



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA



**VIABILIDADE DE REAPROVEITAMENTO DE LODO
GALVÂNICO**

RADAMÉS GONÇALVES DE LEMOS

MANAUS
2009

VIABILIDADE DE REAPROVEITAMENTO DE LODO GALVÂNICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Química, Área de Concentração Química Analítica.

RADAMÉS GONÇALVES DE LEMOS

ORIENTADOR: PROF. DR. GENILSON PEREIRA SANTANA

MANAUS, 2009

RADAMÉS GONÇALVES DE LEMOS

**VIABILIDADE DE REAPROVEITAMENTO DE LODO
GALVÂNICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Química, Área de Concentração Química Analítica.

Aprovado em: 01 de setembro de 2009

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Genilson Pereira Santana (Orientador)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM

Prof. Dr. Edson Valente Chaves (Membro)
INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS – IFAM

Prof. Dr. Ricardo Lima Serudo (Membro)
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA

Radamés Gonçalves de Lemos

De Lemos, Radamés Gonçalves

VIABILIDADE DE REAPROVEITAMENTO DE LODO GALVÂNICO.
Manaus, 2009. 70p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Química.

1. Resíduo Galvânico 2. Metais Potencialmente Tóxicos 3. Cimento 4. Mistura.

I – Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Química.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais Agenor Vilaça de Lemos e Jarede Gonçalves de Lemos (in memoriam), a minha sobrinha Melissa Gonçalves Martins cujo futuro depende de um mundo mais justo e ambientalmente sustentável, aos meus irmãos e a todos que contribuíram para o desenvolvimento do mesmo.

Agradecimentos

À Deus pelo existir, pela sabedoria e por ter me concedido a oportunidade de vivenciar tudo isso, mesmo com os obstáculos, mesmo com as dificuldades, mesmo com todos os contratemplos, mas ele é fiel e nos concede toda sorte de bênçãos.

A minha sobrinha Melissa Gonçalves Martins, por ter estado sempre perto de mim, e sempre me deu força durante esta caminhada, e que sempre esteve presente na ausência dos meus pais. E aos meus irmãos, Anne Gonçalves de Lemos, Marta Gonçalves de Lemos, Minéia Gonçalves de Lemos, Jorge Gonçalves de Lemos e Jorgeano Gonçalves de Lemos, que sempre estiveram ao meu lado.

Ao Prof. Dr. Genilson Pereira Santana, pela dedicação demonstrada, pelos conhecimentos transmitidos, pelas críticas construtivas, pela revisão do texto e, sobretudo, pelas palavras incentivadoras nas horas necessárias que foram decisivas para elaboração e conclusão dessa dissertação.

Aos professores Maria Lucia Belém responsável pelo laboratório da Central Analítica, Adriana Maria Coimbra Horbe responsável pelo laboratório de Geociências e Raimundo Pereira Vasconcelos responsável pelo laboratório de Materiais, que não mediram esforços em ceder os equipamentos para realização das análises.

Aos meus Amigos de Mestrado, Daniel de Queiroz Rocha, Vera Lúcia Imbiriba Bentes, Dominique Fernandes de Moura, Ana Cristina Félix, Júnior Ribeiro Carvalho, Orivaldo da Silva Lacerda Júnior e Marcondes Silva e Silva, pelo companheirismo, pela amizade, pelas brincadeiras e pelas ajudas fundamentais. Em especial a Verinha Imbiriba pelo forte apoio e pela amizade em todos os momentos. Também agradeço aos amigos, Ercila Pinto Monteiro, Dorian Lesca de Oliveira, Aline Carvalho Freitas, Elson Almeida de Souza, Cleuton Souza

Silva, Júlio Rodolfo Pessoa Iank, Antônio José do Nascimento Fernandes, Diego de Moura Rabelo, Jaqueline de Araújo Bezerra, Renilto Frota Corrêa, Maria de Fátima de Oliveira Almeida, Relem Cativo da Conceição, Vera Lúcia da Silva Marinho e Madson Silva do Nascimento, pelos momentos bons que passamos juntos na sala de estudo dos alunos da Pós-Graduação.

Aos funcionários da Central Analítica, Carmen, do Laboratório de Geociências, Diego Silva de Lima e do Laboratório de Materiais, Jorge, pela ajuda indispensável para o desenvolvimento da pesquisa e pela ajuda participativa na maior parte dos experimentos.

Aos alunos do curso de edificações do IFAM, Pedro, Felipe Sidrone e Gílcia Oliveira, que me ajudaram na preparação dos corpos de prova.

Aos amigos e irmãos, André Magalhães Rodrigues e Eloi Farias de Freitas, que me auxiliaram nas análises realizadas no Laboratório de Materiais – FT, e também ao Israel Gomes da Silva, pela pesquisa da composição do lodo galvânico.

Agradeço a CAPES pela bolsa concedida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Química pela oportunidade e contribuição à formação científica e pessoal.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

Porquanto foi este o desejo do teu coração, e não pediste riquezas, bens ou honras, nem a morte dos que te aborrecem, nem tampouco pediste longevidade, mas sabedoria e conhecimento. 2 Cr. 1:11

Sumário

LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	18
2.2 ATERRO INDUSTRIAL.....	20
2.3 INCINERAÇÃO.....	22
2.4 SISTEMAS LANDFARMING	24
2.5 RESÍDUOS NA GALVANOPLASTIA	25
2.6 TRATAMENTOS CONVENCIONAIS DOS RESÍDUOS GALVÂNICOS	27
2.7 INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS.....	29
2.8 METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS.....	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 DESCRIÇÃO E COLETA DO RESÍDUO SÓLIDO.....	35
3.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE.....	37
3.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECIFICA	37
3.4 DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA	38
3.5 DETERMINAÇÃO DE METAIS LIXIVIADOS DO RESÍDUO SÓLIDO.....	39
3.6 INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM ARGAMASSA DE CIMENTO	40
3.7 TESTE DE RUPTURA E RESISTÊNCIA.....	41
3.10 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (IV-FT).....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46

5. CONCLUSÃO.....63

6. REFERÊNCIAS.....64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais metais potencialmente tóxicos usados na indústria, suas fontes e riscos à saúde.	34
Tabela 2. Composição do lodo de galvanoplastia.	36
Tabela 3. Valores de pH com as respectivas soluções usadas para ajustar o valor de pH.	39
Tabela 4. Composição dos corpos de prova (CP).	40
Tabela 5. Perda ao fogo do resíduo e mistura resíduo.	47
Tabela 6. Quantidade de metais pesados (mg Kg^{-1}) liberada na lixiviação.	48
Tabela 7. Frequência vibracional das ondas referentes ao resíduo em temperaturas variando de 500 a 900 °C.	52
Tabela 8. Frequência vibracional das ondas referentes as misturas(resíduo/caulinita) em temperaturas variando de 500 a 900 °C.	57
Tabela 9. Frequência vibracional das ondas referentes as misturas(resíduo/açúcar) em temperaturas variando de 500 a 900 °C.	59
Tabela 10. Frequência vibracional das ondas referentes as misturas (resíduo/açúcar/caulinita) em temperaturas variando de 500 a 900 °C.	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista de um alvéolo de deposição de resíduos de um aterro industrial.	22
Figura 2. Vista de uma moderna incineradora de resíduos industriais.....	23
Figura 3. Vista de um <i>sistema landfarming</i>	25
Figura 4. Fluxograma de massa e energia (Companhia Pernambucana de Meio Ambiente, 2001).26	
Figura 5. Geração dos poluentes no processo galvânico - Fonte: Companhia Pernambucana de meio ambiente.	28
Figura 6. Fluxograma de geração de lodo.	29
Figura 7. Formas de incorporação de resíduos industriais.	30
Figura 8. Pólo Industrial de Manaus (PIM) – Moto Honda da Amazônia.	35
Figura 9. Resíduo produzido após o tratamento.....	36
Figura 10. Amostras com resíduo calcinado.	37
Figura 11. Corpos de prova desmoldados.	41
Figura 12. Máquina universal informatizada modelo EMICDL 30000 para ensaio de resistência à compressão.....	42
Figura 13. Amostras de resíduo e resíduo/mistura.	43
Figura 14. Aparelho de DRX LabX 6000.	44
Figura 15. Aparelho de IV-FT Perken Elmer modelo 2000 na faixa de 4500 a 400 cm^{-1}	45
Figura 16. Perda ao fogo em função da temperatura.....	46
Figura 17. Difratoograma de raios X do resíduo a 25 $^{\circ}\text{C}$	49
Figura 18. Espectro IV-FT do resíduo a 25 $^{\circ}\text{C}$	50
Figura 19. Difratoograma de raios X das amostras de resíduos após aquecimento de 500 a 900 $^{\circ}\text{C}$	51
Figura 20. Espectros de IV de resíduo galvânico calcinado em temperaturas variando de 500 a 900 $^{\circ}\text{C}$	52

Figura 21. Teste de ruptura carga massa.	53
Figura 22. Teste de ruptura do resíduo tensão máxima.....	54
Figura 23. DRX da mistura resíduo/caulinita calcinada em temperaturas variando de 500 a 900 °C.....	55
Figura 24. Espectros de IV da mistura resíduo/caulinita calcinadas na faixa entre 500 a 900 °C... ..	56
Figura 25. DRX da mistura resíduo/açúcar calcinada em temperaturas variando de.....	58
Figura 26. Espectros de IV de mistura resíduo/açúcar calcinadas na faixa de 500 a 900 °C... ..	59
Figura 27. DRX da mistura resíduo/caulinita/açúcar calcinada em temperaturas variando de 500 a 900 °C.....	60
Figura 28. Espectros de IV de mistura resíduo/açúcar/caulinita calcinadas em temperaturas variando de 500 a 900 °C.....	61

RESUMO

Foi realizado um estudo sobre a viabilidade de uso do resíduo galvânico, proveniente de uma indústria do Pólo Industrial de Manaus (PIM). Na primeira fase do trabalho buscou-se identificar por ensaios de lixiviação aqueles metais potencialmente tóxicos que conferiam periculosidade ao resíduo, posteriormente foram confeccionados corpos de prova com diferentes relações de areia, seixo, cimento e água. Em seguida buscou-se uma forma de reduzir a quantidade cimento por resíduo, fazendo substituição de cimento por resíduo na seguinte proporção 2,5 5,0 10,0 e 20,0%. A partir de 7 e 28 dias foram realizados testes de ruptura. Na segunda fase o resíduo foi misturado a material orgânico (açúcar) e inorgânico (caulinita), seguida de calcinação em temperaturas variando de 500 a 900 °C. Os resultados indicaram que entre os corpos de prova analisados aqueles contendo de 5,0 e 10,0% não apresentavam alterações de comportamento. A mistura resíduo/caulinita quando calcinada a 500 °C sofria um processo de cristalização, sendo mais acentuada de 600 a 900 °C. Com relação à mistura resíduo/açúcar observou-se que entre 500 e 600 °C há processo de cristalização, mas que em 700 °C desaparece, ocorrendo novamente entre 800 e 900 °C.

Palavras-chave: Resíduo Galvânico, Metais Potencialmente Tóxicos, Cimento, Mistura.

ABSTRACT

We conducted a study on the feasibility of using waste galvanic industry from an Industrial Pole of Manaus (PIM). In the first phase of work aimed to identify leaching tests for those potentially toxic metals dangerousness which gave the residue, were subsequently made specimens with different ratios of sand, pebble, cement and water. Next we sought a way to reduce the amount of cement residue, making replacement cement by waste in the following proportion 2.5 5.0 10.0 and 20.0%. From 7 and 28 days tests were made rupture. In second phase the residue was mixed with organic material (sugar) and inorganic (kaolinite), followed by calcination at temperatures ranging from 500 to 900 ° C. The results indicated that among the specimens analyzed those containing from 5.0 and 10.0% showed no changes in behavior. Mixing waste / kaolinite when calcined at 500 ° C suffered a process crystallization was more pronounced from 600 to 900 ° C. With relation to the mix waste / sugar was observed that between 500 and 600 ° C for crystallization process, but at 700 ° C disappears occurring again between 800 and 900 ° C.

Keywords: Galvanic Waste, Potentially Toxic Metals, Cement, Mixing.

1. INTRODUÇÃO

Até a década de 80 do século passado, o destino dos resíduos produzidos pelas indústrias, tinha como destino os cursos d'água, só depois de muito tempo é que os órgãos ambientais tiveram uma preocupação para a destinação dos mesmos. A busca de solução técnica e ambientalmente vantajosa continua sendo ainda um desafio.

As principais preocupações estão voltadas para as repercussões que podem ter sobre a saúde humana e sobre o ambiente (solo, água, ar e paisagens). Os resíduos perigosos, produzidos, sobretudo pela indústria, são particularmente preocupantes, pois, quando incorretamente gerenciados, tornam-se grave ameaça ao ambiente (Zulauf, 1977).

A diminuição do potencial poluidor do parque industrial brasileiro, ainda é lenta, principalmente por parte das indústrias mais antigas, que contribuem com a maior parcela de carga poluidora gerada e o elevado risco de acidentes ambientais, sendo, portanto, necessários altos investimentos de controle ambiental e custos de despoluição para controlar a emissão de poluentes, lançamento de efluentes e depósito irregular de resíduos perigosos (Khanna e Anton, 2002).

Dentre os resíduos gerados, o resíduo industrial é um dos responsáveis pelas agressões fatais ao ambiente. Nele estão incluídos produtos químicos, como cianuretos, pesticidas, solventes, metais pesados e solventes químicos, que ameaçam os ciclos naturais onde são despejados. Os resíduos sólidos são amontoados e enterrados; os líquidos são despejados em rios e mares; os gases são lançados no ar. Assim, a saúde do ambiente, e conseqüentemente dos seres que nele vivem, torna-se ameaçada, podendo levar a grandes tragédias (Bosco *et al.*, 2003).

Dentre as indústrias poluidoras, destaca-se de galvanoplastia que devido à natureza tóxica das matérias primas e dos resíduos gerados são consideradas de alto impacto ambiental.

Os resíduos gerados na galvanoplastia geralmente contém altos teores de metais pesados, como Ni, Zn, Cr, Sn, Cu, Pb e Sb (BARROSO *et al.*, 2001). Sendo assim, a busca de soluções para o problema não se resume apenas em encontrar meios de reciclagem e/ou disposição final (SENAI, 2002). Um fator preponderante para essa atitude é a crescente exigência da legislação para o controle de atividades dessa natureza, cuja exigência para a implantação de sistemas de tratamento para reduzir o impacto ambiental é cada vez maior (SISNAMA, 2007).

O presente trabalho tem como objetivo principal propor formas de reutilização do resíduo galvânico, resultante do processo de tratamento de efluentes de galvanoplastia, com intuito de diminuir o impacto desse passivo ambiental.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 ASPECTOS GERAIS DE INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS

Os resíduos sólidos resultam de diversas atividades humanas, dentre elas a atividade industrial que gera resíduos e com características tais que necessitam de disposição final adequada.

Flohr *et al* (2005) por apresentarem riscos de poluição ambiental e de saúde pública, esta disposição final deve ocorrer em aterros industriais, obras de engenharia preparadas para o tratamento e disposição final destes resíduos de forma a gerar o mínimo impacto sobre o ambiente e a saúde humana.

Atualmente, há um grande interesse em apoiar e incentivar estudos que busquem dar um valor agregado a este tipo de resíduo.

