

SITUAÇÃO ATUAL E FUTUROS DESAFIOS RELATIVOS À GESTÃO AMBIENTAL DE RESÍDUOS E EFLUENTES NA PRODUÇÃO DE ZINCO¹

*Cristina Campolina de Medeiros²
Achilles Junqueira Bourdot Dutra³*

Resumo

A Votorantim Metais possui uma usina de zinco em Juiz de Fora, que produz cerca de 92 mil t Zn/ano, utilizando o processo hidrometalúrgico convencional. Os resíduos gerados no processo (principalmente a jarosita) são depositados em barragens, implicando na necessidade de ocupação de grandes áreas, demandando investimentos vultosos além de rigorosos controles ambientais e de segurança, com exigências crescentes. No processo industrial são gerados expressivos volumes de efluentes líquidos, cujo tratamento é realizado por meio de neutralização e precipitação dos hidróxidos metálicos, sendo o lodo do tratamento também destinado às barragens de rejeitos. O objetivo deste trabalho é descrever, em linhas gerais, a gestão ambiental dos resíduos sólidos e efluentes líquidos bem como as melhorias previstas com os novos projetos. Foram analisadas as perspectivas de redução dos resíduos e efluentes gerados sob o ponto de vista do desenvolvimento sustentável, de modo a manter a competitividade da empresa.

Palavras-chave: Resíduos; Tratamento de efluentes; Gestão ambiental.

PRESENT SITUATION AND FUTURE CHALLENGES RELATED TO THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF SOLID WASTES AND INDUSTRIAL EFFLUENTS IN A ZINC INDUSTRY

Abstract

Votorantim Metais owns a zinc metallurgical plant, located in Juiz de Fora, MG, Brazil, which produces about 92 kt Zn/year, employing the conventional hydrometallurgical process. The solid wastes generated throughout the process (mainly jarosite), have been deposited inside tailing dams, demanding the occupation of extensive areas, big investments and hard and strict environmental controls. In the industrial process expressive volumes of liquid effluents are generated, which treatment consists of neutralization and precipitation of metallic hydroxides, generating sludge, which is also deposited into the solid waste pond. This paper aims at presenting a general description of the practices related to the environmental management of solid and liquid wastes and the expected improvements associated with the new projects as well. The solid residues and liquid effluents reduction perspectives were analyzed under the point of view of sustainable development to keep level of competitiveness of the company in the market.

Key words: Solid waste; Effluent treatment, Environmental management.

¹ *Contribuição técnica ao 11º Seminário de Metais Não Ferrosos, 1 a 3 de setembro de 2009, São Paulo, SP.*

² *Engenheira Química e Sanitarista – COPPE/UFRJ – criscampolina@gmail.com*

³ *COPPE/UFRJ – adutra@metalmat.ufrj.br*

1 INTRODUÇÃO

A Votorantim Metais Zinco (VMZ-JF), localizada em Juiz de Fora/MG, opera uma usina metalúrgica de produção de zinco usando concentrados de zinco (blenda ou esfarelita) importados, em sua maioria, do Peru. A refinaria produz zinco SHG, ligas de zinco, ácido sulfúrico, SO₂ líquido, sulfato de cobre e concentrado de prata. Em operação desde 1980, a usina tem atualmente uma capacidade de produção de 98 mil toneladas de folhas catódicas por ano (equivalente a 92.000 t zinco por ano), utilizando, presentemente, o processo hidrometalúrgico convencional (Ustulação – Lixiviação – Eletrorecuperação). Na Figura 1 é apresentada uma foto com a vista geral do complexo industrial instalado.



Figura 1. Vista aérea da Votorantim Metais – Unidade de Juiz de Fora (2006).

No processo industrial empregado ocorre uma significativa geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos, que demandam um gerenciamento adequado, conforme os padrões definidos no Sistema de Gestão Ambiental Votorantim, com vista à minimização dos impactos e dos riscos potenciais ao meio ambiente, em razão das características dos mesmos.

Os resíduos gerados durante o processo (cerca de 200 t/dia – peso seco), constituídos principalmente pela jarosita, são depositados em barragens de rejeito Classe 1. Isto implica na necessidade de utilização de grandes áreas, demandando investimentos vultosos e controles ambientais e de segurança rigorosos, que se tornam mais exigentes a cada dia, tanto para os novos reservatórios como para as áreas de depósitos antigos, encerrados e já reabilitados.

