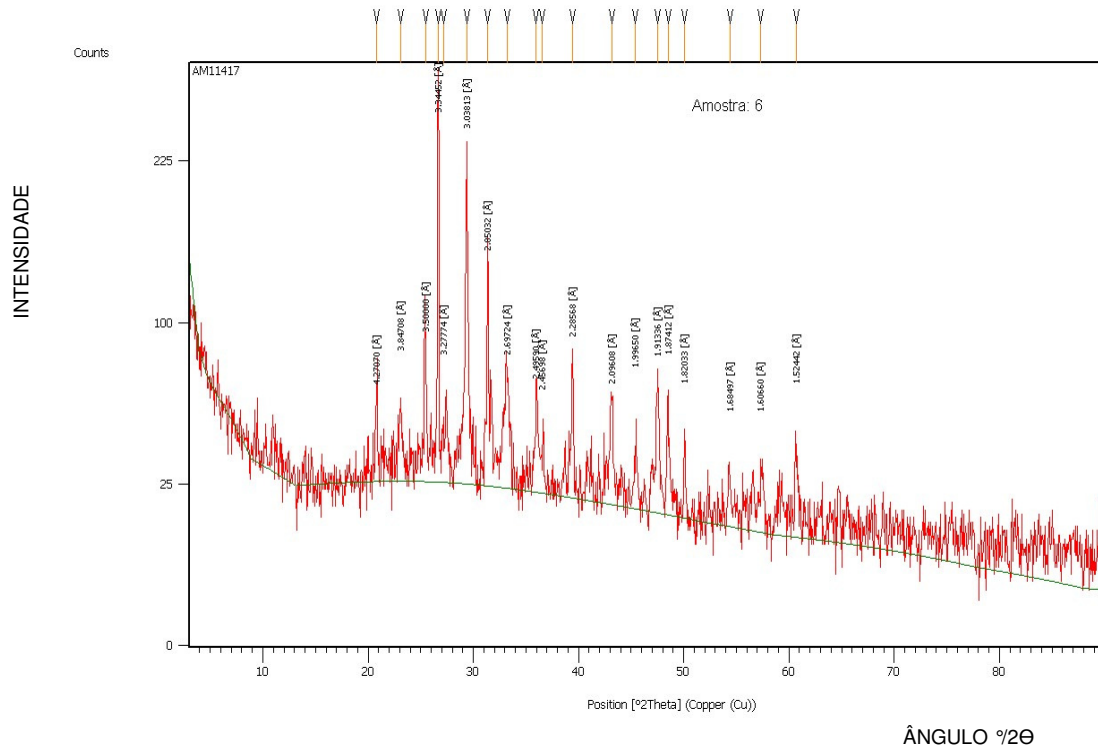


Figura 32 - Difratograma da Amostra 6

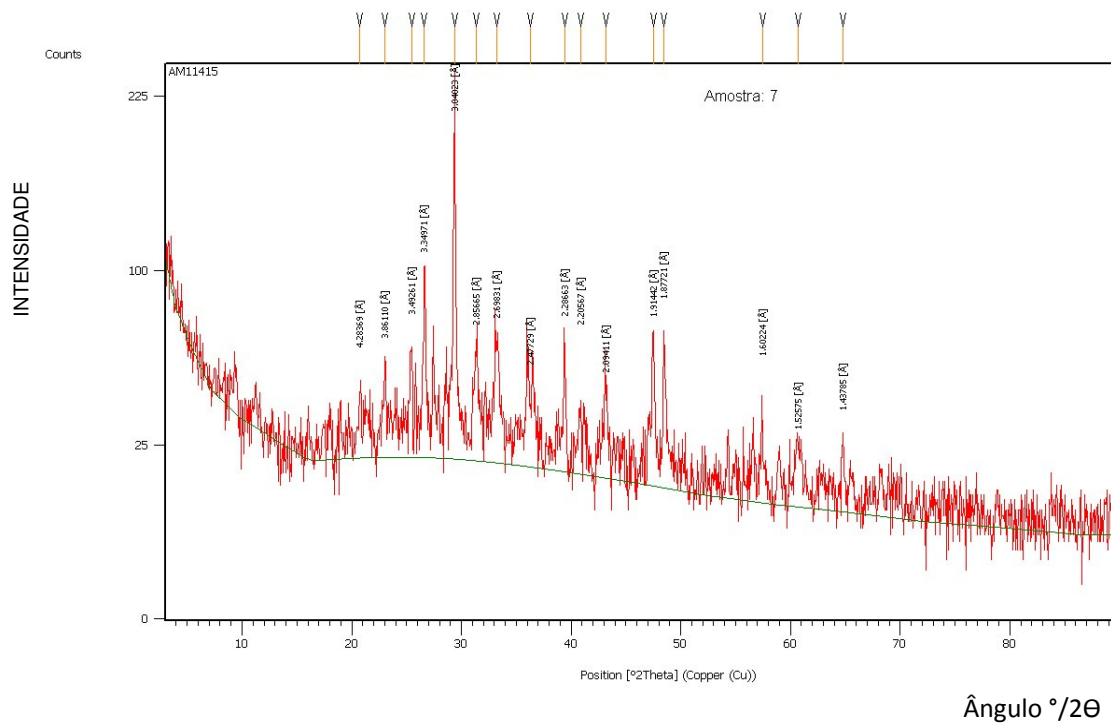


Figura 33 - Difratograma da Amostra 7

### 5.3. Espectrometria de Fluorescência de Raios X

A Tabela 6 apresenta o resultado da análise. Os elementos presentes nas cinzas em maiores concentrações são silício e oxigênio. Observou-se a presença de cálcio e enxofre em teores intermediários e titânio em menor concentração. Este resultado é coerente com o resultado da difração de raios X, em que foram identificadas as fases sulfato de cálcio (calcita), óxido de silício, e óxido de titânio.