Para Bondioli *et al* (2000) é necessário conhecer não só o tipo de resíduo como também sua composição química, pois se este apresenta algum constituinte químico majoritário de algum produto sua utilização para produção deste representa o melhor método para reduzir o impacto ambiental deste resíduo.

Nishida *et al.* (2000) demonstraram que lodo amarelo contém hidróxidos de vários íons de metais pesados, como por exemplo, Cr, Fe, Cu e Pb. Eles provaram, que Vidro tipo Soda-cal é um meio muito efetivo para solidificação estável de íons de metais pesados e que resíduos de vidros podem ser reusados para esse propósito.

Ferreira *et al* (2001) propuseram a inertização de rejeitos sólidos galvânicos em vidros silicatos utilizando até 23% de resíduo rico em cromo, classificado como Classe II – não-inerte segundo a NBR 10004. O cromo, embora possua uma baixa solubilidade nos vidros, é utilizado como corante, seja na forma de Cr^{3+} ou Cr^{6+} . Uma vez combinado como o ferro, o

chromo pode ocasionar a formação de óxidos mistos cristalinos, os quais dão coloração ao vidro.

Espinhosa *et al* (2000) investigaram, em escala laboratorial, a utilização de resíduo galvânico como matéria-prima para fabricação de cimento Portland. Seus estudos concluíram que a adição de 2% de resíduo seco não afetou as temperaturas de formação de fases e o processo de clínquerização. Segundo Marques (2000), os elementos metálicos introduzidos no forno de produção de clínquer são fixados em quase sua totalidade e incorporadas ao cimento.

Rak *et al* (1991) estudaram a possibilidade de utilizar resíduos industriais provenientes da produção de dicromato de sódio, como pigmentos de vidrados cerâmicos usados no revestimento de pavimento tipo grês. Estes resíduos apresentam um elevado conteúdo de cromo hexavalente. O resíduo com adição de quantidades variáveis de pó de carvão foi proveniente calcinado a 850°C em atmosfera redutora. Deste modo, obtiveram uma mistura de cromo-dolomita insolúvel em água, na qual o cromo estava presente na forma trivalente. A utilização desta mistura como agente corante do vidrado permitiu obter vidrados da cor bege, sem que as restantes propriedades fossem significativamente afetadas.

Abreu *et al* (2002) concluíram em seus estudos a viabilidade de se obter pigmentos cerâmicos através de reciclagem de diferentes resíduos industriais encontradas na Indústria Automobilísticas, Metalúrgica e Siderúrgica, entre outras.

Balaton *et al*. (2002) usaram com sucesso 2 a 5% de lodo galvânico com algumas misturas de dois tipos de argila natural. Elas foram queimadas em temperaturas de 850, 900 e 950 °C.

Basegio *et al*. (2001) investigaram a possibilidade de utilização de resíduo de curtume com alta concentração de metais pesados misturados com argila e o resultado foi a recomendação para apenas 10% desse tipo de resíduo.

Outro caminho para o processo de inertização de metais pesados no processo de galvanização foi proposto por CIOFIA *et al.* (2002). Eles usaram uma mistura contendo silicato e sulfoaluminato. O resíduo foi disposto em um aterro de resíduos tóxicos para prevenir o risco da liberação de Cd, Cr e Ni.

O processamento de produtos industriais gera resíduos tóxicos que precisam de tratamento e destino adequados. Alguns desses resíduos têm a capacidade de bioacumular nos seres vivos, além de entrar na cadeia alimentar do homem (PÔRTO, 2003).

Por causa desse risco, o gerador tem responsabilidade de acompanhar o destino de seus resíduos, bem como informar, mostrar alternativas disponíveis para esse fim e a capacitar o pessoal dentro das normas que estabelecem sua disposição final (CONAMA, 1988). Atualmente são empregadas algumas formas de tratamento e destinação final dos mesmos, onde as principais são: aterro industrial, incineração e *landfarming*, além de outras alternativas, conforme citadas abaixo.

Existem outros processos considerados, como redução, neutralização, troca iônica, recuperação eletrolítica, extração por solventes, flotação, adsorção, osmose reversa, eletrodialise, e ultrafiltração. A degradação química, como coagulação e precipitação, e biológica, como bioreatores, são outros métodos também aplicados, para a disposição de resíduos industriais (USEPA, 1990; APHA, 1998).

2.2 ATERRO INDUSTRIAL

Aterro industrial pode ser entendido como a técnica de disposição final de resíduos industriais no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública. Esse sistema minimiza os impactos ambientais, pois utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos

industriais, tanto perigosos quanto não inertes. O seu objetivo é utilizar a menor área possível e reduzir ao máximo volume de resíduo (ABNT 1987).

Para que um projeto seja elaborado, e para que ocorra a implantação de um aterro, são necessários estudos de caracterização e classificação de resíduos e do local destinado à implantação do aterro. Deste modo, é necessário avaliar as condições geográfica, topográfica, hidrogeológica e climatológica (ABNT, 1997b; ABNT 1987e). Além disso, a disposição de resíduos perigosos em aterros requer, tanto no projeto quanto na operação, maior cuidado e elaboração mais sofisticada, havendo a necessidade de uma preparação prévia do resíduo (ZULAUF, 1977). Antes de serem aterrados, os resíduos devem ser submetidos às preparações como secagem, neutralização, solidificação, fixação química, encapsulamento, precipitação de cianetos, entre outros (Matheus e Bentley, 1983).

É necessária a inspeção e o monitoramento de toda a extensão do aterro, bem como o monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da redondeza (PAVAN *et al.*, 1985). Consequentemente é preciso a impermeabilização de sua base, sendo necessária também uma cobertura impermeável, para evitar assim a infiltração de águas de chuva e controlar emissões gasosas (JACONIMO *et al.*, 2002).

O plano de operação do aterro deverá seguir alguns critérios como o de registro e controle de recebimento, amostragem e segregação de resíduos, de inspeção e manutenção de emergência e monitoramento do aquífero, para que seja minimizada a possibilidade de ocorrer danos ao meio ambiente e à saúde pública (ROCCA *et al.*, 1993). Vista de um aterro industrial (Figura 1).

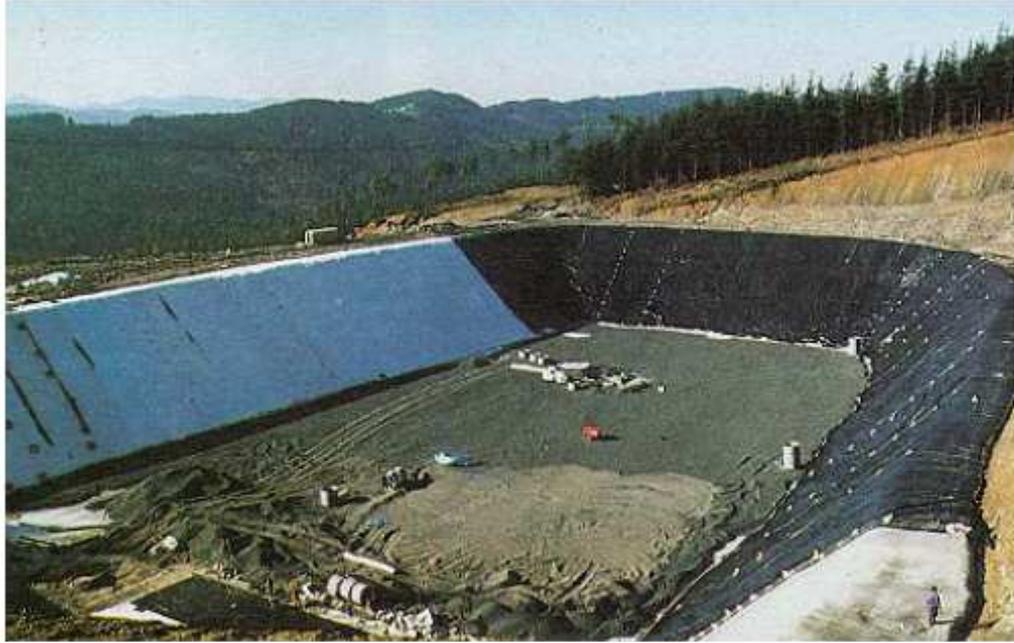


Figura 1. Vista de um alvéolo de deposição de resíduos de um aterro industrial.
Fonte: INTRANSCOL, 2008.

2.3 INCINERAÇÃO

A incineração é um processo de tratamento físico-químico que utiliza a destruição térmica sob alta temperatura, sendo esta na faixa de 900 a 1250 °C. A aplicação desse tratamento é para resíduos de alta periculosidade, objetivando reduzir o seu volume, ou que necessitam de destruição total (ABNT, 1990).

Nesse processo, a decomposição térmica é realizada por oxidação à alta temperatura da parcela orgânica do resíduo, ficando duas fases: uma sólida e outra gasosa, além de reduzir o volume, peso e as características de sua periculosidade (BOND e STRAUB, 1973).

Os resíduos adequados para a incineração são os sólidos, pastosos, líquidos e gasosos, clorados, não-clorados (borra de tinta, agrotóxicos, borras oleosas, farmacêuticos, cosméticos, resíduos de laboratório, e resinas), inorgânicos, ambulatoriais, muito inflamáveis,

e aqueles que apresentam seu poder calorífico inferior da ordem de $4.700 \text{ kcal kg}^{-1}$ (ROCCA *et al.*, 1993). Os resíduos não-passíveis de incineração são os radioativos, resíduos totalmente inorgânicos e os hospitalares do centro cirúrgico (BOND e STRAUB, 1973). A incineração pode também ser aplicada à disposição final de lodos oriundos de estação de tratamento de águas potável, mas o custo elevado deste processo o torna inviável (REALI, 1999).

Em relação ao processo industrial é necessário obter as informações sobre quais matérias-primas são empregadas e os produtos fabricados, além de ter o fluxograma do processo industrial com indicações dos pontos de geração dos resíduos (ROCCA *et al.*, 1993). Sobre os resíduos, a USEPA (1986) considera importante obter a quantidade, o estado físico, poder calorífico, viscosidade, densidade, corrosividade, e composição química. Vista de um incinerador de resíduos industriais (Figura 2).



Figura 2. Vista de uma moderna incineradora de resíduos industriais.
Fonte: Química e Derivados, 2008.

2.4 SISTEMAS LANDFARMING

Sendo um sistema de tratamento biológico de resíduos no solo, esta técnica consiste em utilizar propriedades físicas, químicas e a atividade microbiana do solo para realizar a biodegradação, a detoxificação, a transformação e a imobilização dos constituintes dos resíduos tratados. Podem ser tratados por este sistema uma grande variedade de resíduos, incluindo líquidos e os perigosos (ROCCA *et al.*, 1993).

Neste tratamento os resíduos são dispostos, de maneira controlada, na superfície ou no interior do horizonte superficial do solo, onde sofrem monitoramento e remanejamento constantes, possibilitando a degradação e as transformações dos resíduos (PAVAN *et al.*, 1985). De acordo com Matheus e Bentley (1983), para auxiliar na atividade decompositora de microorganismos, são utilizadas técnicas agrícolas, aeração mecânica e adubação química.

A seleção de locais, o projeto, a operação e manejo, o monitoramento e fechamento das unidades, são alguns critérios básicos que devem ser seguidos para a implantação de um sistema *landfarming*, conforme dispõe a ABNT (1997a). Para a adoção desse sistema alguns requisitos devem ser seguidos, como sondagens do terreno para que se determine o nível do lençol subterrâneo, as camadas constituintes do solo; grau de permeabilidade do terreno; medidas de pH; umidade e concentração de microorganismos; teor de nutrientes e capacidade de troca iônica do solo, e distância entre a superfície do solo e o lençol freático, que deve ser no mínimo de 3,0 m ABNT (1997a). Vista de um *sistema landfarming* (Figura 3).



Figura 3. Vista de um *sistema landfarming*
Fonte: Miliarium, 2008.

2.5 RESÍDUOS NA GALVANOPLASTIA

A galvanoplastia é um processo eletroquímico com finalidade de proteger superficialmente peças metálicas. Nesse processo é feita uma eletrólise e deposita-se um metal na superfície do outro para protegê-lo ou para efeito decorativo. As matérias-primas empregadas nos processos galvanotécnicos resultam, com poucas exceções, em resíduos extremamente venenosos para os seres vivos, pois apresentam altos teores de metais potencialmente tóxicos (PÔRTO, 2003).

Apesar de existir grande variação nas etapas, o processo de galvanoplastia pode ser representado esquematicamente na Figura 4.

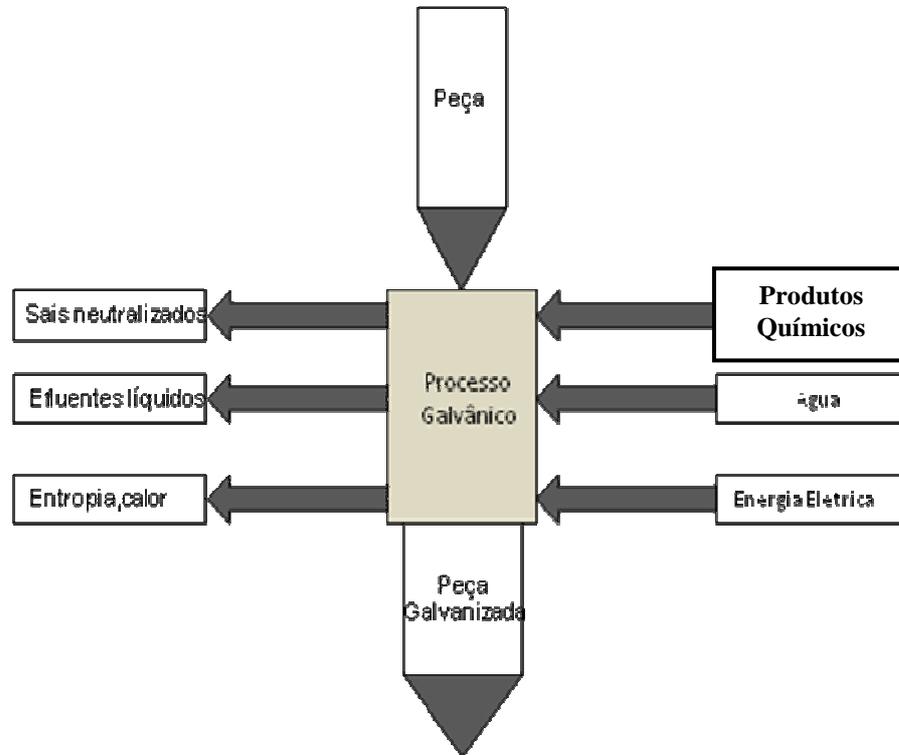


Figura 4. Fluxograma de massa e energia (Companhia Pernambucana de Meio Ambiente, 2001).

Devido ao tipo de resíduo gerado pelos processos de deposição eletrolítica, sua reutilização ou tratamento mostra-se complicada. Uma infinidade de tipos de resíduos pode ser gerada; sua identificação, necessária à posterior adoção de um processo de tratamento, deve ser feita por um técnico químico ou de meio ambiente.

Os banhos de enxágüe de peças são os maiores geradores de resíduos do processo de galvanoplastia. Um método comum de enxágüe é a *lavagem estanque*, em que as peças são submersas em água e retiradas após algum tempo, o que incorre no rápido aumento da concentração de sais dissolvidos e conseqüente diminuição da eficiência desses banhos.