No processo industrial são também gerados grandes volumes de efluentes líquidos, cujo tratamento é realizado em uma estação que utiliza o processo físico-químico de neutralização e precipitação dos hidróxidos metálicos. O lodo gerado neste tratamento também é destinado às barragens de rejeito.

O objetivo deste trabalho é descrever, em linhas gerais, como é realizada a gestão ambiental dos resíduos sólidos e efluentes líquidos, além de abordar os projetos em desenvolvimento e as perspectivas em relação a estes dois aspectos, os quais são de grande importância estratégica para a competitividade da empresa, especialmente sob o ponto de vista do desenvolvimento sustentável.

2 PROCESSO INDUSTRIAL E SEUS PRINCIPAIS ASPECTOS AMBIENTAIS

O processo de produção de zinco (representado no fluxograma simplificado apresentado na Figura 2) se inicia com a alimentação do concentrado do minério (cerca de 400 t/dia) em um forno de leito fluidizado, onde ocorre a ustulação, obtendo-se o óxido de zinco, denominado ustulado. Os gases quentes que deixam o forno, ricos em dióxido de enxofre, são conduzidos à unidade de produção de ácido sulfúrico, onde, por meio de um processo de dupla catálise (conversão) e absorção, produz-se o ácido sulfúrico com 98% de concentração. Parte dos gases segue para uma unidade de liquefação, para obtenção do dióxido de enxofre líquido.

O concentrado de zinco utilizado na planta, cuja composição típica é apresentada na Tabela 1, é considerado um “concentrado limpo” em relação aos padrões mundiais, uma vez que as impurezas tais como Co, Ni, As, Sb e Ge tendem a ser baixas, assim como o teor de ferro, que varia de 4 a 6%. Além dos metais apresentados na tabela, também contém, em média, 1,6% de SiO₂, 0,1% de MgO e 0,6% de CaO.

O ustulado obtido é processado no circuito hidrometalúrgico, que consiste de um estágio simples de lixiviação “neutra”, dois estágios em contracorrente de lixiviação “ácida” um estágio de pré-neutralização operando com acidez moderada, um estágio convencional de precipitação de jarosita no qual se emprega amônia, um estágio de remoção de cobre, um estágio de cementação conjunta do cádmio, cobalto e níquel com pó de zinco, utilizando tartarato de antimônio como ativador, um estágio final de cementação do cádmio (polimento) e um estágio de purificação do cimento de cádmio, cobalto e níquel. Impurezas tais como arsênio, antimônio e germânio são eliminadas do circuito no estágio de paragoetita (que integra o tratamento da jarosita). A torta de jarosita, que se constitui no principal resíduo sólido da planta, é submetida a dois estágios de filtração e lavagem, sendo neutralizada com leite de cal antes de ser bombeada para a barragem de rejeitos. Até o presente momento, a jarosita não apresenta aplicações comerciais. Entretanto, os teores relativamente elevados de zinco (até cerca de 8,0%)⁽¹⁾, além de pequenas quantidades de outros metais chamam a atenção para a possibilidade de recuperação e/ou utilização.

Os licores produzidos nestes estágios, misturados a outros fluxos de soluções de processo coletadas em pisos e drenagens, que contém zinco, são neutralizadas com cal na seção de recuperação de zinco, com a finalidade de reduzir as perdas de zinco como também promover a purga de magnésio e manganês do circuito. No setor de flotação, o rejeito contendo chumbo passa por processo de flotação, recuperando-se a prata contida, que é exportada na forma de concentrado de prata.