Tabela 6 - Caracterização química das cinzas por fluorescência de raios X

<b>Análise qualitativa de composição das cinzas</b>			
<b>Maiores teores</b>	<b>Teores médios</b>	<b>Menores teores</b>	<b>Traços</b>
Si	Fe	P	Zr
O	Al	Cu	Ni
	Mg	Mn	Ba
	Na	Ti	K
	Cl	Zn	Pb
	Ca		Sr
	S		Rb
			Cr

Ao se comparar os componentes detectados na análise por espectrometria de fluorescência de raios X com o quadro da análise química das escórias de alto forno, que são matéria-prima para a elaboração do clínquer e a fabricação do cimento, pode-se verificar a compatibilidade do resíduo de cinzas com a escória de alto forno, podendo-se constatar que os elementos constituintes da escória de alto forno (Tabela 7) são encontrados nas cinzas de resíduo de saúde (análise qualitativa).

Tabela 7- Composição química da escória de alto forno material adicionado ao Cimento Portland na sua fabricação.

Fonte: POLESE et al, 2006

Compostos/elemento determinados		Técnica	Resultados em massa	
			LD	EAF
Dióxido de silício	SiO <sub>2</sub>	complexometria	10,03	16,47
Óxido de alumínio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	complexometria	1,19	5,76
Óxido de ferro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	complexometria	31,24	31,02
Óxido de cálcio	CaO	complexometria	39,29	37,78
Óxido de magnésio	MgO	complexometria	8,25	4,81
Anidrido sulfúrico	SO <sub>3</sub>	complexometria	0,19	0,34
Óxido de sódio	Na <sub>2</sub> O	complexometria	0,01	0,06
Óxido de potássio	K <sub>2</sub> O	complexometria	n.d.*	0,02
Anidrido fosfórico	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	colorimetria	1,92	0,76
Ferro metálico	Fe	absorçãoatômica	n.d.*	0,02
Óxido de cálcio livre	CaO	etileno-glicol	1,73	0,24

\*n.d. - não

## 5.4. Resultados dos Testes de Compressão

A distribuição granulométrica das cinzas utilizadas para a elaboração dos corpos de prova de concreto é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8- Distribuição granulométrica das cinzas utilizadas para a elaboração dos corpos de prova de concreto

Faixa granulométrica (mm)	Massa retida (kg)	% Retido Peneira
+6,350	0	0
- 6,350 +0,283	0	0
- 2,830 + 1,000	0,133	18
- 1,000 + 0,710	0,074	10
- 0,710 + 0,500	0,067	9
- 0,500 + 0,355	0,066	9
- 0,355 0	0,394	54
Total	0,734	100

A Tabela 9 apresenta o resultado dos testes de compressão das amostras de concreto fabricadas sem a adição e com a adição de cinzas.

Tabela 9 - Resultado dos testes a compressão do concreto

<b>Resultado dos testes a compressão do Concreto</b>				
<b>Amostra (un.)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão de Ruptura Média (MPa)</b>	
			<b>Valor Obtido (idade 7 dias)</b>	<b>Valor Corrigido* (idade 28 dias)</b>
CP SC	100	79	11	30
CP 1:4			8	22
CP 1:8			9	24
CP SC- Corpo de Prova sem adição de cinzas CP 1:4 - Corpo de Prova com a proporção de 1 parte de cinzas para 4 partes de Cimento CP 1:8 - Corpo de Prova com a proporção de 1 parte de cinzas para 8 partes de Cimento *-Proporcional				

A tensão de ruptura média obtida nas amostras sem adição de cinzas foi de 11 MPa. Para o traço de 1:4, a tensão de ruptura média foi 8 MPa. Já para o traço de 1:8, a tensão de ruptura média foi de 9 MPa. A tensão de ruptura esperada para os corpos de prova sem cinzas seria de 30MPa de acordo com a curva de Abrams para relação água /cimento = 0,55. Foi feita a correção dos dados obtidos dos corpos de prova com cinzas e também para os sem cinzas. Houve um decréscimo da resistência à compressão do concreto, após a adição das cinzas dos resíduos de serviços de saúde.

Foi realizada a análise granulométrica para a elaboração de corpos de prova para o 2º estudo (aplicação das cinzas em concreto leve), como realizado no 1º estudo (aplicação das cinzas em concreto). Essa análise foi importante, pois a granulometria influencia as propriedades do concreto, uma vez que, quanto maior a área superficial de um material, mais reativo ele é. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10- Análise granulométrica das cinzas utilizadas na fabricação do concreto leve

Peneira (mm)	Média de massa retida (%)
+6,35	0
-6,35 + 2,83	0
-2,83 + 1,00	12
-1,00 + 0,710	11
-0,710 + 0,500	12
-0,500 + 0,355	15
-0,355 + 0	51

As cinzas utilizadas na fabricação do concreto leve foram mais finas que as utilizadas na fabricação do concreto convencional. A Tabela 11 apresenta a resistência à compressão das amostras relativas à segunda etapa da pesquisa.

Tabela 11- Resistência à compressão dos padrões em relação à referência.

	Concreto Convencional	Com Adição de Pozolana	Com Adição de Pozolana e Isopor	Com Adição de Pozolana e Cinzas	Com Adição de Pozolana, Cinzas e Isopor
<b>Padrão</b>	I	II	III	IV	V
<b>Ganho de resistência (%)</b>		40%	-60%	40%	-20%

Comparando os resultados obtidos, as seguintes observações podem ser feitas:

- Padrões I e II: a adição de pozolanas melhorou consideravelmente a resistência à compressão do concreto. Isto se deve ao fato de esta atuar como um agente aglomerante na presença de água (PACEWSKA *et al.*, 2002).
- Padrões II e III: a adição de isopor foi responsável pela redução da resistência mecânica do material. Essa queda era esperada por se tratar de um concreto

leve. A utilização do isopor introduz poros ou vazios no concreto, reduzindo sua resistência à compressão.