2.6 TRATAMENTOS CONVENCIONAIS DOS RESÍDUOS GALVÂNICOS

O tratamento dos resíduos depende primeiro, da definição do que é produzido, sendo mais comuns:

1. Em galvanização: Cr^{6+} , Cr^{3+} , CN^- , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^+ , Ni^{2+} , Sn^{2+} .
2. Em fosfatização: fosfatos, Fe^{2+} , Zn^{2+} , CN^- , Cr^{3+} .
3. Em anodização: Al^{3+} , Sn^{2+} , Ni^{2+} , F^- .

De forma geral, existem duas formas de se abordar o tratamento dos resíduos: por processamento contínuo e por batelada.

O **processo contínuo** requer um investimento inicialmente menor, pois ocupa menos espaço. Porém, o processo não é tolerante a falhas. Caso algum de seus componentes (bombas, tubos, etc.) apresente algum problema que demande paralisação do tratamento de resíduos, a produção poderá ser interrompida.

O **processamento por batelada** é composto, basicamente, por dois reatores: um que recebe os efluentes e outro que efetua o tratamento, a qualquer tempo, demanda menor manutenção, é mais econômico no uso de reagentes, uma vez que os processos químicos têm mais tempo para ocorrer e é mais flexível, podendo ser adaptado a necessidades variadas.

No fluxograma genérico apresentado na Figura 5, estão indicados os pontos de geração de poluentes de um processo típico. Os efluentes estão separados por tipo: emissões gasosas, resíduos sólidos e efluentes líquidos.

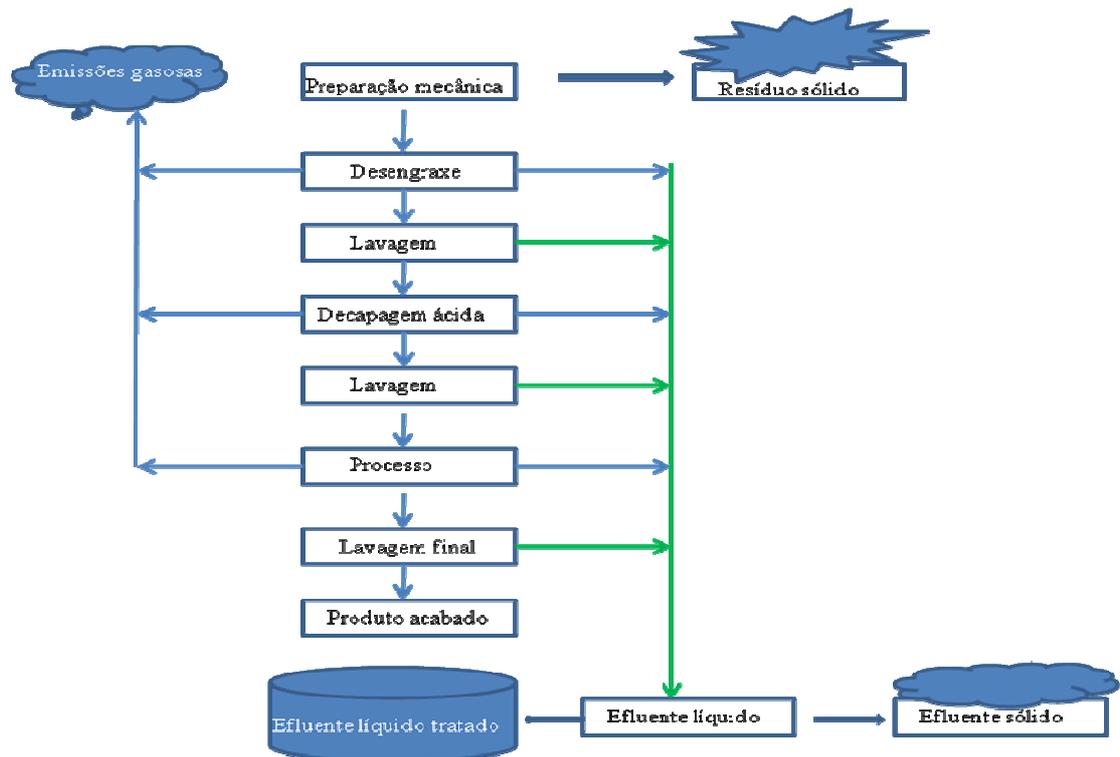


Figura 5. Geração dos poluentes no processo galvanizado - Fonte: Companhia Pernambucana de meio ambiente.

Depois da neutralização e do tratamento químico das águas residuais, é necessário remover a lama existente. Isso pode ser feito por coagulação/floculação, sedimentação ou filtragem. Entre os sistemas de filtragem mais utilizados estão: filtros-prensa, leitos de secagem e filtragem centrífuga PONTE (2002).

Ao final do processo de tratamento o que resta é um lodo, rico em diversas substâncias potencialmente tóxicas (Figura 6). Caso esse material tenha, como destino, algum aterro industrial, terá de ser condicionado primeiro em sacos plásticos e, em seguida, em tambores (ABNT, 2003).

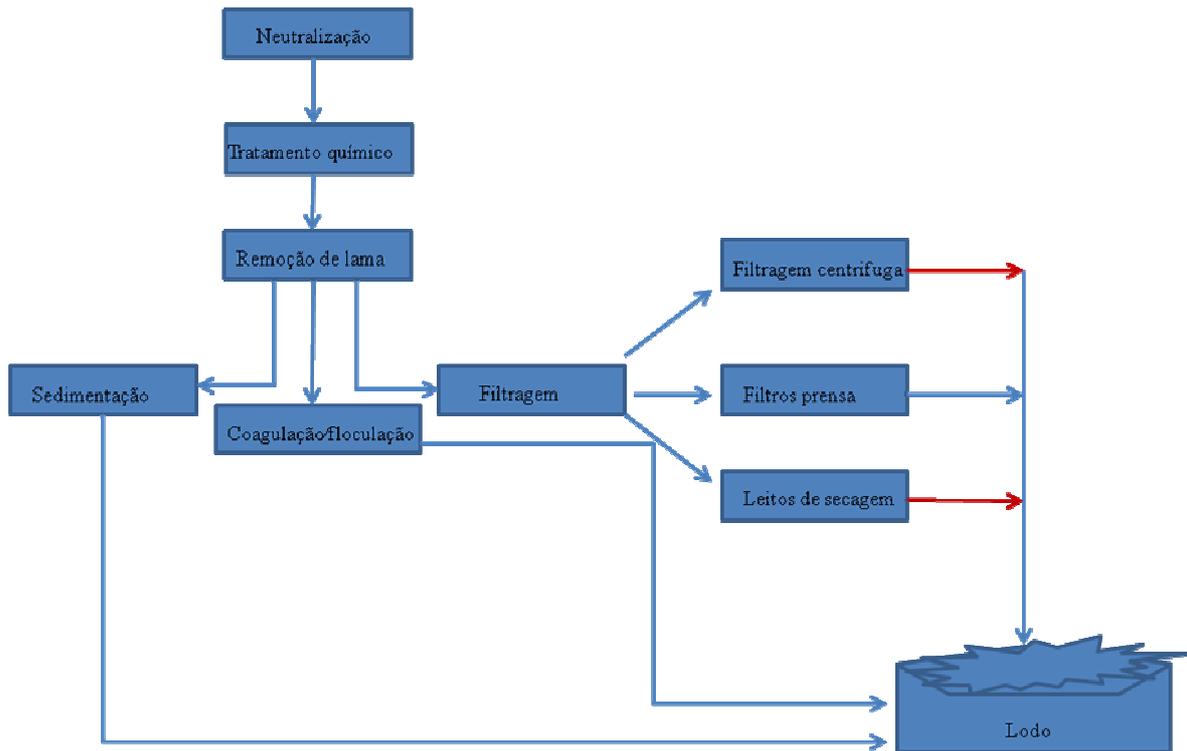


Figura 6. Fluxograma de geração de lodo.

O lodo galvânico pode apresentar qualitativamente um forte risco de impacto ambiental (COUTO, 2000). A sua lixiviação, por parte das águas das chuvas, pode promover a contaminação da cadeia alimentar com metais potencialmente tóxicos, tais como Cr e Zn. Devido sua natureza química a biodegradação ou assimilação pelo ambiente não é realizada num espaço temporal compatível com as exigências ambientais de saúde pública (FERGUSSON, 1990).

2.7 INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS

Nas últimas décadas com o surgimento de novas leis de proteção ambiental, as pesquisas buscam técnicas de reaproveitamento, minimização e controle dos resíduos produzidos, e já é possível identificar, quantificar e minimizar o volume desses resíduos

gerados e destinados para os locais apropriados, onde é possível incorporá-lo, agregar valores e contribuir para a preservação ambiental (MOREIRA, 2001). A Figura 7, indica as principais formas de incorporação de resíduos industriais.

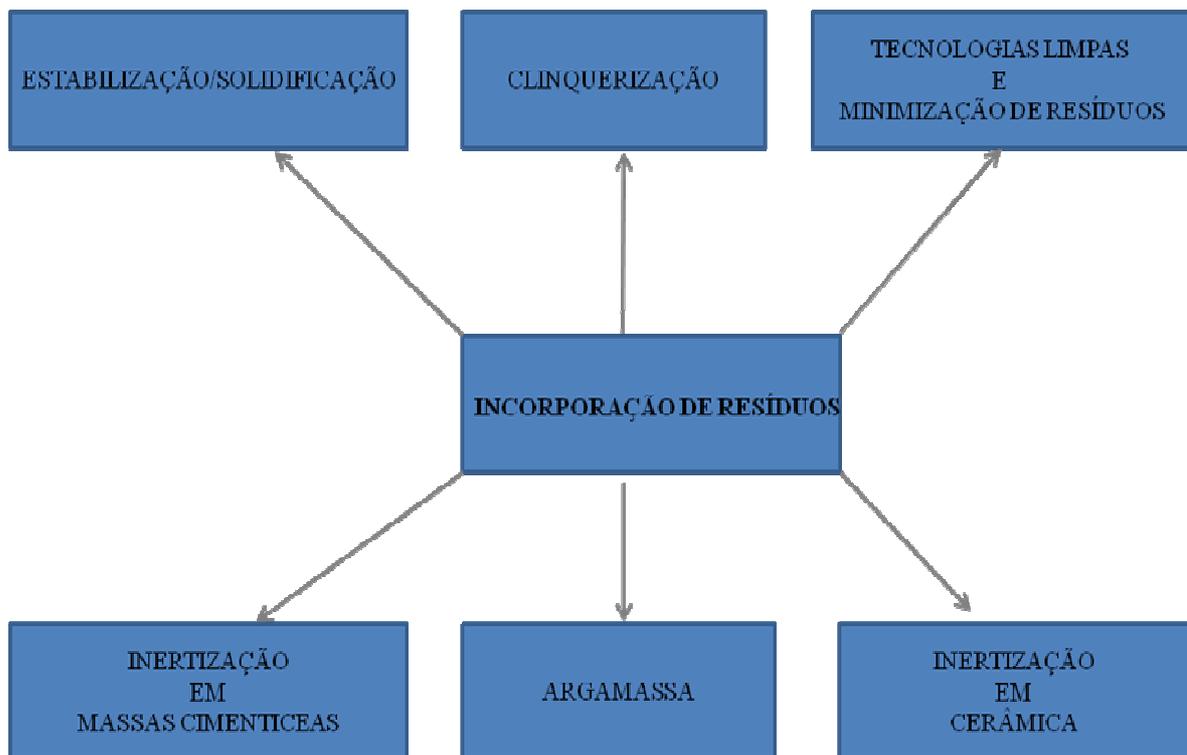


Figura 7. Formas de incorporação de resíduos industriais.

O gerenciamento de resíduos sólidos industriais, segundo Jacomino *et al.* (2002), é fundamentado em minimizar, valorizar, reaproveitar e dispor esse passivo ambiental. A reciclagem, sendo utilizada como um programa de minimização de resíduos pode ser uma alternativa para controlar o consumo de matérias-primas na construção civil (LEITE, 2001), através de incorporação em cimento ou argamassa, bem como outras formas de substituir matéria-prima por resíduo.

A estabilização e a solidificação melhoram as características físicas facilitando o manuseio dos resíduos, diminuem a possibilidade de ocorrer perda de poluentes e dificultam a

solubilidade de constituintes perigosos que possam existir (USEPA, 1989; MARQUES, 2000).

A eliminação ou redução da poluição ambiental de um resíduo pode ser conseguida por inertização, com as substâncias problema tornadas inócuas ou mantidas imobilizadas dentro de uma matriz adequada. Em termos termodinâmicos, a inertização implica um retardamento da velocidade em que as substâncias procuram o equilíbrio nas condições ambientais a que estão sujeitas Herek *et al.*, (2005) apud Prim (1998).

Foi incorporado resíduo galvânico em massa cimentícias para processo de inertização, segundo Tay e Show (1997) e Onaka (2000) os contaminantes são fisicamente envolvidos no seio de uma massa estabilizada (solidificação), em que são induzidas reações químicas entre agentes estabilizadores e contaminantes de modo a reduzir sua mobilidade e a toxicidade destes (estabilização). Essa massa estabilizada é designada por encapsulante ou adsorvente. São usados diversos tipos de agentes solidificantes, orgânicos ou inorgânicos. Um dos aditivos muito utilizados é o cimento, designando-se assim por inertização em cimento.

Numa composição de argamassa o componente agregado (inerte) assegura a função de carga para a formação do corpo do produto. Os ligantes têm função de atribuir coesão e resistência à mistura. Os aditivos e adjuvantes são materiais orgânicos ou inorgânicos adicionados em pequenas quantidades para controlar ou modificar as características da argamassa no estado fresco e/ou endurecido, atuando principalmente sobre o ligante. A inserção de resíduos na mistura crua do clínquer, seguindo por todo o ciclo de fabricação, é chamado de co-processamento, técnica esta bastante utilizada na indústria cimenteira (HOPPEN *et al.*, 2006).

O cimento é um ligante de propriedades hidráulicas, obtido por mistura de matérias-primas naturais finamente moídas, processada a alta temperatura e que, quando misturado com água, endurece ganhando resistência mecânica.

2.8 METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS

A preocupação quanto ao comportamento dos metais tóxicos no ambiente é principalmente, aos efeitos biológicos que podem causar. Boa parte desses elementos é essencial ao bom funcionamento dos organismos vivos, na forma de traços, mas potencialmente tóxicos, a todo tipo de vida, quando em concentrações elevadas, ou em determinadas combinações químicas. Por suas características de toxicidade e bioacumulação, os metais potencialmente tóxicos merecem atenção especial, pois os danos acarretados ao ambiente e aos seres vivos são graves e muitas vezes irreversíveis. Quando um elemento potencialmente tóxico é absorvido pelo organismo humano, em concentrações elevadas, pode causar danos à sua estrutura, penetrando nas células e alterando seu funcionamento normal, com inibição das atividades enzimáticas. Em alguns casos, os sintomas da intoxicação só serão observados em longo prazo, pois vários serão os fatores interferentes nos efeitos negativos causados por esses elementos (SNAM, 1992; FIRJAN, 2000).

A toxicidade de um metal, assim como a sua disponibilidade (capacidade de interação de um contaminante com um sistema biológico), está relacionada a vários fatores, tais como: forma química em que o metal se encontra no ambiente; sua capacidade de biotransformação em subprodutos mais ou menos tóxicos; vias de introdução do metal no organismo; etc. As principais vias de introdução no organismo são: através do ar inalado; por via oral (água e alimentos); ou por via dérmica. A maioria dos metais tóxicos afeta múltiplos sistemas orgânicos, sendo os alvos da toxicidade, processos bioquímicos específicos (enzimas) e/ou membranas de células e organelas. O efeito tóxico envolve, geralmente, uma interação entre o íon metálico livre e o alvo toxicológico. Por outro lado, os metais essenciais ao organismo podem alterar metabolicamente a toxicidade, por interação ao nível celular. (FIRJAN, 2000; GOYER, 1986).