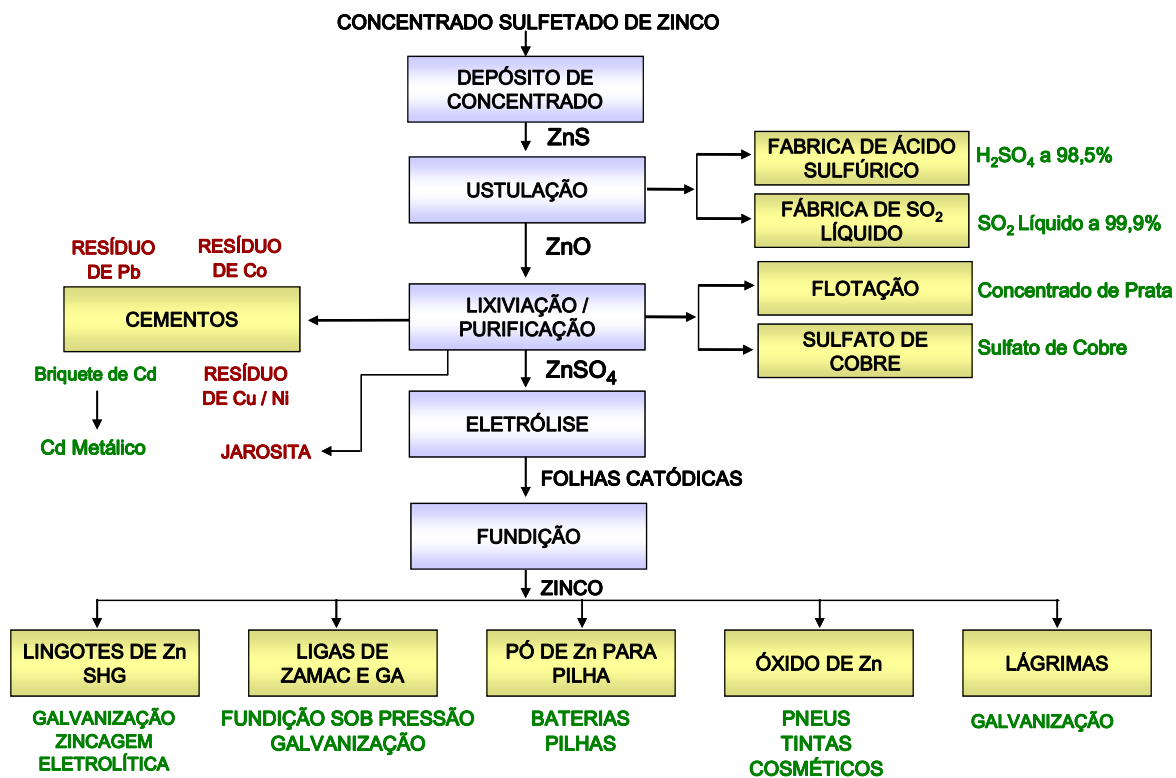


Figura 2. Fluxograma geral do processo industrial.

Tabela 1 – Composição química típica do concentrado de Zinco (*blend*)

Elemento	Concentração
Zn	53,7%
Fe	6,2%
Pb	1,1%
Cd	0,2%
Cu	0,8%
Mn	0,4%
Co	30 g/t
Ni	8 g/t
Ag	211 g/t

Desde o início de operação da planta (1980) até 1999, os resíduos gerados no processo (jarosita) foram depositados em lagoas de rejeito, não impermeabilizadas originalmente. Nestes reservatórios antigos, os quais foram encerrados e reabilitados, a lama de jarosita (neutralizada com leite de cal) se decantava, consolidando-se ao longo do tempo, enquanto o sobrenadante era bombeado de volta à planta, para uma estação de tratamento físico-químico, sendo o efluente final tratado lançado no curso d'água. Em 1999, um novo reservatório, impermeabilizado, foi colocado em operação (Barragem dos Peixes), operando até 2007, quando entrou em operação a Barragem da Pedra, com características construtivas ainda mais exigentes em relação ao sistema de impermeabilização.

Além da jarosita, são gerados nas etapas de purificação outros resíduos, em menor quantidade, constituídos pelas impurezas removidas nos processos de cementação (resíduos de cobalto, níquel, cobre e chumbo, principalmente).

As etapas de lixiviação também são responsáveis pela geração da maior parte dos efluentes líquidos industriais,

A solução purificada de sulfato de zinco segue para a sala de Eletrolise, onde circula através de 336 cubas eletrolíticas, equipadas cada uma com 38 catodos de

alumínio e 39 anodos de liga chumbo com prata (0,4% Ag), produzindo o zinco metálico. Os dados básicos da eletrólise existente são apresentados na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Dados sobre a Sala de Eletrólise

Capacidade de produção	98.000 t / ano
Densidade de corrente	580 A / m ²
Consumo energético	3.250 kWh / t catodo
Eficiência de corrente	91,8%

As placas de zinco são removidas manualmente dos catodos a cada 24 horas, seguindo para a unidade de fundição, na qual é realizada a fusão do zinco em forno elétrico de indução. O zinco líquido é solidificado sob a forma de lingotes SHG – Special High Grade, produzindo-se também, em fornos menores, ligas contendo cobre, magnésio e alumínio, além de zinco em pó e grânulos de zinco.