- Padrões II e IV: a resistência medida foi igual para ambos. Esse resultado indica que a adição das cinzas não compromete a resistência mecânica do concreto de acordo com PERA *et al.* (1997) e BOUZOUBAÂ; ZHANG; MALHOTRA (2001). Sendo assim, prova-se que sua incorporação é um modo eficaz de se descartar esse material (PACEWSKA *et al.*, 2002).
- Padrões III e V: a adição de cinzas melhorou a resistência mecânica do concreto leve (BOUZOUBAÂ; ZHANG; MALHOTRA, 2001). Isto se deve ao fato de que estas, por terem uma granulometria reduzida, preenchem os espaços e reduzem os vazios, aumentando a resistência à compressão do concreto com isopor. Sendo assim, mostra-se que as cinzas são uma alternativa viável para melhorar a resistência do concreto leve (PACEWSKA *et al.*, 2002).
- O material isopor (poliestireno expandido) é poroso. Quando utilizado sozinho no concreto, reduziu a resistência à compressão do mesmo. Quando foi usado com a adição de cinzas, houve melhoria na resistência do concreto. Esta melhoria pode ter sido obtida pelo preenchimento dos vazios do isopor pelas cinzas (PACEWSKA *et al.*, 2002).

## 6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos podem-se inferir algumas conclusões:

- Os elementos presentes nas cinzas em maiores concentrações são silício e oxigênio. Observou-se a presença de cálcio e enxofre em teores intermediários e titânio em menor concentração. Este resultado é coerente com o resultado da difração de raios X, em que foram identificadas as fases calcita, sulfato de cálcio, óxido de silício e óxido de titânio.
- À medida que a granulometria da amostra se tornava mais fina, o pico mais intenso de sulfato de cálcio diminuía de intensidade e a fase predominante passava a ser o de carbonato de cálcio.
- Os componentes identificados na análise de espectrometria de fluorescência de raios X mostraram a compatibilidade entre os elementos constituintes das cinzas de incineração dos resíduos de saúde e das escórias de alto forno material amplamente utilizado como matéria prima do Cimento Portland.
- Ao se utilizar as cinzas com maior granulometria, houve uma redução da resistência à compressão do concreto com adição desse material.
- A adição de cinzas em concreto leve produziu um aumento de sua resistência à compressão em 40%.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir deste trabalho, novos estudos poderão ser feitos, envolvendo os resíduos gerados pelo processo de incineração de RSS. Sugerem-se os abaixo listados:

- Utilização das cinzas de RSS como componente do asfalto;
- Utilização das cinzas de RSS como componente de outros tipos de concreto leve;
- Utilização das cinzas de RSS como componente de bloco de concreto para alvenarias e contenções;
- Utilização das cinzas de RSS como componente de peças de concreto, tais como meio fios, sarjetas e bocas de lobo, entre outros;
- Aproveitamento das cinzas de resíduos sólidos urbanos na fabricação de concreto, problema que os grandes centros já enfrentam na atualidade.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2010. Disponível em [http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/noticias\\_eventos/Panorama2010.pdf](http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/noticias_eventos/Panorama2010.pdf) Acesso em 16/10/2011.
- ANDRADE, J. B. L. **Análise do fluxo e das características físicas, químicas e microbiológicas do serviço de saúde: proposta de metodologia para gerenciamento em unidades hospitalares**. Universidade de São Paulo (Tese de doutorado em Hidráulica e Saneamento). São Carlos, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT
- NBR 10004: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.
  - NBR 9191: Sacos Plásticos para acondicionamento de lixo. Requisitos e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2002.
  - NBR 14725: Produtos Químicos: Informações sobre saúde e meio Ambiente. Rio de Janeiro, 2009
  - NBR 5736: Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro, 1991.
  - NBR 5738: Procedimento de Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Rio de Janeiro, 2003.
  - NBR 5739: Concreto: Ensaio de compressão de corpos de Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007
- BACHE, H. H. **Densified cement/ultrafine particle-based materials**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 1981, Ottawa. Proceeding... Aalborg Denmark: Aalborg Cement Aalborg, 1981. 12p. apud AÏTCIN, P. C. Concreto de alto desempenho. Tradução Geraldo G. Serra. São Paulo: PINI, 2000. 667p.
- BOUZOUBAÂ, N; ZHANG, M. H; MALHOTRA, M. H.; **Mechanical Properties and Durability of Concrete Made With High-Volume Fly Ash Blended Cements Using a Coarse Fly Ash**. Cement and Concrete Research, 2001, v. 31, p.1393-1402
- BRASIL. **Lei 12.305/2010**: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, 2010.
- CALLISTER JR, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais**. Editora LTC: São Paulo, 2009.
- CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM. **Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004**. Diário do Executivo de Minas Gerais, 02/10/2004.
- COSTA, F. C. **Perspectivas da Incineração de Resíduos de Serviços de Saúde com o Uso de atmosferas Ricas em Oxigênio**. Instituto Mauá de Tecnologia (Dissertação de Mestrado) São Caetano do Sul, 2007, p.26 .

-FERRARIS, C.F.; OBLA, K.H.;HILL, R. **Influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete**, *Cement and Concrete Research*. 2001, v. 31, p. 245-2

- **FIFA. Regras do jogo de futebol**. Zurique, 2011.