Dentre os metais altamente tóxicos, encontramos: Cd, Pb, Cu, Fe, Mn, Cr, Ni e Zn. Os metais potencialmente tóxicos são muito usados na indústria e estão em vários produtos. A Tabela 1, apresenta os principais metais usados, suas fontes e riscos à saúde.

Tabela 1. Principais metais potencialmente tóxicos usados na indústria, suas fontes e riscos à saúde.

METAIS	DE ONDE VEM	EFEITOS
Cd	Produto da mineração e soldagem do zinco e chumbo. Representa importante fonte de contaminação ambiental. O cádmio é também encontrado no solo devido à precipitação no ar e ao uso de alguns fertilizantes compostos.	Câncer de pulmões e próstata; lesão nos rins.
Pb	Há mais de 4.000 anos o chumbo é utilizado sob várias formas, principalmente por ser uma fonte de prata. Antigamente, as minas de prata eram de galena (minério de chumbo), um metal dúctil, maleável, de cor prateada ou cinza-azulada, resistente à corrosão. Fabricação e reciclagem de baterias de autos, indústria de tintas; pintura em cerâmica, soldagem.	Saturnismo (cólicas abdominais, tremores, fraqueza muscular, lesão renal e cerebral).
Mn	Os óxidos, carbonatos e silicatos de manganês são os mais abundantes na natureza e caracterizam-se por serem insolúveis na água.	Tem sido associada com deficiências neurológicas, transtornos de comportamento e doenças neuropsiquiátricas.
Cr	O cromo é obtido do minério cromita, metal de cor cinza que reage com os ácidos clorídrico e sulfúrico. Indústria de corantes, esmaltes, tintas, ligas com aço e níquel, cromagem de metais.	Irritante das mucosas e da pele, pela sua propriedade corrosiva; Asma (bronquite); câncer.
Ni	É encontrado em diversos minerais, em meteoritos (formando liga metálica com o ferro); baterias; aramados; fundição e niquelagem de metais; refinarias.	Câncer de pulmão e seios paranasais.
Zn	Faz parte dos metais pesados, existe em forma bivalente nas suas combinações e forma complexo com amoníaco, aminas, cianetos e halogêneos. O zinco está presente na natureza apenas como composto conjuntamente com o chumbo e o cádmio. A concentração de zinco no solo varia entre 10 e 3000 mg/kg.	Provoca fadiga, calafrios, febre, mialgia, tosse, leucocitose, sede, sabor metálico na boca e salivação. Os compostos de zinco não são considerados carcinogênicos.
Cu	Pode ser encontrado em diversos minerais, inclusive na forma nativa, na forma metálica, em alguns lugares. É utilizado atualmente para produção de materiais condutores de eletricidade (fios e cabos) e em ligas metálicas como o latão e o bronze.	Têm sido associado a sintomas gastrintestinais, como diarreia, dor abdominal, náusea e vômito.
Fe	O ferro é achado na natureza sob a forma de vários compostos, como a hematita, a magnetita, a limonita, a siderita, a pirita e a limenita, sendo que a hematita é o composto mais abundante na natureza.	O excesso de Fe no organismo ocasiona a hemocromatos que se caracteriza por pigmentação amarelada na pele, lesão pancreática com diabetes, cirrose hepática, incidência elevada de carcinoma hepático.

Fonte: Sindipetro, 2008.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO E COLETA DO RESÍDUO SÓLIDO

O resíduo foi coletado conforme os procedimentos de amostragem estabelecidos pela ABNT 2004 NBR 10007:04 no item 4.2.1 amostragem em tambores e recipientes similares na HONDA (Pólo Industrial de Manaus), Figura 8, cujos processos industriais manipulam diversas substâncias contendo Cd, Pb, Cu, Fe, Mn, Cr, Ni e Zn.



Figura 8. Pólo Industrial de Manaus (PIM) – Moto Honda da Amazônia.

O resíduo coletado compreende a etapa chamada de “banho” é realizada em planta galvânica interna da fábrica. Nessa etapa, as peças passam por processos de eletrodeposição, o que resulta em efluentes líquidos. Após o seu tratamento é produzida uma massa de lodo marron-esverdeada que varia de 1 a 5% do peso/volume do efluente gerado. A Figura 9, apresenta o resíduo ainda úmido e em forma de grãos, com granulometria superior a 2 mm.



Figura 9. Resíduo produzido após o tratamento.

Os ensaios de laboratório realizado na empresa mostram as seguintes características dos metais presentes em uma massa inicial de 730,5117 g (Tabela 2).

Tabela 2. Composição do lodo de galvanoplastia.

Características de controle	Informativo	Encontrado
Ensaio de umidade (%)	160 °C x 24 h	69.99% ~ 70.35%
Composição Química (ppm)		
Al		2.5130
B		0.9421
Ba		0.2297
Cr		69.1226
Cu		0.6625
Fe		12.6691
Li		0.0004
Mn		0.7909
Ni		130.2648
Pb		0.9132
V		0.2197
Zn		0.8272

Fonte: HCA-HONDA.

3.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

Cerca de 10 g em triplicada de amostra de resíduo seca ao ar foi aquecidas em estufa a 110 °C, e em mufla da marca Químis modelo Q-318S24, 220 V e 3720 W com temperatura regulável, por duas horas a uma temperatura de 500 a 900 °C por 2 horas, (Figura 10), e após diminuição de temperatura foi colocado em dessecador, onde por diferença de pesos, foi determinado a porcentagem de perda de material.



Figura 10. Amostras com resíduo calcinado.

3.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

Para a determinação da massa específica, a amostra foi seca em estufa à 110 °C, por 24 horas, pesou-se 350 g resíduo galvânico para um tubo de Chapman, sendo adicionados 210 mL de água, sendo observado o aumento do volume. Desta forma, o volume real do resíduo foi calculado por diferença, sendo utilizado para encontrar a massa específica, RIBEIRO *et al.* (2006), pode ser calculado segundo:

$$\text{Peso do resíduo} = 350 \text{ g} = 0,35 \text{ kg}$$

Volume medido no tubo de Chapman = 445 mL (445 – 210) mL = 235 mL = 0,235 L
 = 0,235 dm³.

$$M.E. = \frac{P_s}{V_r}$$

$$M.E. = \frac{0,35 \text{ kg}}{0,235 \text{ dm}^3} = 1,49 \text{ kg/dm}^3$$

Em que : M.E = massa específica (kg dm⁻³)

P_s = peso do resíduo seco (kg)

V_r = volume real (dm³)

3.4 DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA

Para determinar a massa unitária, a amostra de resíduo foi seca em estufa à 110 °C, por 24 horas, onde calculou-se o peso total (amostra + volume do recipiente) = 321,3 g = 0,3213 kg, segundo RIBEIRO *et al.* (2006).

Peso do recipiente = 78,1 g = 0,0781 kg

Volume do recipiente = 377 cm³ = 0,377 dm³

$$M.U. = \frac{P_s}{V_a}$$

$$M.U. = \frac{(0,3213 - 0,078) \text{ kg}}{0,377 \text{ dm}^3} = 0,645 \text{ kg/dm}^3$$

Onde: M.U = massa unitária (kg dm⁻³)

P_s = peso do resíduo seco (kg)

V_a = volume aparente (dm³)

3.5 DETERMINAÇÃO DE METAIS LIXIVIADOS DO RESÍDUO SÓLIDO

As amostras de resíduos sólidos secas foram trituradas e peneiradas em peneira de 45 μm até a obtenção de um material homogêneo e consistente, onde foram posteriormente armazenadas em frascos de polietileno.

Foram pesados cerca de 1,00 g material e transferidos para um erlenmayer, até chegar um limite de 30 erlenmeyers, ou seja, cada erlenmayer contendo cerca de 1,00 g de resíduo, respectivamente. Em triplicada, foram adicionados 100 mL de solução em vários valores de pH (Tabela 3). Em seguida, o material foi agitado por 24 horas em mesa agitadora, em seguida filtrou-se, e a partir do filtrado foi feita a leitura das quantidades de Pb, Cu, Cr, Zn, Cd, Ni e Fe determinada por espectroscopia de absorção atômica de chama (FAAS).

Tabela 3. Valores de pH com as respectivas soluções usadas para ajustar o valor de pH.

Código	Solução/100 ml	pH
R1-X	HCl	0-2
R2-X	HCl	2-3
R3-X	HCl	3-4
R4-X	HCl	4-5
R5-X	HCl	5-6
R6-X	HCCOH	6-7
R7-X	NH ₄ OH	7-8
R8-X	NaOH	8-9
R9-X	NaOH	9-10
R10-X	NaOH	10-11

X = 1, 2 e 3.

3.6 INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM ARGAMASSA DE CIMENTO

A formulação para incorporação do resíduo, em argamassa foi realizado no laboratório de materiais da Faculdade de Tecnologia da UFAM, onde os materiais: areia, seixo foram separados e deixados em local apropriado para retirar a umidade. O cimento utilizado foi o cimento Amazonas, pois apresenta uma quantidade de aditivo menor em relação ao cimento Nassau, confeccionou-se os corpos de prova (CP), alterando as composições do cimento/resíduo (Tabela 4).

Os corpos de prova resíduo/argamassa foram confeccionados com resíduo galvânico seco nas proporções de 5 a 20%. Após 24 horas os blocos foram retirados das formas e levado à câmara úmida para o teste de ruptura.

Tabela 4. Composição dos corpos de prova (CP).

Materiais	CP1*	CP2	CP3	CP4	CP5
%	0,00	2,50	5,00	10,00	20,00
Resíduo (g)	0,00	75,00	150,00	300,00	600,00
Areia (g)	7,290	7,290	7,290	7,290	7,290
Seixo (g)	13,530	13,530	13,530	13,530	13,530
Água (L)	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050
Cimento (g)	3000	2925	2850	2700	2400

*Branco.

3.7 TESTE DE RUPTURA E RESISTÊNCIA

Primeiro foram realizados os testes com o branco, onde através da confecção desses corpos de provas, formulou-se a composição para os demais com as proporções estabelecidas de incorporação do resíduo galvânico.

Após 7 (sete) dias, foram separados 8 (oito) corpos de prova, com o resíduo incorporado a argamassa nas proporções de 5,0 a 20,0% , foram capeados com enxofre, o capeamento é realizado em decorrência de alguma imperfeições nas partes superiores e inferiores dos corpos de provas, tornando a superfície plana e então e levado a máquina para ensaio de ruptura e resistência,. O mesmo procedimento foi realizado para os corpos de prova após 28 dias.

Foram confeccionados 20 corpos de prova, incluindo os brancos conforme mostra a Figura 11.



Figura 11. Corpos de prova desmoldados.

Os teste de ruptura e resistência à compressão foram determinadas nas idades de 7 e 28 dias, conforme procedimento da norma NBR 5739 (ABNT, 1994), utilizando uma máquina universal de ensaios mecânicos informatizada (EMIC DL30000), sendo a velocidade de ensaio de 1mm/min (Figura 12).



Figura 12. Máquina universal informatizada modelo EMIC DL 30000 para ensaio de resistência à compressão.

3.8 CALCINAÇÃO

O resíduo e mistura de resíduo com material orgânico e inorgânico foram calcinados em cadinhos de porcelana em temperaturas diferentes, variando de 500 a 900 °C, em mufla da marca Químis modelo Q-318S24, 220 V e 3720 W com temperatura regulável, por duas horas. A calcinação foi feita com o resíduo puro e misturas com outros materiais numa proporção de 1:1 entre resíduo/caulinita, resíduo/açúcar e na proporção de 1:1:1 entre resíduo/caulinita/açúcar (Figura 13).



Figura 13. Amostras de resíduo e resíduo/mistura.

3.9 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Foram realizadas análise em um difratômetro, marca Shimadzu, modelo 6000 LabX (Figura 14), com fonte de $\text{Cu}(k\alpha)$ e ângulo de difração variando de 5 a $60^\circ 2\theta$, pelo método do pó. Este método consiste em preparar uma lâmina de alumínio contendo amostra seca do resíduo pulverizado, dispostas ao acaso e que apresenta orientação preferencial. A amostra depois de preparada foi submetida a uma fonte de raios X, onde passam por processos de colisões com os átomos do cristal e ao refletirem formam um cone de raios difratados, onde são capturados pelo detector que durante a análise acompanha as mudanças de ângulos da lâmina.

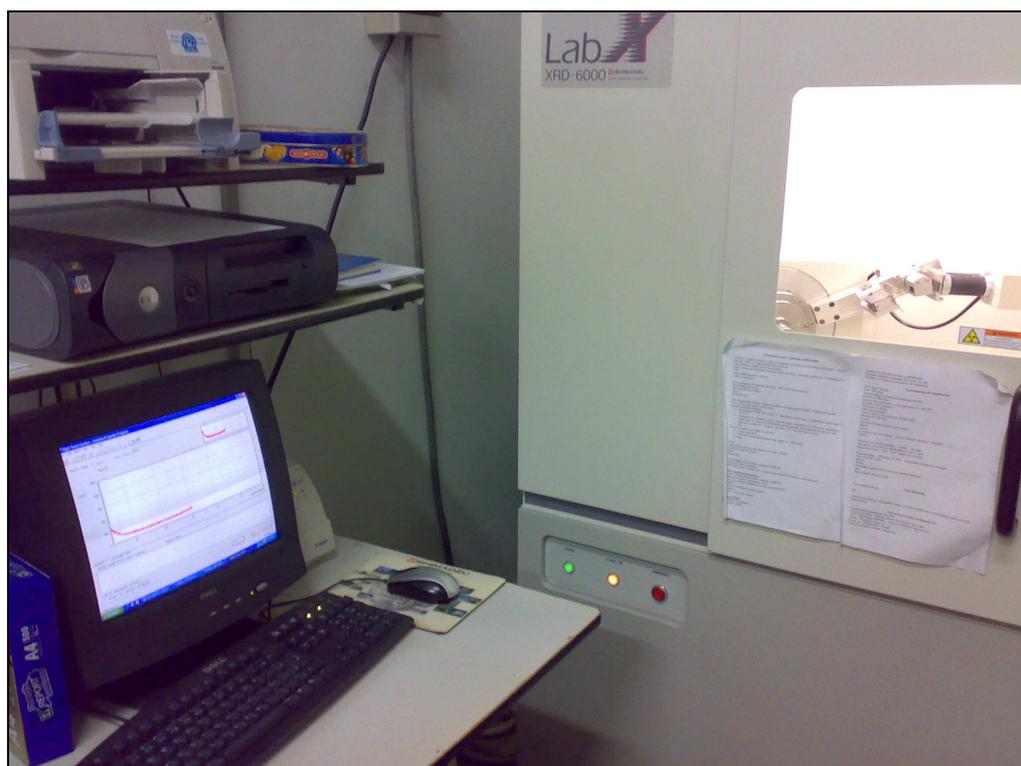


Figura 14. Aparelho de DRX LabX 6000.

3.10 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (IV-FT)

Foram realizados os ensaios por um espectrômetro de infravermelho com transformada de Fourier, marca Perken Elmer modelo 2000 na faixa de 4500 a 400 cm^{-1} , (Figura 15), preparadas com partilhas de KBr (seca em mufla à 300 $^{\circ}\text{C}$).