3 GERENCIAMENTO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS

Os efluentes produzidos no processamento de metais são caracterizados por altos níveis de metais, sulfatos e outros constituintes salinos além de baixo pH. Se não forem tratados adequadamente antes do descarte podem causar sérios impactos ao meio ambiente, conforme citado por Tuppurainen.⁽²⁾

Na usina de zinco da Votorantim Metais, os efluentes sanitários e industriais, incluindo parcela de águas de drenagem pluvial, são segregados, coletados e, após tratamento, lançados no Ribeirão Três Pontes, afluente do Rio Paraibuna. A Estação de Tratamento de Efluentes Industriais – ETEI e a Estação de Tratamento de Efluentes Sanitários – ETES, detalhados nos itens a seguir, constituem-se nos principais dispositivos de controle de poluição hídrica.

Um amplo programa de monitoramento hídrico é realizado no complexo industrial e na área de influência da empresa, com resultados enviados periodicamente ao órgão ambiental, contemplando análises dos efluentes brutos e tratados além de águas residuárias, cursos d'água receptores e bacia hidrográfica.

3.1 ETEI – Estação de Tratamento de Efluentes Industriais

A Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI) recebe os efluentes do processo, águas residuárias em geral, sobrenadante da barragem de rejeitos e águas pluviais contaminadas, para tratamento antes do lançamento no corpo receptor.

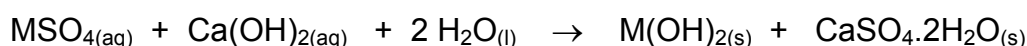
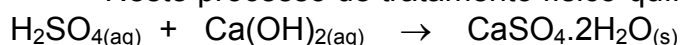
A ETEI, recentemente ampliada, emprega o processo de precipitação de hidróxidos metálicos, utilizando cal como agente alcalinizante. A estação é constituída de um tanque de equalização, um tanque de pré-neutralização de água ácida, dois tanques de alcalinização, três flocculadores e três espessadores, além do sistema de preparação e alimentação de leite de cal. Os dados básicos do projeto, cuja capacidade nominal é de 335 m³/h, são apresentados na Tabela 3. Também estão integrados ao sistema de tratamento dois tanques de contenção, que atuam como reservatórios-pulmão de águas pluviais e drenagens em geral das áreas de processo.

Tabela 3 – Dados da Estação de Tratamento de Efluentes Industriais – ETEI⁽³⁾

Capacidade nominal de tratamento (vazão média horária)	335 m ³ /h (8.040 m ³ /dia)
Tanque de equalização (1)	600 m ³
Tempo de retenção na equalização	1,5 h
Tanques de alcalinização (2), com o processo em dois estágios	80 m ³ cada
Tempo de retenção, por estágio, na alcalinização	15 min
Tanques de floculação (3)	58 m ³ cada
Tempo de retenção na floculação	20 min
Decantadores (3)	600 m ³ cada
Taxa de aplicação de carga hidráulica nos decantadores	mínimo de 1 m ³ /m ² /h

Os efluentes chegam ao tanque de equalização, que tem a função de homogeneizar a vazão e misturar os diversos fluxos de alimentação dos tanques de alcalinização, onde é adicionado leite de cal, mantendo o pH final na faixa de 10,5 a 10,8, de modo a garantir a eficiência de precipitação dos hidróxidos metálicos e atender aos padrões legais estabelecidos.

Neste processo de tratamento físico-químico, ocorrem as seguintes reações:



onde, M = Zn, Cd, Pb, Mn, Mg, etc (metais).

A suspensão que deixa os reatores de alcalinização, contendo os hidróxidos metálicos precipitados e sulfato de cálcio, segue aos floculadores, após a adição de um floculante para aumentar a eficiência do processo de separação sólido-líquido, realizado em três decantadores, onde ocorre a sedimentação dos sólidos e a clarificação do efluente tratado.