-FONSECA, G.C. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica**. Universidade Federal de Minas Gerais (Dissertação de mestrado) Belo Horizonte, 2010.

-FURQIM, P.R.V. **Estudo Estatístico de Produção de Concretos com Adições Minerais**. Universidade Federal de Santa Maria (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Materiais de Construção). Santa Maria, 2006.

-HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma abordagem Tecnológica**. Universidade Federal do Rio de Janeiro (Tese de Doutorado em Engenharia) Rio de Janeiro, 2004.

-HOLT, E.; RAVIO, P **Use of Gasification Residues in Compacted Concrete Paving Blocks**. The Tecnical Research Center of Finland, 2005.

-ICDD- International Center for Diffraction Data. **PDF-2**, 2011.

-LIMA, S. A.; ROSSIGNOLO, J. A. **Análise preliminar da viabilidade do uso da cinza da casca da castanha de caju em produtos para construção civil** In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 8., 2007, Bento Gonçalves. Anais... São Paulo: IBRACON, 2007.

-KHENDAKER, M.; HOSSAIN, A. **Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete**. *Cement and Concrete Research*, 2004, v 34, p.283-291

-LE MOS, L. T. **Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos: qual a melhor opção de aproveitamento energético?** Departamento de Ambiente de Escola Superior de Tecnologia de Viseu: Viseu, 2005.

-MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. **O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas**. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*. Campina Grande, 2002, vol.6, no.2

-METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. PINI: São Paulo, 1994, 573 p.

-METHA, P. K. ; RAVINA, D. **Compressive Strength of Low Cement/High Fly Ash Concrete**. *Cement and Concrete Research*, 1988, v.18, p 571-583.

-MORGADO, T.; FERREIRA, O. M. **Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos, aproveitamento na co-geração de energia: Estudo para a região Metropolitana de Goiânia**. Universidade Católica de Goiás. Departamento de Engenharia Ambiental. Goiânia, 2006.

- NEHDI, M.; MINDESS, P.; AİTCIN, C. **Rheology of high-performance concrete: effect of ultrafine particles**. Cement and Concrete Research, v. 28, n. 5, 1998
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Pini: São Paulo, 1982, 738 p.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Pini: São Paulo, 1997, 828 p.
- OLIVEIRA, E. A. **Confiabilidade Metroológica na Determinação de Espécies Químicas e Materiais Siderúrgicos por Espectrometria de Fluorescência de Raios X**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (Dissertação de mestrado em Metrologia). Rio de Janeiro, 2011.
- PACEWSKA, B; BUKOWSKA, I.; SWAT, M. **Modification of the properties of concrete by new pozzolon. A waste catalyst from the cathalytic process influidized bed**. Cement and Concrete Research, 2002, v.32
- PERA, J.; COUTAZ, L.; AMBROISE, J.; CHABABBET, M **Use of Incineration Botton Ash in Concrete**. Cement and Concrete Research, 1997, v.27, p. 1-5
- PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. Editora Globo: Rio de Janeiro, 1998
- PHILIPPI JR, A.; ROMÉRIO, M. A.; COLLET, G. **Incineração: Curso de Gestão Ambiental**. Coleção Ambiental. Bruna Editores: Barueri, 2004 (a).
- PHILIPPI JR, A.; ROMÉRIO, M. A.; COLLET, G. **Resíduos de Serviços de Saúde - Curso de Gestão Ambiental**. Coleção Ambiental. Bruna Editores: Barueri, 2004 (b)
- POLESE, M. O.; CARREIRO, G. L.; SILVA, M. G.; SILVA, M.R. **Caracterização Microestrutural da Escória de Aciaria**. Revista Matéria [online]. 2006, v.11, n.4, p.444 - 454. Disponível em <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10814>. Acesso em: 28/05/2011
- REIS, J. F. A. **Determinação de Parâmetros Reológicos de Concretos Através do Ensaio de Abatimento de Tronco de Cone Modificado: Estudo de Caso**. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica). Ilha Solteira, 2008.
- Resolução ANVISA - RDC nº 306, de 7 de dezembro de 2004 DOU, de 10/12/2004 - Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde.
- Resolução CONAMA - **358** de 29 de abril de 2005 - Dispõe sobre o tratamento e a disposição final de resíduos de serviço de saúde. Diário Oficial, Brasília, 2005
- RODRIGUES M. S.; BERALDO A. L. **Caracterização física e mecânica de Argamassas à base de cimento Portland e cinza de casca de arroz residual**. Engenharia Agrícola, 2010, v.30, p.193-204.

- SHACKLFORD, J.F. **Ciências dos Materiais**. Pearson Prentice Hall: São Paulo, 2008.
- SKOOG D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN T. A. **Princípios de Análise Instrumental**. Bookman: Porto Alegre, 2002
- TATTERSALL, G. H.; **Application of rheological measurements to practical control of concrete**. In: RHEOLOGY OF FRESH CEMENT AND CONCRETE, 1990, London. Proceedings... London: E & FN Spon, 1991. p. 270-280.
- VOTORANTIM CIMENTOS SA. **Tabela FISPQ-NBR 14725: Composição do concreto**. Disponível em: <<http://www.vcimentos.com.br/extras/pdf/CIMENTO.pdf>> Acesso em 25/09/2011
- ZHANG, M. H.; LASTRA, R.; MALHOTRA, V. M. **Rice-Husk - Ash Paste and Concrete: Some Aspects of Hydration and the Microstructure of the Interfacial Zone Between the Agregate and Paste**. Cement and Concrete Research. 1996, v.26, p.963-977.
- [Http://www.redimix.com.br/Tipos de concreto](http://www.redimix.com.br/Tipos%20de%20concreto). Acesso em 02/11/2012
- [Http://www.dec.unesp.br/Monica/ciências\\_materiais\\_parte2c.ppt](http://www.dec.unesp.br/Monica/ci%C3%BAncias_materiais_parte2c.ppt). Acesso em 03/01/13