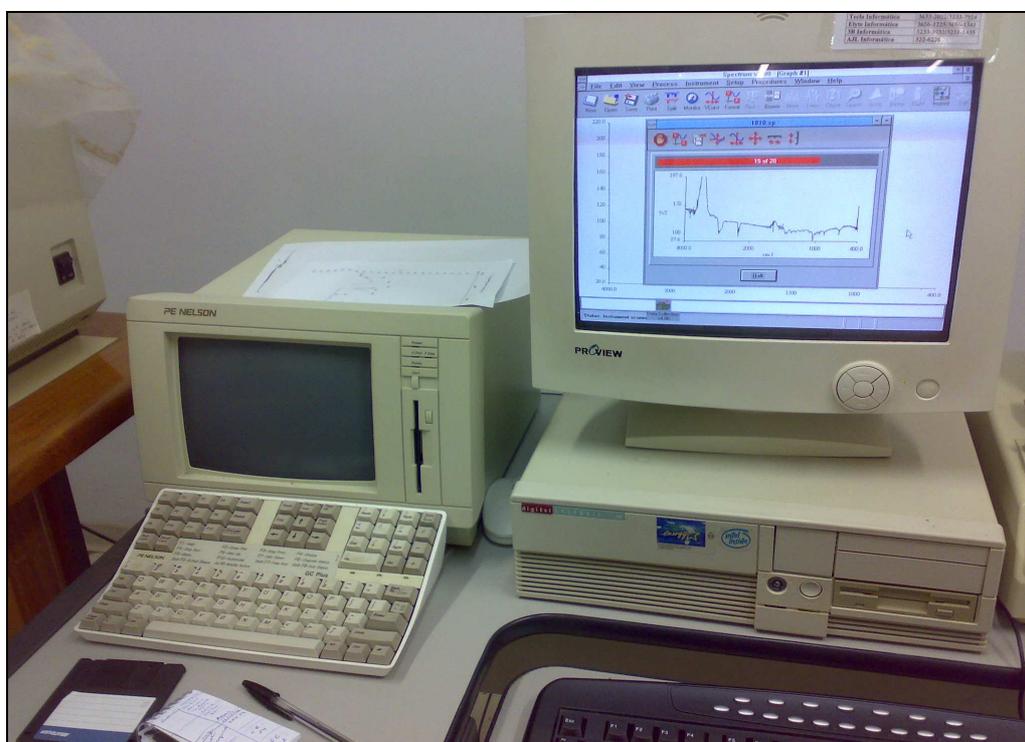


Figura 15. Aparelho de IV-FT Perken Elmer modelo 2000 na faixa de 4500 a 400 cm^{-1} .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO RESÍDUO

A perda ao fogo de massa por aquecimento apresenta um comportamento exponencial (Figura 16). Como o resíduo perde massa durante todo o experimento pode-se afirmar a existência de quantidades considerável de substâncias orgânicas no intervalo de aquecimento medido.

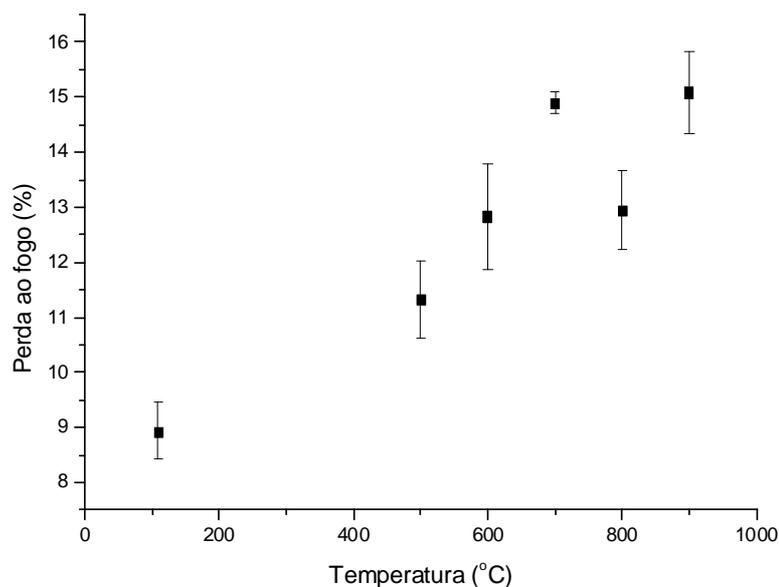


Figura 16. Perda ao fogo em função da temperatura.

De acordo com os valores apresentados na tabela 5, concernente a calcinação do resíduo, o que se observa é que a partir de 500 °C, a perda de material ocorre na mesma proporção até uma temperatura de 900 °C, com pouca variação de perda de massa, portanto, o que se pode afirmar que temos um comportamento exponencial.

Tabela 5. Perda ao fogo do resíduo.

Amostras [*] X ^{**} =A ₁ , A ₂ e A ₃	Peso (g)	Peso após calcinação (g)	Perda de material (g)
X [*]	37,345	34,114	3,231
X [*]	34,490	31,517	2,973
X [*]	34,360	31,080	3,280
X ^{**}	38,313	33,671	4,642
X ^{**}	42,816	38,167	4,649
X ^{**}	42,700	38,005	4,695
X ^{**}	38,335	33,270	5,065
X ^{**}	42,831	37,799	5,032
X ^{**}	43,500	37,602	5,898
X ^{**}	34,303	29,254	5,049
X ^{**}	34,766	29,600	5,166
X ^{**}	37,355	31,709	5,646
X ^{**}	38,315	33,060	5,255
X ^{**}	42,821	37,560	5,262
X ^{**}	42,933	37,410	5,523
X ^{**}	37,340	32,010	5,330
X ^{**}	34,775	29,462	5,313
X ^{**}	34,343	28,940	5,403

Amostras^{*} = Resíduo aquecido a 110 °C/X^{**}=Resíduo calcinadas na faixa de 500 a 900 °C.

Os resultados das análises químicas do lixiviado ácido do resíduo se caracterizam pela liberação de Ni, Pb e Zn. Sendo que o Ni foi liberado entre os valores de pH 3-7, o Pb em praticamente todas as soluções extratoras e o Zn em 0-3, 4-5 e 6-7 (Tabela 6).

Quando se observa o comportamento na faixa de pH variando de 3 a 7, as quantidades mais significantes corresponde principalmente ao Ni, de acordo com estes resultados, o que se pode considerar para a imobilização de Ni é conhecer a faixa de pH, onde o Ni pode ser extraído.

Entre a faixa de pH variando de 0 a 3, além de Pb, pode ser extraído também Zn, outras faixas que podemos extrair é entre 4-5 e 6-7, o que nos leva a propor que sempre que se

faça uma tentativa de imobilização de Zn no resíduo, temos que considerar em que faixa de pH o Zn pode ser extraído.

As quantidades de Pb sugerem que esse é o principal contaminante do resíduo galvânico estudado. Necessariamente qualquer tecnologia de tratamento desse resíduo deverá levar em conta a imobilização do Pb.

A análise de (FAAS) não detectou outros metais tais como: Cr, Cu, Fe, Cd, Mn, e V, no lixiviado, o que nos leva a entender que a ETE da empresa foi eficiente quanto ao tratamento desses metais, e o resíduo gerado apresentou em maior quantidade os elementos Ni, Pb e Zn.

Tabela 6. Quantidade de metais pesados (mg Kg^{-1}) liberada na lixiviação feita com soluções cujos valores de pH variam entre 0 e 11.

pH	Ni	Pb	Zn
0-2	ND	554±260	6,0±0,4
2-3	ND	318±297	0,5±0,1
3-4	402±47	ND	ND
4-5	211±72	ND	10±12
5-6	113±69	259±67	ND
6-7	82±46	268±90	2,0±0,2
7-8	ND	ND	ND
8-9	ND	424±145	ND
9-10	ND	442±224	ND
10-11	ND	503±297	ND

ND = não-detectado.

O DRX da amostra de resíduo puro é caracterizado por ter reflexões de material cristalino, não identificados pela biblioteca do difratômetro de raios X (Figura 17). No difratograma de raios X existem reflexões alargadas típicas de material amorfo. Ao verificar o processo de produção do resíduo o difratograma de raios X mostra que ocorreu a mistura de fases cristalina e não-cristalina, além de substâncias ricas em Ni e Pb.

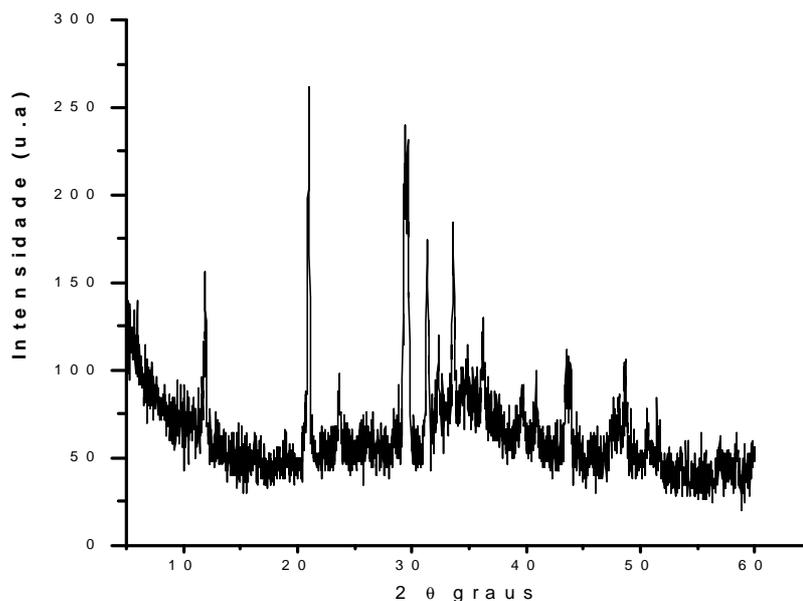


Figura 17. Difratograma de raios X do resíduo a 25 °C.

O espectro IV-FT é caracterizado por ter banda de absorção de O-H em 3800-3200 e 1700 a 1600 cm^{-1} de água, Figura 18. Existem outras bandas que poderia ser atribuídas a material orgânico e/ou inorgânico, característica que explica o comportamento do resíduo durante a perda ao fogo. Por se tratar de uma mistura de diversos materiais a identificação dos modos de vibração é muito difícil sendo necessária a realização de outras medidas.

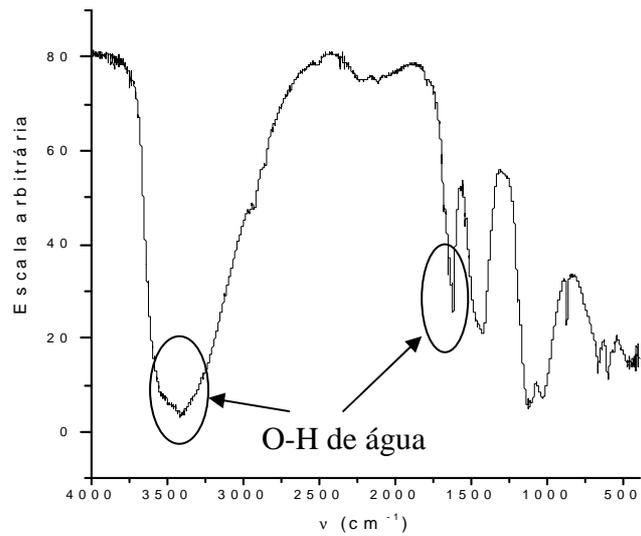


Figura 18. Espectro IV-FT do resíduo a 25 °C.

Com a perda ao fogo no resíduo passa a apresentar somente fases cristalinas, sendo que isso ocorre a partir de 500 °C. Os difratogramas de raios X nas temperaturas de 500 a 900 °C apresentam reflexões correspondentes ao quartzo, goethita, ZnS, calcita e dos metais Cu, Pb, Ni e Cd (Figura 19).

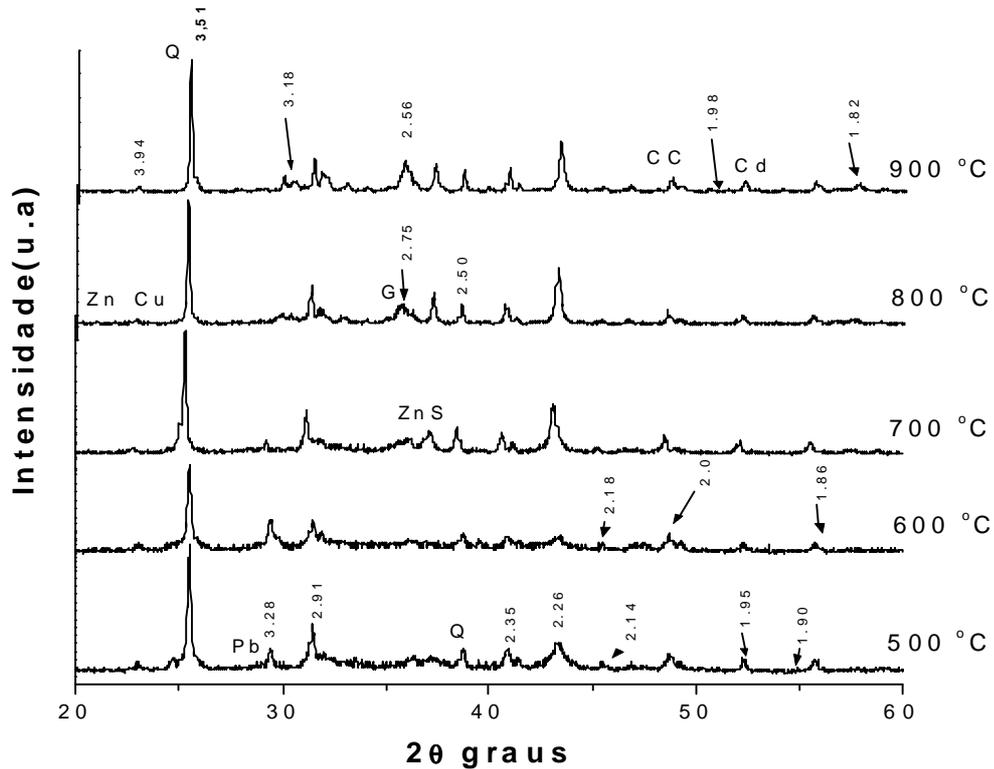


Figura 19. Difratoograma de raios X das amostras de resíduos após aquecimento de 500 a 900 °C.
 * Q = quartzo G = goethita CC = calcita ZnS = sulfeto de zinco

No IV-FT a calcinação do resíduo também revela uma mudança significativa no espectro, desaparecendo completamente as bandas de absorção de O-H relativas à água. Da mesma do observado nos difratogramas de raios X os espectros de IV-FT após aquecimento de 500 a 900 °C não apresentaram nenhuma mudança significativa com relação às bandas de estiramento. Destacam-se as principais bandas, localizadas em $\sim 1645(\nu_2)$, $\sim 1390(\nu_5)$, $\sim 1160(\nu_6)$, $\sim 676(\nu_{10})$, $\sim 595(\nu_{11})$ e $\sim 475(\nu_{12}) \text{ cm}^{-1}$ (Figura 20 e Tabela 7).