A lama bombeada do fundo dos espessadores, juntamente com a jarosita, segue para a barragem de rejeitos, enquanto que o efluente recolhido nas calhas de *overflow* dos espessadores passa por um tanque de ajuste final de pH (onde se adiciona ácido sulfúrico para manter o pH em conformidade com o padrão legal), sendo, em seguida, descartado no corpo receptor.

Os controles operacionais dos equipamentos eletromecânicos são realizados automaticamente (por meio de sistema supervisor, usando controladores lógicos programáveis) e no campo. Além disso, todos os equipamentos podem operar em conjunto, simultaneamente, ou alternadamente, de modo a permitir a versatilidade nas operações de manutenção e limpeza da estação.

Na Tabela 4 são apresentados os dados de caracterização do efluente bruto e do efluente tratado, lançado no corpo receptor, com a indicação do padrão legal de lançamento estabelecido na legislação estadual.

Tabela 4 – Caracterização do efluente industrial bruto, efluente tratado e padrões legais.

Parâmetro	Efluente Bruto ⁽¹⁾			Efluente Tratado ⁽²⁾	Padrão Legal ⁽⁴⁾
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3		
pH	1,85	1,94	1,67	8,4	6 - 9
Amônia (mg/L)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	⁽³⁾	não estabelecido
Cádmio (mg/L)	3,24	3,29	3,32	0,046	0,1
Chumbo (mg/L)	1,59	1,25	1,77	0,015	0,1
Manganês (mg/L)	7,20	7,30	7,30	⁽³⁾	1,0
Mercúrio (mg/L)	> 0,02	> 0,02	< 0,01	<0,00005	0,01
Sulfito (mg/L)	< 1,0	1,1	< 1,0	⁽³⁾	não estabelecido
Zinco (mg/L)	> 155	> 162	> 160	0,47	5,0
Dureza (mg/L)	4000	4000	4000	⁽³⁾	não estabelecido

Fontes: ⁽¹⁾ Laudos analíticos – Tecma Engenharia – Amostras de 27, 28 e 29/6/2005, respectivamente; ⁽²⁾ Laudos analíticos – VMZ-JF – Média mensal do mês de novembro/08; ⁽³⁾ Dados não disponíveis; ⁽⁴⁾ Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 5/5/08.

3.2 ETES – Estação de Tratamento de Efluentes Sanitários

A ETES – Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário consiste de uma estação de tratamento biológico, do tipo lodos ativados com aeração prolongada, que recebe os efluentes sanitários gerados nas áreas dos escritórios, banheiros, vestiários, restaurante, etc., localizados no complexo industrial, cuja vazão média é de 10 m³/h.

Os efluentes são coletados em redes específicas e chegam à estação através de duas elevatórias de recalque, sendo o processo de tratamento composto por: gradeamento, caixas de areia, tanque de aeração (com o emprego de difusores de ar) e tanque de sedimentação.

O efluente tratado e clarificado é lançado no corpo receptor (Ribeirão Três Pontes), a partir do tanque de sedimentação, através de uma calha Parshall.

Parte do lodo biológico é recirculado para o tanque de aeração, retornando ao processo de tratamento, sendo o excedente filtrado em filtro-prensa após acondicionamento com cal e floculante. A torta do filtro é descartada no aterro sanitário próprio da VMZ.

4 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Nas várias etapas do processo industrial da metalurgia de zinco, especialmente na lixiviação e purificação, é gerada uma quantidade significativa de resíduos, em sua maioria classificados como Classe 1 – Perigosos, apresentando-se, na Tabela 5, uma relação dos principais resíduos sólidos gerados e sua destinação final.

Considerando a composição básica do concentrado sulfetado de zinco, observa-se que, além dos diversos produtos de zinco, é realizado também o aproveitamento de outros produtos secundários, tais como o enxofre (na forma de ácido sulfúrico e SO₂ liquefeito), o cobre (como sulfato de cobre), o cádmio (lingotes metálicos) e a prata (na forma de concentrado de prata). Outras impurezas presentes no minério ainda não encontram condições técnicas e econômicas para o seu reaproveitamento, constituindo-se em resíduos, cujo manuseio e disposição exigem um rigoroso gerenciamento, devido às suas características, em especial a acidez e a presença de metais pesados.