## 9- Anexos

Quadro 1- Laudo de Caracterização das cinzas RSS (similar ao material a ser analisado)

<b>Hidrocepe - Serviços de Qualidade Ltda</b>		
<p><b>Ciente: Serquip Tratamento de Residuo MG Ltda</b>            End.: Estrada da Barrinha, s/n°      Fone: (31) 3303-2929            Bairro: Zona Rural      Fax:            Estado: MG      Municipio: Ubã            CNPJ/CPF: 05.266.324/0004-32      Insc. Est.:            Requerente: Janildo S. Machado      CEP: 36500-000            Data Recepção: 25/05/2011      e-mail: jmachado.mg@serquip.com.br</p>		
Nº O. Ss. e identificação	Parâmetros	Resultado
06663 - Cinza Resultante de processo de Incineração	<b>Pré Caracterização:</b> pH Cianeto Sulfeto Umidade Teor de Sólidos	12,20 0,15 mg/l 31,72 mg/l 13,5% 86,5%

**OBSERVAÇÕES:** Os resultados expressos neste laudo se referem somente ao material recebido.

ABNT - NBR 10007/2004.

Corrosividade:

pH: Inferior ou igual a 02

pH: Superior a 12,5

Reatividade:

Cianeto: Máximo de 250,00 mg/Kg em HCN.

Sulfeto: Máximo 500,00 mg/Kg em H<sub>2</sub>S.

Toxicidade:

ABNT - NBR 10005/2004.

Anexo F (Valores Máximos Permitidos pela Lixiviação).

Qualquer item acima enumerado que for ultrapassado, o resíduo será classificado como perigoso independentemente das demais análises.

Data: 21/06/2011

Assinatura do responsável:



Dr. Jorge Barqueto  
 Farmacêutico - Químico  
 CRF 6-2090 - CPF 008.747.016-00

## Hidrocepe - Serviços de Qualidade Ltda

**Cliente:** Serquip Tratamento de Resíduo MG Ltda  
**End.:** Estrada da Barrinha, s/n° **Fone:** (31) 3303-2929  
**Bairro:** Zona Rural **Fax:**  
**Estado:** MG **Município:** Ubá  
**CNPJ/CPF:** 05.266.324/0004-32 **Insc. Est.:**  
**Requerente:** Janildo S. Machado **CEP:** 36500-000  
**Data Recepção:** 25/05/2011 **e-mail:**

Nº O. Ss. e identificação	Parâmetros	Resultado	V.M.P.
06663 - Cinza Resultante de processo de Incineração	<b>Lixiviação</b>		
	Arsênio	0,0031	1,00 mg/l
	Bário	30,7181	70,00 mg/l
	Cádmio	0,0340	0,50 mg/l
	Chumbo	0,1647	1,00 mg/l
	Cromo total	0,5839	5,00 mg/l
	Fluoreto	Não detectado	150,00 mg/l
	Mercurio	0,0064	0,10 mg/l
	Prata	0,0159	5,00 mg/l
Selênio	0,0105	1,00 mg/l	

**OBSERVAÇÕES:** Os resultados expressos neste laudo se referem somente ao material recebido.

pH Inicial: 12,20  
 pH Final: 10,96  
 Volume final: 2000 mL  
 Tempo de lixiviação: 24 horas.  
 Volume gasto de ácido acético: 100 mL.

**Data:** 21/6/2011

**Assinatura do responsável:**

*Jorge Bérquete*

Dr. Jorge Bérquete  
 Farmacêutico - Químico  
 CRF 6-2090 - CPF 008.747.016-00

## Hidrocepe - Serviços de Qualidade Ltda

**Cliente:** Serquip Tratamento de Residuo MG Ltda

**End.:** Estrada da Barrinha, s/n°

**Fone:** (31) 3303-2929

**Bairro:** Zona Rural

**Fax:**

**Estado:** MG

**Município:** Ubá

**CNPJ/CPF:** 05.266.324/0004-32

**Insc. Est.:**

**Requerente:** Janilto S. Machado

**CEP:** 38500-000

**Data Recepção:** 25/05/2011

**e-mail:**

N° O. Ss. e identificação	Parâmetros	Resultado	V.M.P.
06663 - Cinza Resultante de processo de Incineração	<b>Solubilização</b>		
	Alumínio	0,5757	0,2 mg/l
	Arsênio	0,0005	0,01 mg/l
	Bário	18,6170	0,7 mg/l
	Cádmio	0,0360	0,005 mg/l
	Chumbo	0,1222	0,01 mg/l
	Cianeto	Não detectado	0,07 mg/l
	Cloreto	6.600,0	250,0 mg/l
	Cobre	0,1082	2,0 mg/l
	Cromo total	0,0420	0,05 mg/l
	Fenóis totais	Não detectado	0,01 mg/l
	Ferro	1,2974	0,3 mg/l
	Fluoreto	Não detectado	1,5 mg/l
	Manganês	0,0452	0,1 mg/l
	Mercurio	< 0,0002	0,001 mg/l
	Nitrato	Não detectado	10,0 mg/l
	Prata	< 0,0010	0,05 mg/l
	Selênio	0,0032	0,01 mg/l
	Sódio	753,13	200,0 mg/l
	Sulfato	18,00	250,0 mg/l
Agentes Tensoativos Aniônicos	0,63	0,5 mg/l	
Zinco	0,3399	5,0 mg/l	
Dureza total	4.273,00	Não Consta	

**OBSERVAÇÕES:** Os resultados expressos neste laudo se referem somente ao material recebido.

De acordo com a NBR 10004/2004 - Residuo não Inerte - Classe IIA.