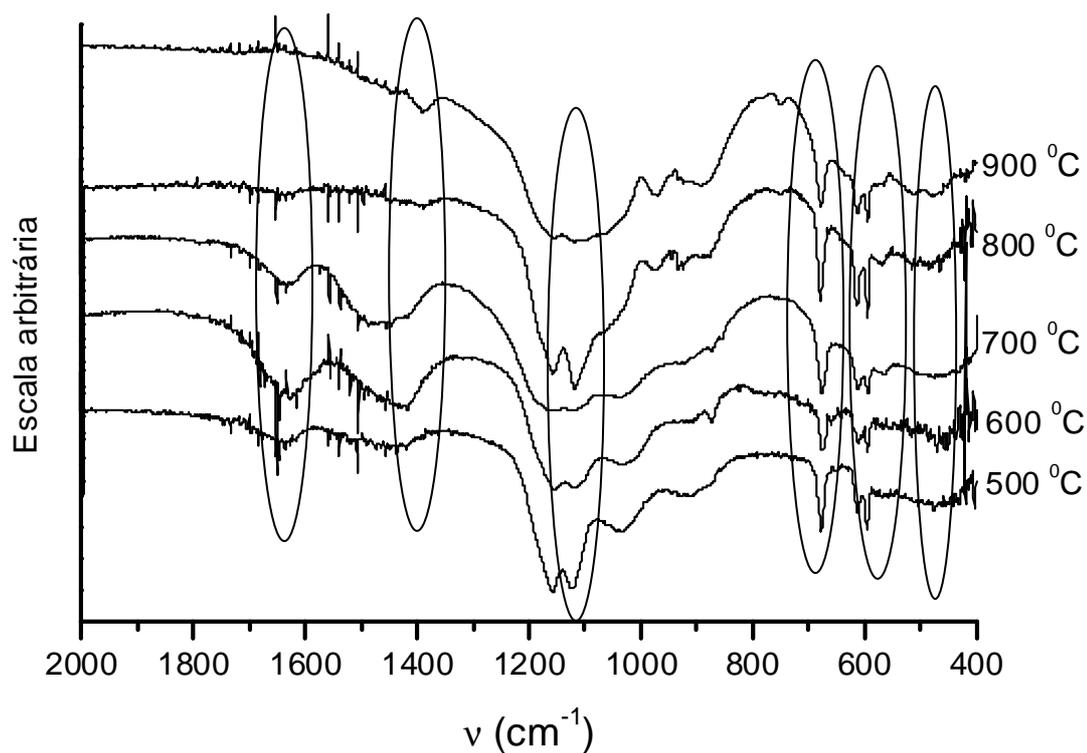


Figura 20. Espectros de IV de resíduo galvânico calcinado em temperaturas variando de 500 a 900 °C.

Tabela 7. Frequencia vibracional das ondas referentes ao resíduo em temperaturas variando de 500 a 900 °C.

Amostras	n° de ondas (cm ⁻¹)											
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅	v ₆	v ₇	v ₈	v ₉	v ₁₀	v ₁₁	v ₁₂
R500	-	1646	1507	-	-	1151	-	-	-	676	-	475
R600	-	1651	1506	1419	1394	1157	1038	-	-	676	595	463
R700	-	1653	1505	1450	1394	1158	-	-	-	678	595	476
R800	1684	1653	1564	-	1388	1153	-	924	-	677	595	465
R900	1667	-	-	-	1395	-	-	987	892	677	592	-

4.2 TESTES PARA REDUZIR O RISCO DA CONTAMINAÇÃO POR METAIS

4.2.1 - TESTE DE RUPTURA DO RESÍDUO INCORPORADO EM ARGAMASSA

As análises dos corpos de prova de incorporação do resíduo galvânico em argamassa nos mostra que houve uma melhor aplicação, quando incorporado cerca de 5 e 10% (Figuras 21 e 22), quando relacionado com sua carga máxima. Os ensaios dos corpos de prova de resíduo galvânico, quando incorporado em argamassa cerca de 5 e 10%, apresentam bons resultados para o teste de tensão máxima.

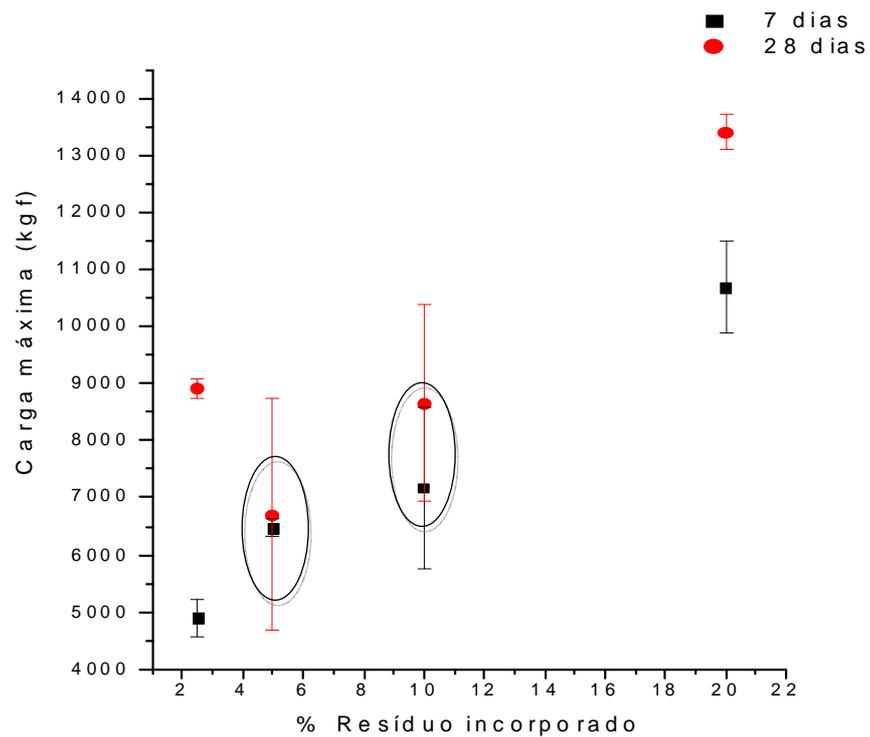


Figura 21. Teste de ruptura carga massa.

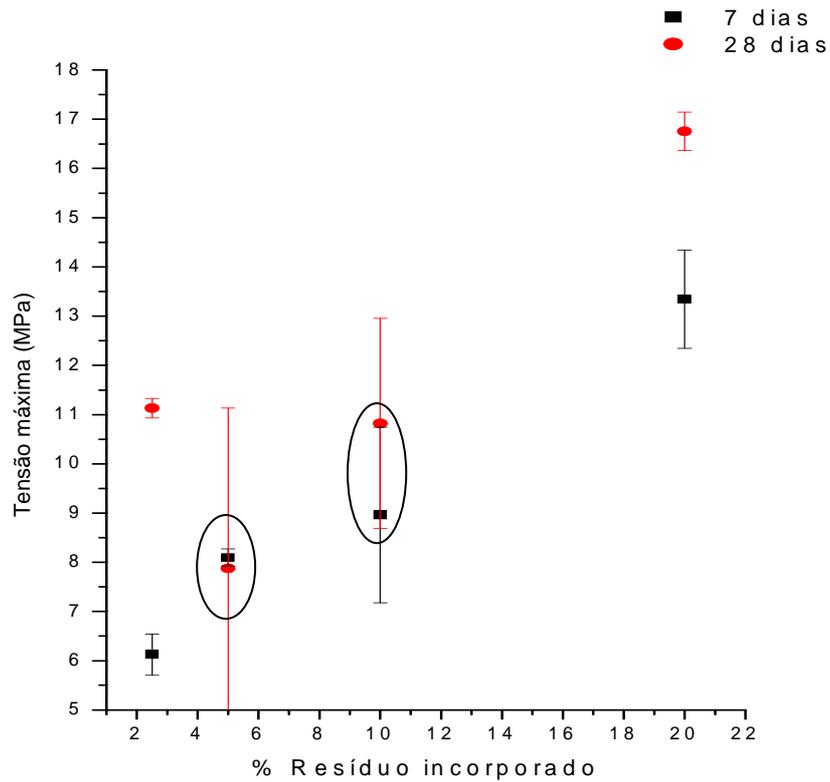


Figura 22. Teste de ruptura do resíduo tensão máxima.

4.2.2 - TRATAMENTO TÉRMICO DO RESÍDUO/CAULINITA

Os difratogramas de raios X da mistura resíduo/caulinita, quando submetidos às diferentes temperatura revelam que a caulinita começa a cristalizar com o resíduo em 500 °C (Figuras 19 e 23), e isto é observado devido ao desaparecimento de reflexões bem definidas em 8,22, 3,88, 3,28 e 2,50 Å. Quando se eleva a temperatura de 600 a 900 °C, o que ocorre é um aumento da cristalização da mistura (Figuras 19 e 23), ou seja, o aumento de temperatura de cristalização do resíduo quando misturado a um composto inorgânico.

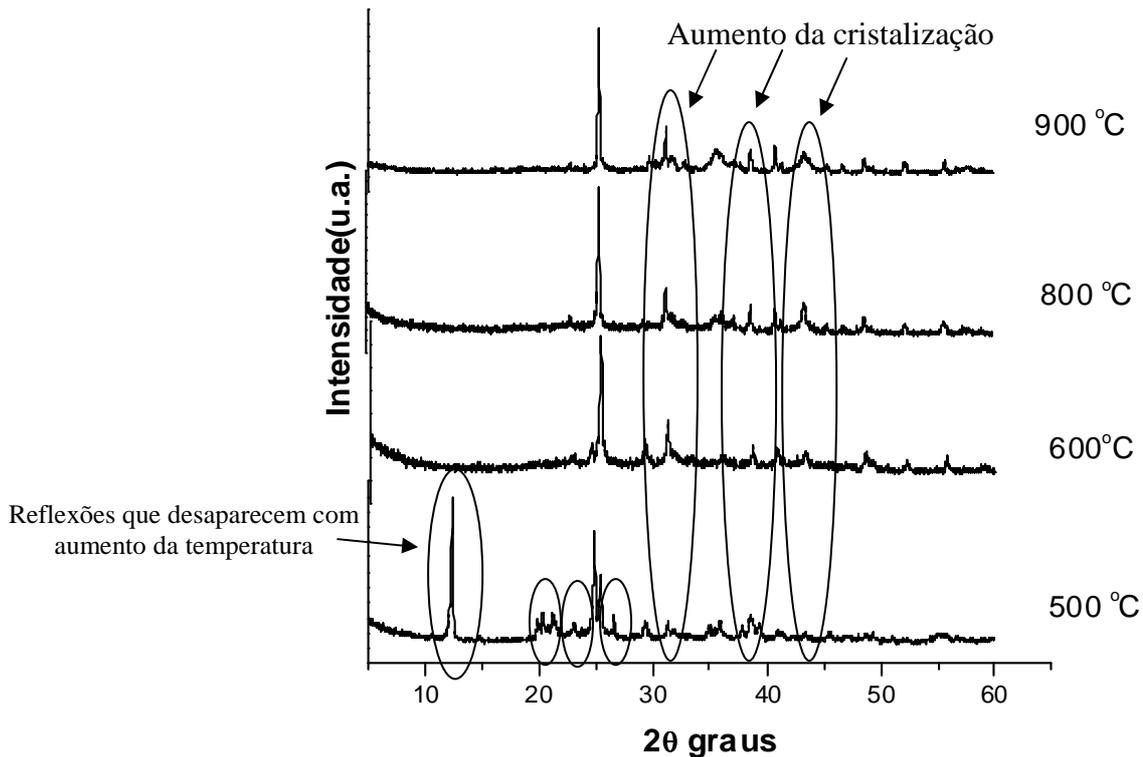


Figura 23. DRX da mistura resíduo/caulinita calcinada em temperaturas variando de 500 a 900 °C.

Segundo De Souza Santos (1989) apud Monteiro (2007), quando a caulinita é submetida a temperaturas elevadas sofre rompimento de sua unidade cristalina, e ocorre uma fase de desidroxilação da folha octaédrica do alumínio a partir de 600 °C. Dessa forma, ocorre a formação de um material amorfo chamado de metacaulinita, mantendo as placas hexagonais da caulinita original, e uma transformação de alumínio octaédrico em alumínio tetraédrico.

Os espectros de IV-FT das amostras de mistura resíduo/caulinita (Figura 24), apresentam bandas de vibrações O-H, Si-O-Si, Al-O-H, Al-O-Si desaparecem a partir de 600 °C devido ao rompimento da estrutura octaédrica da caulinita. Segundo Kakalil et al. (2001) essa transformação pode ser observada devido a ausência da banda na faixa de 913 cm^{-1} , de vibração angular Si-O-Si, atribuída à material inorgânico.

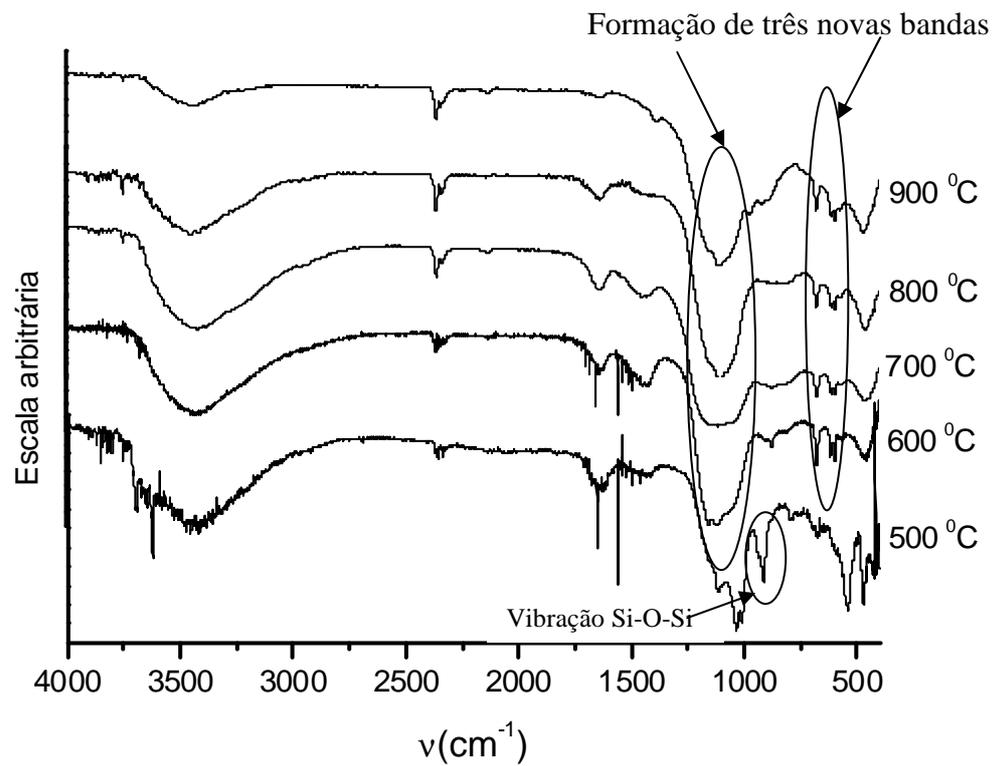


Figura 24. Espectros de IV da mistura resíduo/caulinita calcinadas na faixa entre 500 a 900 °C.

Com o aumento da temperatura em torno de 600 °C em diante, observa-se novos espectros contendo três novas banda de vibrações em ~ 1112 (ν_8), ~ 676 (ν_{10}) e 595 (ν_{11}) cm^{-1} (Tabela 8). Característico do rompimento e da reação entre a folha octaédrica da caulinita e o resíduo.