Tabela 5 – Geração e destinação dos resíduos sólidos

Resíduo	Etapa de Processo	Quantidade média (peso seco) – t/ano	Destinação
Jarosita	Lixiviação	48.370	Barragens (Classe I)
Lodo da Estação de Trat. Efluentes - ETEI	Tratamento de Efluentes	6.000	Barragens (Classe I)
Dióxido de manganês (lama anódica)	Eletrorrecovery	420	Reaproveitamento em outra Unidade
Resíduos da purificação	Purificação da solução	1.400	Barragens (Classe I)
Resíduo da flotação de chumbo-prata	Lixiviação	10.500	Barragens (Classe I)
Cinzas de fundição	Fundição	3.150	Comercialização (produto)

A jarosita, resíduo característico do processo hidrometalúrgico empregado, é um sulfato básico de ferro e amônio, resultante da precipitação do ferro e outras impurezas do circuito. Este resíduo é bombeado para as barragens de rejeito (cerca de 80 m³/h), após mistura com os resíduos da purificação/cementos (Ni, Co, Cu, Sb, etc.), o lodo da ETEI, o rejeito de chumbo gerado na coluna de flotação e leite de cal. A composição típica deste resíduo é apresentada na Tabela 6.

Na etapa de eletrorecuperação é gerado o resíduo de dióxido de manganês, removido rotineiramente durante as operações de limpeza de cubas e limpeza de anodos. Tendo sido depositado por mais de vinte anos em aterro industrial, passou recentemente a ser reaproveitado em outra unidade industrial da Votorantim Metais Zinco, como insumo de processo.

Na fundição, são geradas borras e cinzas de zinco, decorrentes da oxidação superficial do banho, porém estes materiais são integralmente recirculados no processo ou reaproveitados, comercializados como óxido de zinco.

Tabela 6 – Composição química típica da jarosita.

Parâmetro	Concentração
SO ₄	38%
Fe	14%
SiO ₂	4,3%
Zn	2,8%
Pb	2,2%
Ag	260 ppm
In	280 ppm
Ga	100 ppm

Também ocorre a geração de diversos outros tipos de resíduos decorrentes das atividades e áreas de apoio (manutenção, oficinas diversas, utilidades, laboratórios, obras civis e montagens, restaurante, ambulatório etc), sujeitos a procedimentos específicos de manuseio, armazenamento temporário e destinação final, em muitos casos envolvendo requisitos legais específicos (como, por exemplo: óleos lubrificantes, resíduos ambulatoriais, lâmpadas, pilhas e baterias, resíduos de construção civil).

A empresa dispõe de aterro sanitário e aterro industrial classe 1 próprios, para onde é destinada a maioria dos resíduos gerados na usina. Também dispõe de depósitos para armazenamento temporário dos resíduos que são destinados a terceiros para reciclagem (tais como papéis, plásticos, sucatas metálicas, óleos lubrificantes); reutilização (peças e materiais usados), reprocessamento (materiais de processo), co-processamento ou incineração (solventes, resíduos oleosos diversos, catalisadores).

Os procedimentos de coleta seletiva e gerenciamento de resíduos estabelecem a necessidade de segregação dos materiais na fonte, cabendo a cada área a responsabilidade de dispor adequadamente os resíduos em recipientes específicos, identificados com a cor característica e a tipologia dos mesmos.

5 PROJETO POLIMETÁLICOS - FASE 1

O projeto a ser implementado consiste numa mudança do processo atual, onde o *underflow* neutro, ao invés de ser processado na etapa de lixiviação ácida convencional, para recuperação do zinco ligado às ferritas, será levado a um forno rotativo (*Waelz kiln*), onde o zinco e outros metais serão volatilizados e posteriormente recuperados na forma de óxido *Waelz*^(4,5) que será, em seguida,

lixiviado e integrado ao circuito hidrometalúrgico. A maior parte do ferro permanecerá na escória formada durante o processo de volatilização, obtendo-se um material inerte, com possibilidade de aplicação na indústria de cimento ou como material para pavimentação.