As concentrações de Alumínio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cloreto, Ferro,

Sódio, Agentes Tensoativos Aniônicos e Zinco estão fora das permitidas para solubilização.

**Data:** 21/06/2011

**Assinatura do responsável:**



Dr. Jorge Barquete  
Farmacêutico - Químico  
CRF 6-2090 - CPF 008.747.016-00

Quadro 2- Linhas espectrais

<b>Ti</b>	Kα1,2	0,2749	<b>Ag</b>	Kα1	0,0560
<b>V</b>	Kα1	0,2504	<b>Cd</b>	Kα1	0,0536
<b>Cr</b>	Kα1	0,229	<b>In</b>	Lα1	0,3772
<b>Mn</b>	Kα1	0,2102	<b>Sn</b>	Lα1	0,3600
<b>Fe</b>	Kα1	0,1936	<b>Sb</b>	Lα1	0,3439
<b>Co</b>	Kα1	0,1789	<b>Te</b>	Lα1	0,3289
<b>I</b>	Lα1	0,3149	<b>Pt</b>	Lα1	0,1313
<b>Xe</b>	Lα1	0,3016	<b>Au</b>	Lα1	0,1276
<b>Cs</b>	Lα1	0,2892	<b>Hg</b>	Lα1	0,1241
<b>Ba</b>	Lα1	0,2776	<b>Tl</b>	Lα1	0,1207
<b>La</b>	Lα1	0,2666	<b>Pb</b>	Lα1	0,1175
<b>Ce</b>	Lα1	0,2562	<b>Bi</b>	Lα1	0,1144
<b>Pr</b>	Lα1	0,2463	<b>Po</b>	Lα1	0,1114
<b>Nd</b>	Lα1	0,237	<b>At</b>	Lα1	0,1085
<b>Pm</b>	Lα1	0,2282	<b>Rn</b>	Lα1	0,1057
<b>Sm</b>	Lα1	0,22	<b>Fr</b>	Lα1	0,1031
<b>Eu</b>	Lα1	0,2121	<b>Ra</b>	Lα1	0,1005
<b>Gd</b>	Lα1	0,2047	<b>Ac</b>	Lα1	0,0980
<b>Tb</b>	Lα1	0,1977	<b>Th</b>	Lα1	0,0956
<b>Dy</b>	Lα1	0,1909	<b>Pa</b>	Lα1	0,0933
<b>Ho</b>	Lα1	0,1845	<b>U</b>	Lα1	0,0911
<b>Er</b>	Lα1	0,1784	<b>Np</b>	Lα1	0,0888
<b>Tm</b>	Lα1	0,1727	<b>Pu</b>	Lα1	0,0868
<b>Yb</b>	Lα1	0,1672	<b>Am</b>	Lα1	0,0847
<b>Lu</b>	Lα1	0,162	<b>Cm</b>	Lα1	0,0828
<b>Hf</b>	Lα1	0,157	<b>Bk</b>	Lα1	0,0809
<b>Ta</b>	Lα1	0,1522	<b>Cf</b>	Lα1	0,0791
<b>W</b>	Lα1	0,1476	<b>Es</b>	Lα1	0,0773
<b>Re</b>	Lα1	0,1433	<b>Fm</b>	Lα1	0,0756
<b>Os</b>	Lα1	0,1391	<b>Md</b>	Lα1	0,0740
<b>Ir</b>	Lα1	0,1351	<b>No</b>	Lα1	0,0724

Outras linhas podem ser utilizadas, dependendo do tipo de amostra e equipamento disponíveis

Quadro 3 - Laudo de análise de caracterização de amostra de cinzas por fluorescência de raios -X e caracterização das Amostras

**ESCOLA DE ENGENHARIA - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**

**LABORATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO DE MINÉRIOS E MATERIAIS**

Boletim nº:

Material:

Remetente: Carlos Eduardo Silva Andrade

Procedência:

Serviço solicitado: caracterização mineralógica (de fases) e química qualitativa

Equipamento utilizado: ver abaixo

Nº de amostras: 1

---

Belo Horizonte, 09 de abril de 2012.

Equipamento utilizado:

Análise química semiquantitativa por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX): espectrômetro PANALYTICAL (PHILIPS) PW-2400; pastilhas prensadas.

Análise mineralógica semiquantitativa por difração de raios-X (DRX): difratômetro para amostras em pó PANALYTICAL (PHILIPS), sistema X'Pert-APD, controlador PW-3710/31, gerador PW-1830/40, goniômetro PW-3020/00.