Tabela 8. Freqüência vibracional das ondas referentes as misturas(resíduo/caulinita) em temperaturas variando de 500 a 900 °C.

Amostras	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅	v ₆	v ₇	v ₈	v ₉	v ₁₀	v ₁₁	v ₁₂
MI500	3853	3620	3417	2358	1653	1559	-	-	1027	-	-	-
M2600	3735	-	3430	2363	1653	1559	1447	1112	-	676	595	-
M3700	-	-	3422	2360	1636	-	-	1112	-	676	595	-
M4800	-	-	3452	2362	1638	-	-	1112	-	676	595	-
M5900	-	-	3444	2362	-	-	-	1112	-	676	595	469

4.2.3 TRATAMENTO TÉRMICO DO RESÍDUO/AÇÚCAR

Os difratograma de raios X das misturas resíduo/açúcar, mostra que para a temperatura de 500 e 600 °C (Figura 25), aparecem novos constituintes na amostra, em que se observa reflexões de transformação em 3,08 e 2,20 Å. Em 700 °C ocorre diminuição das reflexões em 3,18, 2,56, e 2,30 Å. A partir de 800 até 900 °C a cristalização é mais acentuada, comprovada pelo aparecimento das reflexões em 3,39, 2,91, 2,75, 2,69 e 2,40 Å. Com o aumento da temperatura tem-se maior cristalização da mistura. Isso é decorrente da matéria orgânica que interage com o resíduo, mas é importante ressaltar que a matéria orgânica não tem efeito na redução dos componentes do resíduo, o que implica que o açúcar não interferiu na transformação química do resíduo.

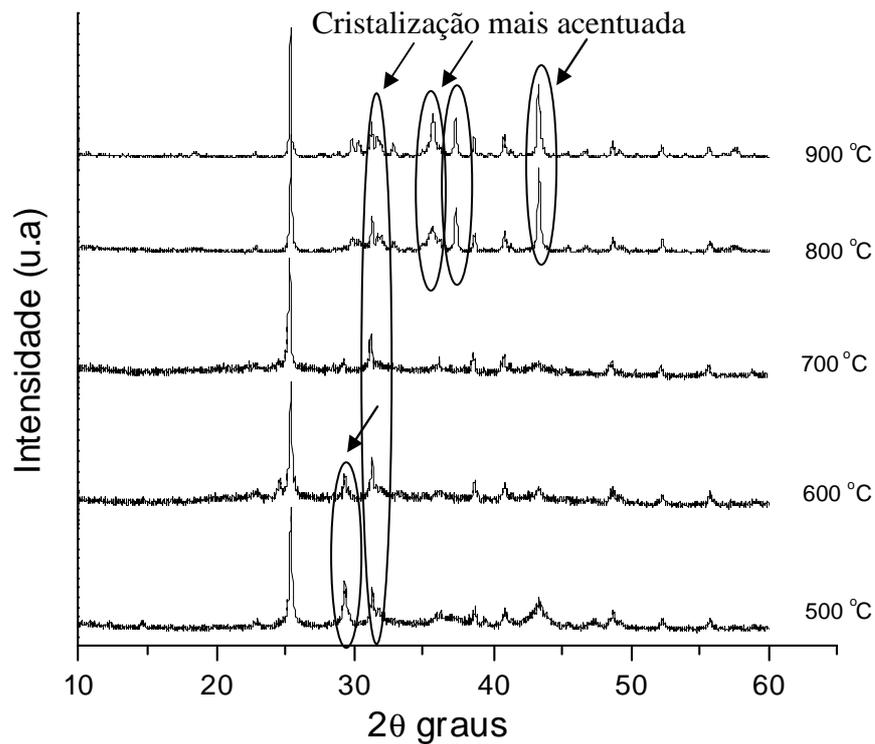


Figura 25. DRX da mistura resíduo/açúcar calcinada em temperaturas variando de 500 a 900 °C.

Os espectros de IV das amostras resíduo/açúcar mostram que as bandas de vibrações, para a mistura na região ~ 1700 (ν_1) é atribuída a O-H de água, e bandas na região entre 1470 – 1420 (ν_5) podem ser atribuídas a estiramento simétrico de CO_3^{2-} , onde é confirmada pelo estiramento assimétrico na região de 884 (ν_{10}) de CO_3^{2-} . O que se observa é que quando a mistura é submetida a uma calcinação para temperaturas compreendidas entre 800 e 900 °C, há um processo de transformação de acordo com as bandas que aparecem nas regiões ~ 1635 (ν_2), ~ 1391 (ν_6), ~ 973 (ν_9) (Figura 26 e Tabela 9).

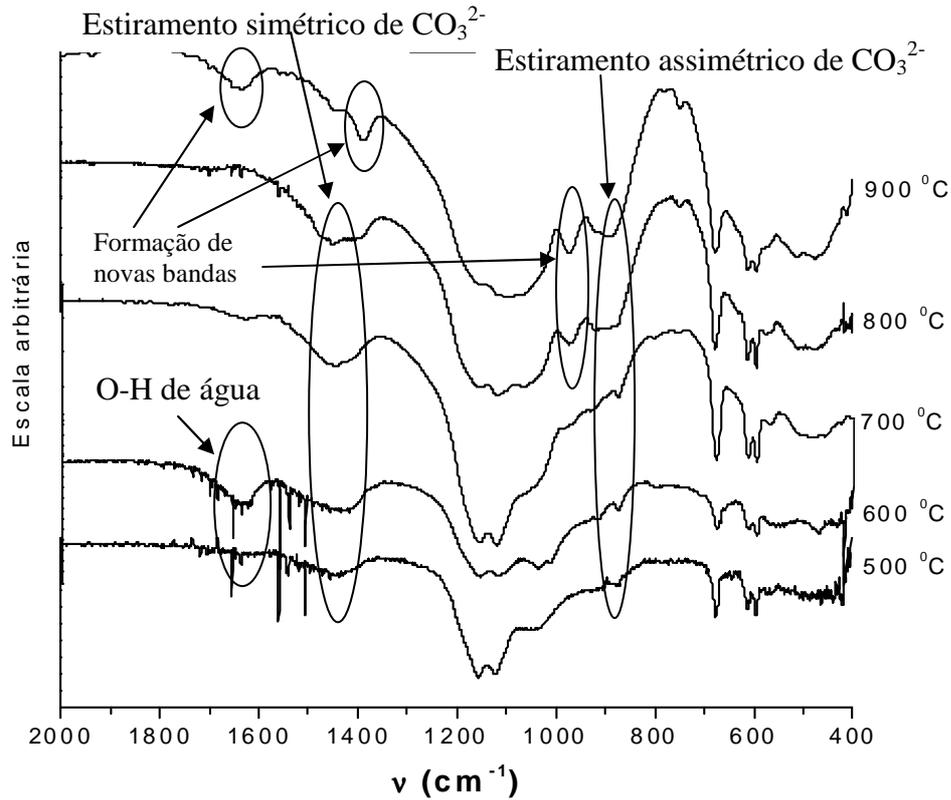


Figura 26. Espectros de IV de mistura resíduo/açúcar calcinadas na faixa de 500 a 900 °C

Tabela 9. Frequência vibracional das ondas referentes as misturas(resíduo/açúcar) em temperaturas variando de 500 a 900 °C.

Amostras	ν_1	ν_2	ν_3	ν_4	ν_5	ν_6	ν_7	ν_8	ν_9	ν_{10}	ν_{11}	ν_{12}	ν_{13}
M1500	1717	-	1559	1507	1456	-	1153	1122	-	-	675	495	445
M2600	1684	-	1559	1509	1437	-	1153	1121	-	884	676	534	470
M3700	-	-	-	-	1449	-	1153	1124	-	884	677	595	483
M4800	1700	-	-	-	1455	-	-	1115	969	897	678	595	-
M5900	-	1635	-	-	-	1391	-	1093	973	892	678	595	-

4.2.4 TRATAMENTO TÉRMICO DA MISTURA RESÍDUO/AÇÚCAR/CAULINITA

Os difratogramas de raios X da mistura resíduo/açúcar/caulinita quando submetidos à calcinação em diferentes temperaturas mostram que essa mistura apresenta apenas transformação a partir de 500 °C. O desaparecimento das flexões em 8,45, 12, 20, e 3,34 Å, conforme a temperatura aumenta, favorece a cristalização do resíduo (Figuras 19 e 27), então podemos considerar que quando o resíduo se apresenta frente a uma mistura de composto orgânico e um composto inorgânico, quando a temperatura variando de 600 a 900 °C, a tendência é de que haja um aumento de cristalização do resíduo.

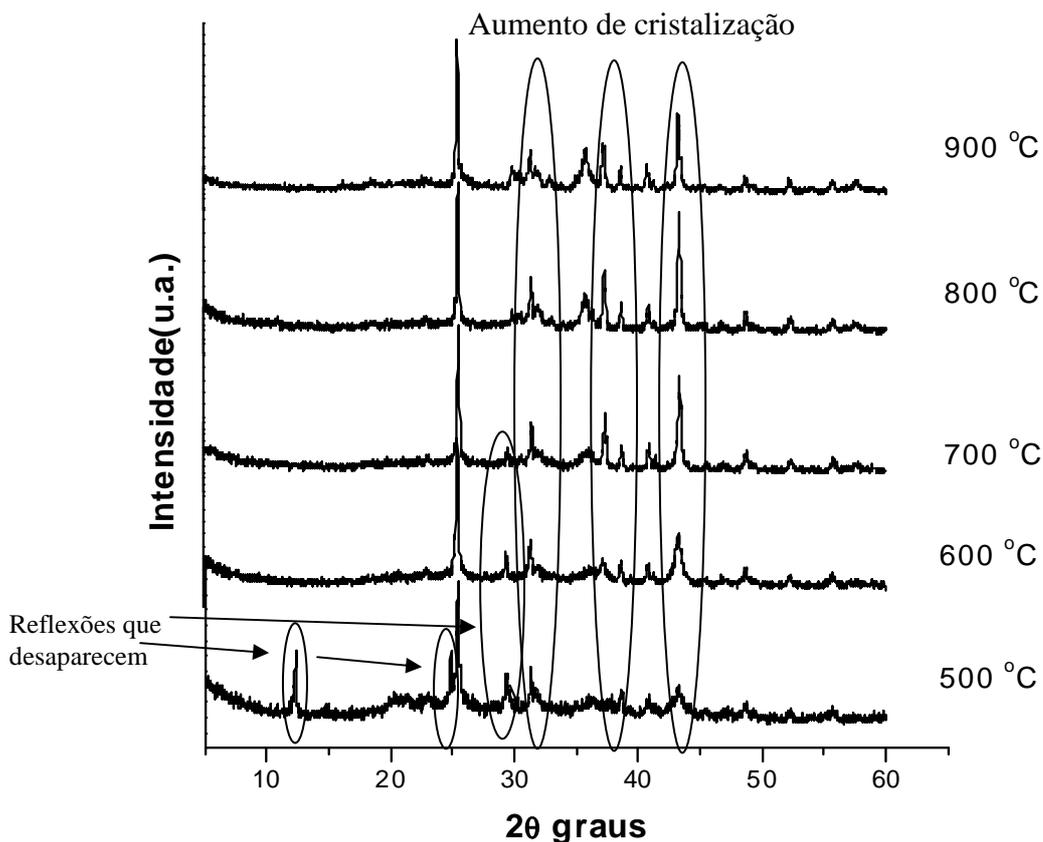


Figura 27. DRX da mistura resíduo/caulinita/açúcar calcinada em temperaturas variando de 500 a 900 °C.

De acordo como os espectros de IV da mistura resíduo/açúcar/caulinita, o que se observa é o desaparecimento de bandas quando se eleva a temperatura, principalmente na faixa de 900 °C ~ 1653 (ν_2), ~1507 (ν_4), ~1042 (ν_7), ~914 (ν_8), ~798 (ν_{10}) e ~530 (ν_{13}) (Figura 28 e Tabela 10). Em todo o processo de calcinação a mistura apresenta bandnas característicos de argilomineral em ~ 1117(ν_6). O espectro IV-FT da mistura resíduo/açúcar/caulinita, também apresenta bandas características do resíduo, mas apresenta aparecimento em 600 °C de uma vibração ~530 (ν_{13}), que não está presente na mistura resíduo/açúcar (Figuras 23), nos leva a crer que houve formação de novos produtos.

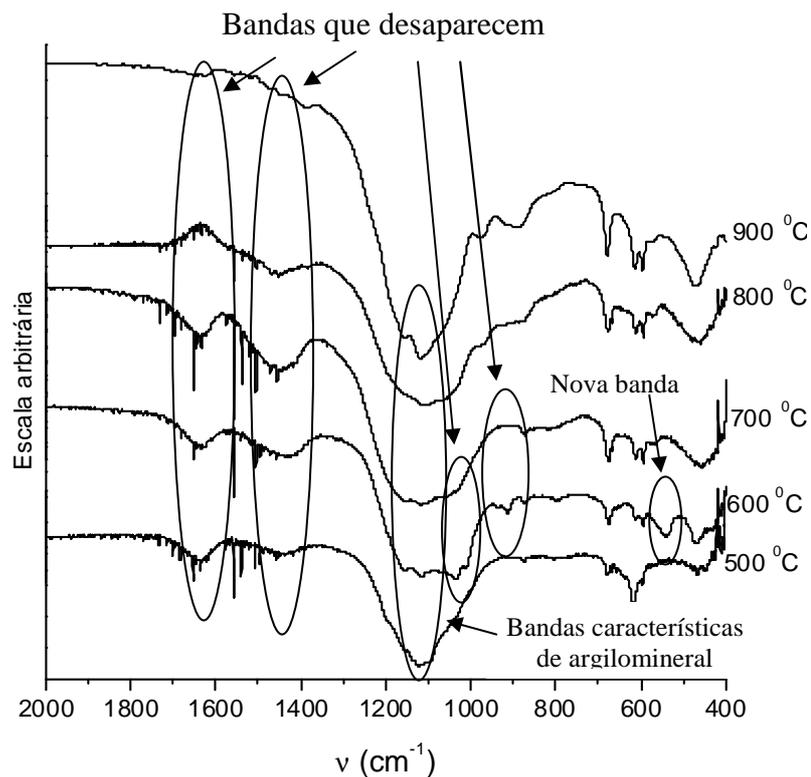


Figura 28. Espectros de IV de mistura resíduo/açúcar/caulinita calcinadas em temperaturas variando de 500 a 900 °C.

Tabela 10. Freqüência vibracional das ondas referentes as misturas (resíduo/açúcar/caulinita) em temperaturas variando de 500 a 900 °C.

Amostras	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅	v ₆	v ₇	v ₈	v ₉	v ₁₀	v ₁₁	v ₁₂	v ₁₃
MI500	-	1653	1559	1507	1464	1117	-	-	873	-	617	-	-
M2600	-	1653	1559	1507	1436	1117	1042	914	873	798	676	594	530
M3700	1700	1653	-	1507	1457	-	-	-	873	-	675	594	-
M4800	1700	-	1559	-	1455	1102	-	-	-	-	679	595	-
M5900	-	-	-	-	-	1119	-	-	895	-	678	595	-

5. CONCLUSÃO

Os estudos das características do resíduo revelou a possibilidade de agregar em argamassa para confecção em meio fio, cerca de 10% de resíduo. O tratamento térmico do resíduo com materiais orgânico (açúcar) e inorgânico (caulinita), melhorou as características físicas do passivo ambiental.