Além de aumentar a recuperação de zinco, com o novo processo será possível ampliar o *mix* de matérias-primas, com a utilização de silicatos de baixo teor de zinco e o processamento de resíduos constituídos de pós de aciaria elétrica, que, atualmente, não têm aplicação industrial e requerem cuidados ambientais especiais para disposição, além de recuperar metais de alto valor agregado presentes no concentrado de zinco (índio, gálio e germânio). A implementação deste projeto tem diversas vantagens ambientais, pois implicará numa redução substancial da geração de resíduos perigosos, sem valor comercial (jarosita), passando a ser produzida uma escória (resíduo inerte), a ser comercializada. Com isso, haverá uma redução na utilização da barragem de rejeitos, aumentando substancialmente a vida útil da mesma.

Com a implantação deste novo circuito, pretende-se aumentar a capacidade de produção de catodos de zinco, de 98.000 t/ano para 115.000 t/ano, sendo necessário para tanto, a instalação de uma nova sala de eletrólise, semi-automatizada, além de otimização de capacidade na unidade de fundição.

6 CONCLUSÕES

O gerenciamento ambiental dos aspectos ambientais de uma indústria metalúrgica de zinco é complexo, em razão da tipologia dos materiais e processos convencionalmente empregados, abrangendo a gestão de águas e efluentes líquidos, emissões atmosféricas e resíduos (incluindo os resíduos perigosos).

No caso da Votorantim Metais Zinco – Juiz de Fora, a implantação de um sistema de gestão ambiental, que tem como base o compromisso da empresa estabelecido por meio de uma política ambiental e o estabelecimento de programas de controle ambiental, contribui para minimizar os impactos ambientais, reduzir os desperdícios, prevenir a poluição e melhorar continuamente os processos e o desempenho ambiental da organização.

Considerando, no entanto, a elevada geração de resíduos sólidos (cerca de 180 t/dia), que demandam disposição em barragem de rejeitos classe 1, e a necessidade de melhor aproveitamento das matérias-primas, vem sendo desenvolvida a implantação de um novo processo, que tem como principais benefícios a reciclagem do zinco contido no resíduo de pó de aciaria elétrica, a recuperação e produção de índio (atualmente componente da jarosita), bem como a geração de um resíduo inerte, isento de zinco e com potencial para aproveitamento.

Pesquisas continuam a ser realizadas com vistas ao melhor aproveitamento do zinco e dos demais metais contidos na matéria-prima componentes do minério (tais como cobalto, níquel e chumbo) e que se constituem, até o momento, em perdas nos resíduos e contaminantes potenciais ao meio ambiente.

Desta forma, pode-se considerar que o principal desafio relacionado à sustentabilidade ambiental da indústria metalúrgica de zinco mencionada neste artigo, é aumentar a recuperação dos metais envolvidos nos processos e reduzir continuamente a geração de efluentes e resíduos, por meio de reuso, reciclagem e reutilização.

Para tanto, os processos atuais devem ser continuamente otimizados, e novos processos produtivos necessitam ser desenvolvidos e implementados, considerando tecnologias mais limpas e maior eficiência ambiental.

Agradecimentos

Nossos agradecimentos à Votorantim Metais S/A por ter apoiado a realização do presente trabalho e disponibilizado os dados aqui apresentados, em especial a atenção do Gerente de Tecnologia, Tone Takayama, e do técnico Lúcio Flávio Oliveira Amaral, ex-colegas de trabalho ao longo de vários anos.

REFERÊNCIAS

- 1 PAPPU, A., SAXENA, M. ASOLEKAR, S.R. Jarosite characteristics and its utilization potentials. *Science of Total Environment*, v. 359, n. 1-3, p. 232-243, 2006.
- 2 TUPPURAINEN, K.O., VAISANEN A., ORINTALA, J.A. Zinc removal in anaerobic sulphate-reducing liquid substrate process. *Minerals Engineering*, v. 15, n. 11, p. 847–852, 2002.
- 3 PROJETO DE ADEQUAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA VOTORANTIM METAIS ZINCO S.A JUIZ DE FORA - MG. TECMA – Tecnologia em Meio Ambiente Ltda – Fev. 2006.
- 4 KOLA, R. The processing of steelworks waste. In: MACKKEY, T.S.; PRENGAMAN, R.D., (Ed.). LEAD-ZINC '90. Warrendale, PA: TMS, 1990. p.453-464.
- 5 NYIRENDA, R.L. The processing of steelmaking flue-dust: a review. *Minerals Engineering*, v. 4, n. 7-11, p. 1003-1025, 1991.