**RESULTADOS**

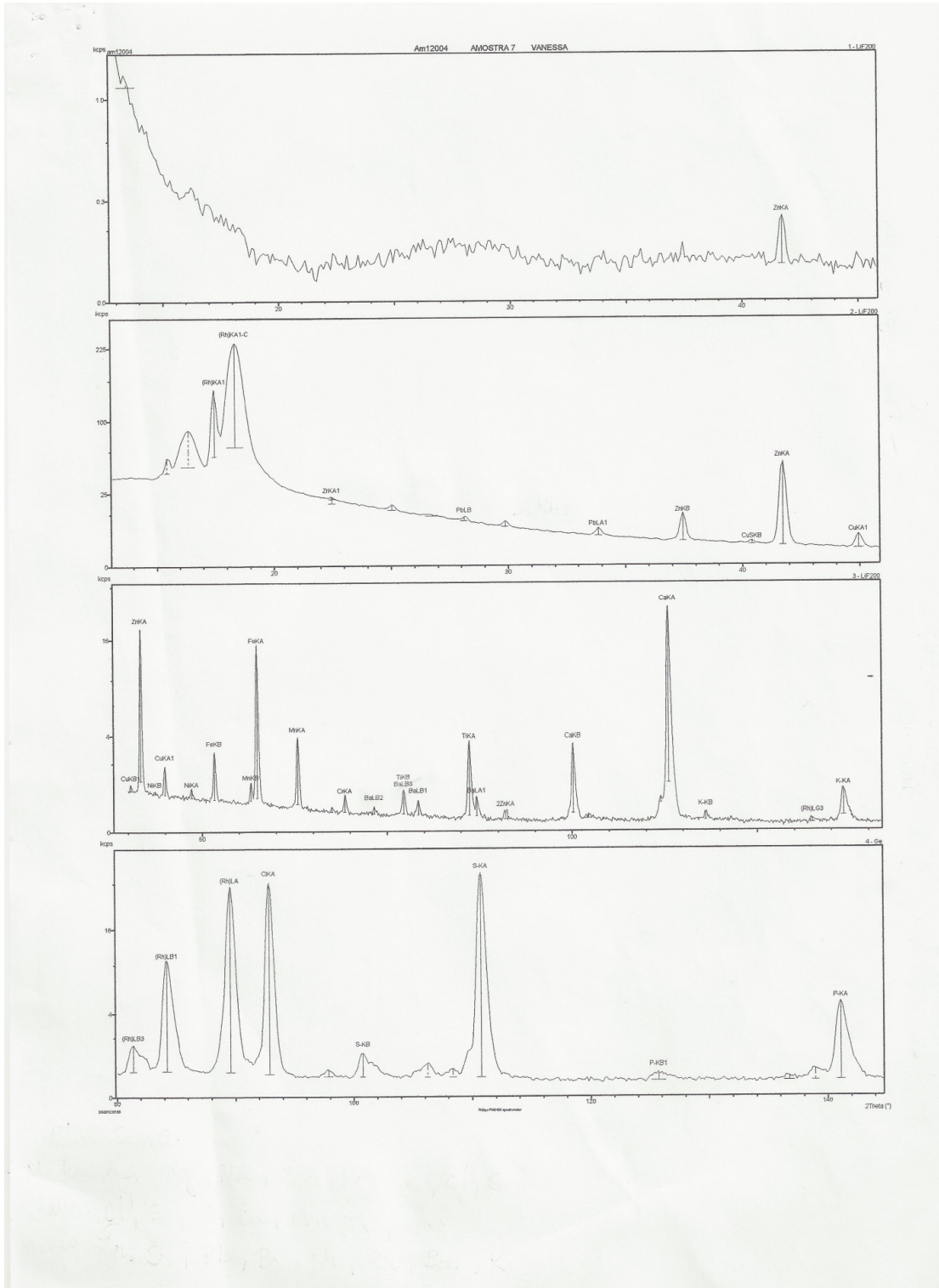
Amostra : Amostra 7

FRX – elementos presentes:

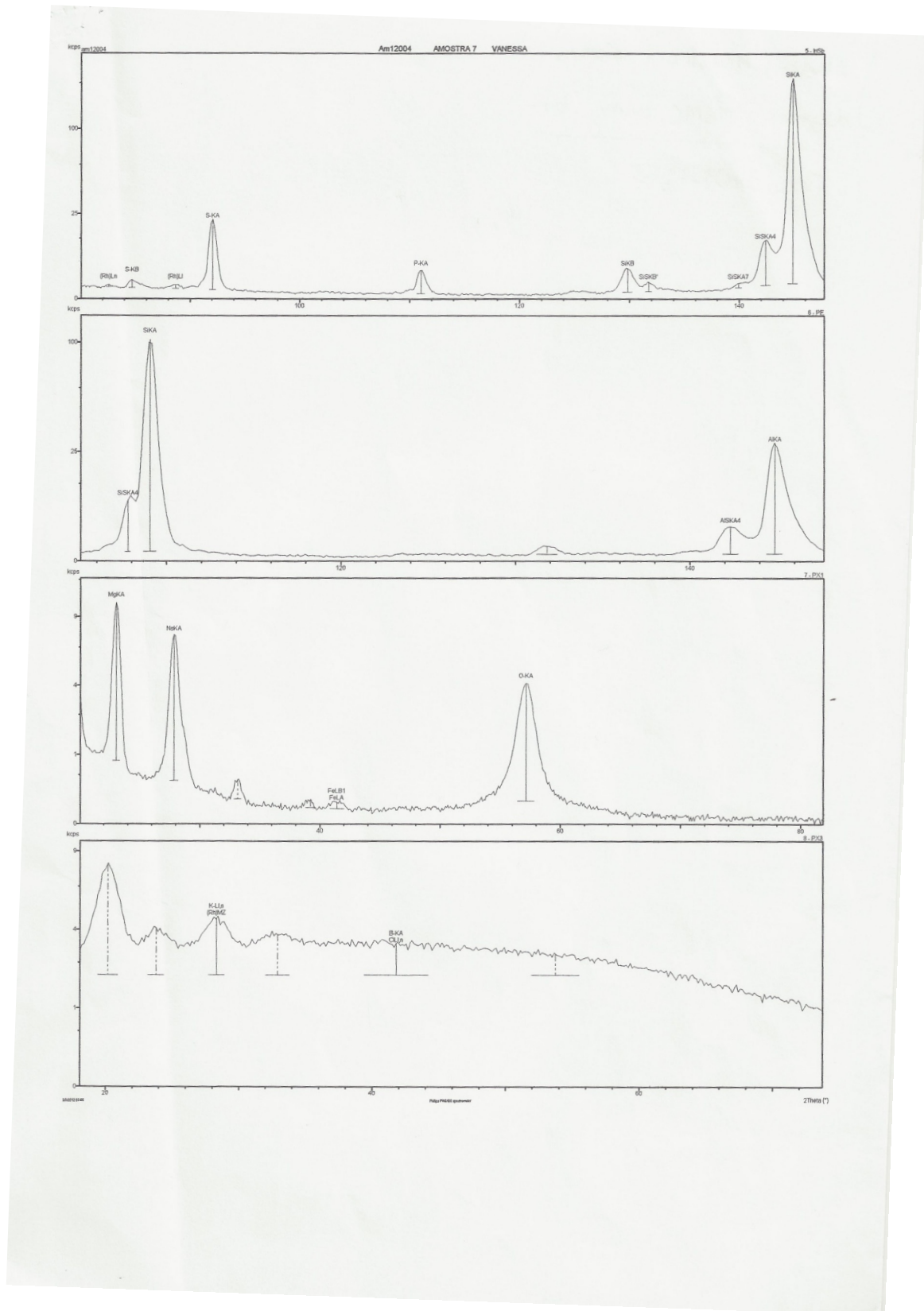
- Si, O (altos);
- Fe, Al, Mg, Na, Cl, Ca, S (medios);
- P, Cu, Mn, Ti, Zn (baixos).
- Zr, Ni, Ba, K, Pb, Sr, Rb Cr (traços).