Foi possível observar que quando a mistura resíduo/caulinita é calcinado em 500 °C há formação de cristalização, e de 600 a 900 °C a interação resíduo/caulinita é bem acentuada, aumentando ainda mais a cristalinidade da mistura, o que se espera é que o resíduo sofra uma interação com a caulinita, pois a partir de 600 °C, ocorre uma desidroxilação da folha octaédrica do alumínio devido ao rompimento de sua unidade cristalina, no entanto essa afirmação só poderá ser avaliada através de ensaios microestruturais nos produtos solidificados, os quais não foram realizados.

Com relação a mistura resíduo/açúcar o que se pode observar entre 500 e 600 °C temos uma cristalização, mas em 700 °C desaparece, sendo novamente observado entre 800 e 900 °C, ou seja, com aumento de temperatura aumenta a cristalização, mas vale a pena ressaltar que a matéria orgânica não tem efeito na redução dos componentes do resíduo, pois o açúcar não interfere na transformação química do resíduo.

Quando o resíduo é misturado açúcar e caulinita observou-se que a partir de 500 °C começam as transformações, indicando que há interferência de material orgânico e inorgânico influenciando na transformação do resíduo para a formação de novos materiais.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, M. A.; TOFFOLI, S. M. **Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais das Indústrias Automobilísticas e Siderúrgicas como Pigmento.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 46, 2002, São Paulo. Anais... São Paulo: maio 2002. 1281-1292.

APHA. *Standard methods for the Examination of Water ad Wastewater.* 20. ed. USA: American Public Health Association, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 08418: Apresentação de projetos de aterros de resíduos perigosos.** Rio de Janeiro:1983. p. 22.

_____**NBR 10157: Aterros de Resíduos Perigosos – Critérios para Projeto, Construção e Operação – Procedimento.** Rio de Janeiro:1987e. p. 22.

_____**NBR 11175/NB 1265: Incineração de Resíduos Sólidos Perigosos – Padrões de Desempenho – Procedimento.** Rio de Janeiro:1990. p. 05.

_____**NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos-de-prova – cilíndricos de concreto – Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro:1994.

_____**NBR 13894: Tratamento no Solo (landfarming) - Procedimento.** Rio de Janeiro: 1997a. p. 10.

_____**NBR 13896: Aterros de Resíduos não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação – Procedimento.** Rio de Janeiro: 1997b. p. 17.

_____**NBR 13221: Transporte de Resíduos.** Rio de Janeiro: 2003. p. 09.

_____**NBR 10007: Resíduos Sólidos – Classificação – Amostragem de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: 2004. p. 5.

BARROSO, M.M., CORDEIRO, J.S. **Metais e Sólidos: Aspectos Legais dos Resíduos de Estação de Tratamento de Água.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.

BALATON, V. T., GONÇALVES, P. S., FERRER, L. M., **Incorporação de Resíduos Sólidos Galvânicos em Massa Cerâmica Vermelha.** SENAI/SP. Revista Cerâmica Industrial, 7 (6), Nov/dez. 2002.

BASEGIO, T. M., BERUTTI, F. A., BERGMANN, C. P., **Aspectos Ambientais no Uso de Lodo de Curtume com Matéria Prima para Cerâmica Vermelha.** UFRS/ Laboratório de Materiais Cerâmicos. Anais do 45^o Congresso Brasileiro de Cerâmica. Florianópolis-SC. 2001.

BOND, R. G.; STRAUB, C. P. **Handbook of environmental control : solid waste.** Cleveland: Editora CRC, 1973.

BONDIOLI, F.; BARBIERE, L.; MANFREDINI, T. **Grey Ceramic Pigment (Fe, Zn) Cr₂O₄ Obtained from Industrial Fly-Ash.** *Tile & Brick*, v.16, n.4, p.246-248, aug. 2000.

BOSCO, A. P., CAMUSSI, J. M., SILVA, R. N., LOPES, T. A., BARROS, R. M., CONEGLIAN, C. M. R., BRITO, N. N., SOBRINHO, G. D., TONSO, S., PELEGRINI, R. **Efluentes Derivados dos Processos de Galvoplastia.** III Fórum de Estudos Contábeis, Faculdades Integradas Claretianas – Rio Claro – SP. 2003.

CIOFFIA, R., LAVORGNAB, M., SANTORO, L. B., **Environmental and technological effectiveness of a process for the stabilization of a galvanic sludge.** *Journal of Hazardous Materials*, B89. p. 165-175. 2002.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE. **Roteiro Complementar de Licenciamento e Fiscalização: Tipologia Galvanoplastia.** Recife: CPRH/GTZ, 2001.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente, **Resolução 006/88 – Estabelece que no prazo de licenciamento ambiental de atividades industriais os resíduos gerados ou existentes deverão ser objeto de controle específico,** Ministério do Meio Ambiente, 1988.

COUTO, D. M. S. **Incorporação ode resíduos metalúrgicos em pastas de barro vermelho.** 2000. 110p.. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade de Aveiro, Aveiro.

DE SOUZA SANTOS, P. **Ciências e Tecnologia de Argilas.** 2º edição. Editora: Edgard Blücher, São Paulo, v.1, 1-408, 1989.

ESPINHOSA, D. C. R.; TENÓRIO, J. A. S. **Laboratory study of galvanic sludge's influence on the clinkerization process.** *Resources, Conservation and Recycling*, v.31,p.71-82, 2000.

Federação das Indústrias do Rio de Janeiro. **Guia para coleta seletiva de pilhas e baterias.** FIRJAN: Rio de Janeiro; 2000.

FERGUSSON, J. E. **The heavy elements: chemistry enviromental impact and health effects.** 7 ed. Oxford: Pergamom Press, 1990.

FERREIRA, D. M., CASTANHO, S. R. H. M. (2001) **Incorporação de rejeitos sólidos galvânicos em vidros silicatos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45., 2001, Florianópolis. Anais... São Paulo: 2001. p.201-211.

FLOHR, L., BRENTANO, D.M., PINTO, C.R.S.C.,MACHADO, V.G., MATIAS, W.G. **Classificação de resíduos sólidos industriais com base em testes ecotoxicológicos utilizando *Daphnia magna*: um alternativa.** *Biotermas*, 18 (2): 7-8, 2005.

GOYER, R.A., KLASSEN, C.D., AMDUR, M.O., and DOULL, J., **Toxic effects of metals**. In: (eds), Toxicology (The basic science of poisons). Macmillan Publ. Co., New York, pp. 582–635, 1986.

HEREK, L. C. S., BERGAMASSO, R., TAVARES, C. R. G., UEMURA, V. O., PANCOTTE, L. P. **Estudo da Solidificação/Estabilização do Lodo da Indústria Têxtil em Material Cerâmico**. Cerâmica Industrial, 10 (4) jul/ago, 2005.

HOPPEN, C., PORTELA, K.F., JOUKOSKI, A., TRINDADE, E.M. **Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental**. Quim. Nova, Vol. 29, No. 1, 79-84, 2006.

INTRANSCOL, Disponível em: <www.intranscol.com.br/industrial.asp> acessado em 01/06/08.

JACOMINO, V. M. F. et al. **Controle Ambiental das Indústrias de Ferro-Gusa em Altos-Fornos a Carvão Vegetal**. Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, 2002. p. 181-197.

KAKALI, G.; PERRAKI, T.; TSIVILIS, S. e BADOGIANNIS, E. **Thermal treatment of kaolin: the effect of mineralogy on the pozzolanic activity**. *Applied Clay Science*, v. 20, 73-80, 2001.

KHANNA, M.; ANTON, W. R. Q., **What is Driving Corporate Environmentalism: Opportunit or Theat?**. Corporate Environmetal Strategy. v. 9, n. 4, p. 409-417, 2002.

LEITE, M. B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. Porto Alegre, 2001. 236f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MARQUES, L. M. L. **Co-processamento de resíduos industriais em fornos de clínquer: aspectos do desempenho ambiental associados aos metais pesados**. 2000. 122f. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

MATHEUS, P. J. & BENTLEY, J. **Characterization, colletiction treatment and final disposal of toxic sludges**. São Paulo, CETESB PROCOP, 1983.

MILIARIUM, Disponível em <www.miliarium.com/Proyectos/SuelosContaminado> acessado em: 02/06/08.

MONTEIRO, E. P. **Novos materiais à base de caulinita para imobilização de Pb²⁺ presentes em solução de bateria**. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas. Manaus.

MOREIRA, A. H., et. al., Efeito da adição de lodo de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção. **Cerâmica Industrial**. São Carlos, SP. v. 47, n. 303, p. 158-162, 2001.

NISHIDA, T; SETO, M; KUBUKI, S; MIYAJI, O; ARIGA, T; MATSUMOTO, V. **Solidification of hazardous heavy metal ions with soda-lime glass characterization of iron and zinc in the waste glass.** Journal of the Ceramic Society of Japan. Vol. 108, n. 3, p. 245-248. 2000.

ONAKA, T. Sewage can make Portland cement: a new technology for ultimate reuse of sewage sludge. **Water Science & Technology**, v. 41, n. 8, p. 93-8, 2000.

PAVAN, L. A. F. et al. **Resíduos Sólidos Industriais.** São Paulo: CETESB, p. 182, 1985.

PONTE, H. A. **Tratamento de efluentes líquidos de galvanoplastia.** Evento de Extensão, Departamento de Tecnologia Química, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

PÔRTO, L. C., **Apostila ST 574 - processos industriais,** Ceset-2003.

PRIM, E. C. C., **Reaproveitamento de lodo têxtil e da cinza pesada na construção civil: aspectos tecnológicos e ambientais.** Dissertação. PPEA/UFSC, Florianópolis, SC. 1998.

QUÍMICA E DERIVADOS, Disponível em: <www.quimicaederivados.com.br/residuos> acessado em 01/06/08.

RAK, Z. S.; MALOLEPSZY, J.; DZIÓS, Z. **Utilization of Chromium Wastes in the Ceramics Industry.** Tile & Brick, v.7, n.3 ,p.159-160, 1991.

REALI, M. A. P. **Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETAs.** In: REALI, M. A. P. (coord.) **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de ETA.** Rio de Janeiro: ABES / PROSAB, p. 21-39, 1999.

RIBEIRO, C. C., SILVA, J. A., STARLING, T., **Materiais de Construção Civil.** 2.ed. Belo Horizonte, Editora UFMG. 2002.

ROCCA, A. C. C. et al. **Resíduos Sólidos Industriais.** São Paulo: CETESB, 1993.

SENAI. Serviço Nacional de Indústria. **Manual de orientações técnicas básicas para a minimização de efluentes e resíduos na indústria galvânica.** CNTL - Porto Alegre: Senai-RS, 2002.

Situation em matiere de piles et accumulateurs usages em France – SNAM: França; 1992.

SINDIPETRO, Disponível em : <www.sindipetro.org.br> acessado em 22/07/08.

TAY, J. H.; SHOW, K.Y. Resource recovery of sludge as a building and construction material – a future trend in sludge management. **Water Science & Technology**, v. 36, n. 11, p. 259-66, 1997.

U.S.EPA. **Handbook: Treatment of Hazardous Wastes-Contaminated Soils.** EPA/540/2-90/002. Risk Reduction Engineering

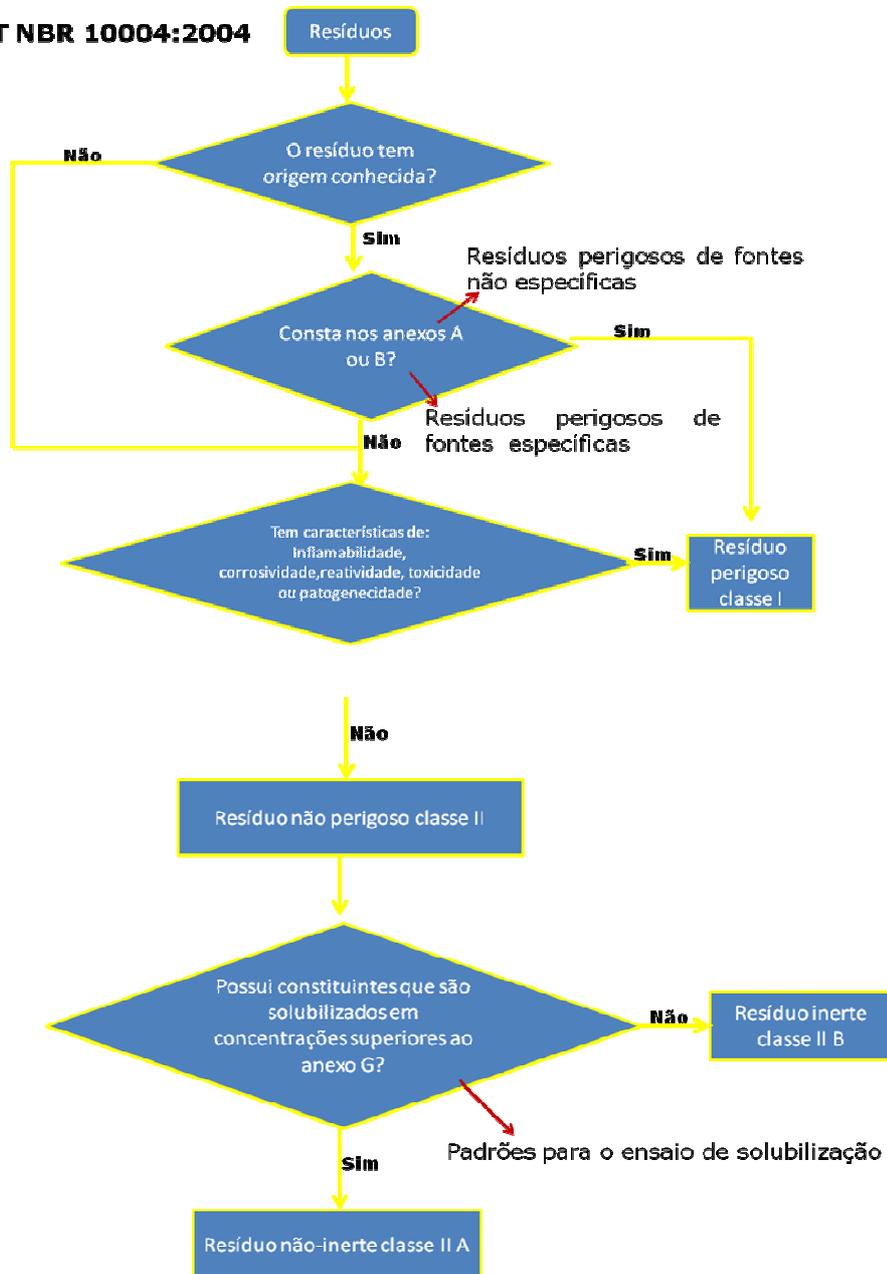
_____ **Stabilization / Solidification of CERCLA and RCRA Wastes - Physical Tests, Chemical Testing Procedures, Technology Screening, and Field Activities.** EPA/625/6-89/022 Office of Research and Development: Washington, DC, 1989.

_____ **Test Methods for Evaluating Solid Waste: SITE Field Manual Physical/Chemical Methods.** EPA.SW-846. Office of Solid Waste and Emergency Response: Washington – DC, 1986.

ZULAUF, W. E. **Resíduos Sólidos Industriais.** In: SEMINÁRIO DE UTILIDADES, 2., 1977, São Paulo. CETESB-ABLP. p. 07.

ANEXOS

ABNT NBR 10004:2004



ABNT NBR 10005:2004**LIXIVIAÇÃO**

Fluxograma de lixiviação