DRX – minerais (fases) presentes:

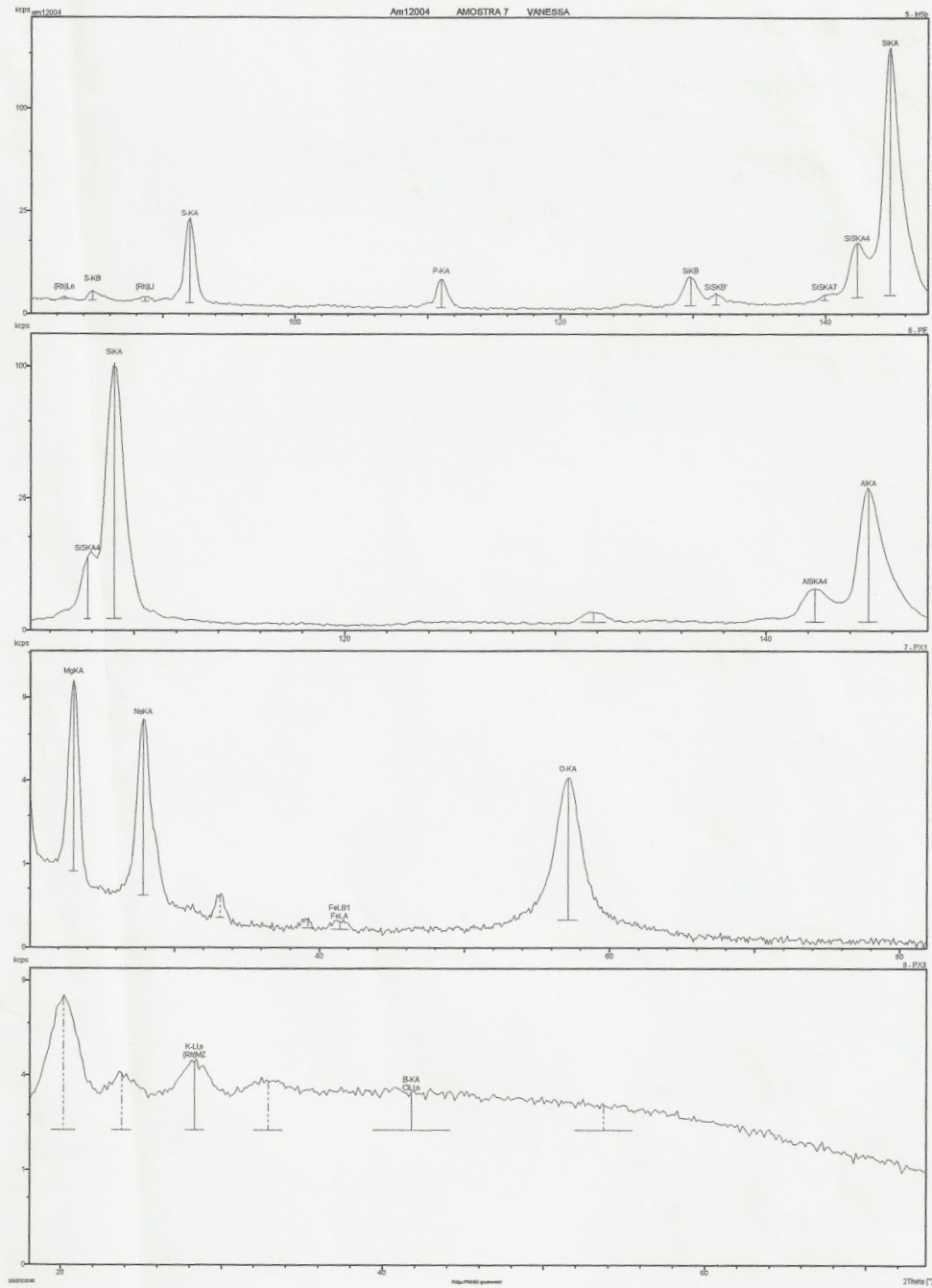
Observação: resultado válido apenas para a amostra analisada



Caracterização da amostra de cinzas de RSS por espectrometria de raios-X (a)



Caracterização da amostra de cinzas de RSS por espectrometria de raios-X (b)



Caracterização da amostra de cinzas de RSS por espectrometria de raios-X (c)