

CADEIA DE RECUPERAÇÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS – A PRODUÇÃO DE MATÉRIAS PRIMAS PARA A INDÚSTRIA VIDREIRA A PARTIR DE ESCÓRIA DE ACIARIAS

Antonio César Galhardi

Universidade Cidade de São Paulo

Administração de Empresas

Rua Cesário Galeno, N° 448 – São Paulo, SP

Fone 11 61901382 email: acgal@terra.com.br

SUMÁRIO:

1. Introdução
2. Teoria
3. Metodologia
4. A utilização de Escórias de Aciarias na Indústria Vidreira
 - 4.1 Características da Escória Bruta
 - 4.2 O Processo de Tratamento
 - 4.3 Características dos Produtos
5. A Empresa
6. Considerações Finais

RESUMO: Este trabalho relata a excelente relação simbiótica entre uma empresa de mineração e empresas siderúrgicas, ambas italianas, na criação de um setor economicamente viável de recuperação de escória de aciarias, e o reaproveitamento desses materiais na indústria vidreira, criando assim uma verdadeira cadeia verde. A tecnologia disponível tem permitido usufruir economicamente do referido processo, já há aproximadamente 30 anos. Mas, mais do que uma atividade econômica ressalta-se a relevância ambiental do projeto. O assunto merece destaque, principalmente em países com desenvolvimento industrial emergente, como o Brasil, embora iniciativas como estas tenham sido pouco divulgadas no meio acadêmico.

Palavras-Chave: Ecologia industrial, Simbiose industrial, Recuperação de escórias.

1. Introdução

Este trabalho relata a excelente relação simbiótica entre uma empresa de mineração e empresas siderúrgicas, ambas italianas, na criação de um setor economicamente viável de recuperação de escórias de aciarias, e o reaproveitamento desses materiais na indústria vidreira, criando assim uma verdadeira cadeia verde. A tecnologia disponível tem permitido usufruir economicamente do referido processo, já há aproximadamente 30 anos. Mas, mais do que uma atividade econômica ressalta-se a relevância ambiental do projeto. O assunto merece destaque, principalmente em países com desenvolvimento industrial emergente, como o Brasil, embora iniciativas como estas tenham sido pouco divulgadas no meio acadêmico.

Trata-se de uma aplicação da Ecologia Industrial, e como tal prevê a aplicação de leis naturais nas relações entre a indústria, a sociedade e o entorno. Para isto é necessário que o sistema industrial não se considere uma ilha, em meio aos sistemas que o rodeiam, e sim que busque relacionar-se a eles.

Considerar o homem como um ser superior, que não valoriza ou utiliza os ensinamentos dos principais fundamentos de funcionamento dos sistemas naturais, *“que a matéria e parte da energia devem seguir um curso ininterrupto”*, é um erro assim tão grosseiro como a atual estrutura industrial.

Com o fenômeno da globalização *“o capital se move livremente pelo planeta”*, influenciando inúmeras relações, principalmente aquelas vinculadas ao fluxo de capital, no entanto, não tem reflexo algum quando se trata de fluxos de materiais e energia.

Às empresas e seus administradores cumpre praticar o fato de não serem ilhas, mas sim um entroncamento de rotas, parte de uma grande rede, da qual depende sua sobrevivência.

Este trabalho apresenta uma atividade industrial sustentável, a partir da recuperação de rejeitos de outro setor industrial, de maneira a se obter vantagens econômicas e ambientais.

Quanto às vantagens ambientais valoriza-se a recuperação de materiais, reduzindo o consumo de matérias primas naturais, além de que a utilização destes resíduos permite poupar energia de transformação se comparado à situação anterior.

2. Teoria

A Ecologia Industrial é a ciência que almeja melhorar o conhecimento e as decisões em diferentes setores industriais, sobre o uso de materiais, redução de rejeitos e prevenção de contaminação. Visa oferecer uma visão de conjunto do fluxo de materiais na economia, descrições e dimensões sobre o meio ambiente e os sistemas industriais, meios para a análise e projeto de produtos e sistemas produtivos ambientalmente corretos, e alternativas, para a emissão de resíduos (Allenby e Cooper, 1994).

Os problemas ecológicos se tornam a cada ano, (Ehrenfeld, 1997) mais graves, o que pressupõe modificações profundas nas práticas industriais, principalmente no que se refere a:

- minimizar o uso de materiais e energia;
- substituição de materiais por outros de melhor rendimento ambiental;
- recuperação de matérias primas.

Uma grande dificuldade em estudos ecológicos, (Burström, 2000) é a presença de um grande número de fatores, que acaba por coibir o término da investigação. É de fundamental importância, estabelecer os limites do estudo, tornando-o mais restrito, mesmo que signifique ignorar alguns fatores importantes.

Restringindo-se à ecologia de fabricação, é necessário contabilizar a gestão prática da fabricação, ou seja, desenvolver projetos, ainda que pequenos e menos abrangentes, que permitam simplificar a reutilização dos produtos e componentes, minimizar os impactos negativos, e ainda os referentes à utilização do produto (Graedel e Allenby, 1995).

É bem verdade que no projeto de um produto ou processo, existe ampla possibilidade de escolha de materiais e componentes, inclusive utilizando-se materiais re-processados. Um projeto de produto inteligente pode também reduzir a necessidade de materiais, (Bernardini e Galli, 1993). Ou ainda substituir materiais por serviços, como por exemplo: disponibilizar manuais e informações sobre produtos, em forma eletrônica, via internet, ao invés de confeccionar grossos manuais em papel.

O objetivo final para um sistema industrial ecologicamente saudável é aquele em que praticamente todos os materiais utilizados em um ciclo completo, sejam reutilizados sucessivamente, de maneira a reduzir ao máximo possível a quantidade de rejeitos, e isto só é possível com ampla reutilização de materiais, ou seja, adotando a reciclagem (Cleveland e Ruth, 1998).

A ecologia industrial busca a interação entre quatro atores diferentes: os processadores de materiais, as empresas manufatureiras, os geradores de rejeitos relacionados às atividades de reciclagem, e o consumidor final (Nemerow, 1995).

3. Metodologia

A descrição do presente caso se dá pela análise das entrevistas efetuadas com a direção da empresa, e pela visita às instalações.

Alguns dados, que permitiram avaliar a viabilidade do projeto foram gentilmente cedidos pelos dirigentes da empresa. Concomitantemente, foram fornecidas informações gerais sobre o processo de produção, os produtos, etc.

4. A Utilização de Escória de Aciarias na Indústria Vidreira.

A escória de aciarias é um subproduto não ferroso que se obtém no processo de fabricação de ferro fundido e aços. Particularmente no caso em estudo, a escória é obtida da fabricação de ferro gusa, em um ciclo integral a partir do minério de ferro.

A quantidade de escória produzida nesse processo é variável em função da quantidade de ferro presente no minério utilizado, e do processo produtivo, girando em torno de 20% para a produção de pellets, e até 30% para a produção de aglomerados.

A separação do ferro gusa da escória, é obtida no estado líquido, aproveitando-se da diferença de densidades entre as duas fases.

A partir da separação, a escória pode ser resfriada lentamente ao ar, ou rapidamente em água. No primeiro caso se obtém uma escória cristalina, que pode encontrar emprego como material inerte (carga), ou como matéria prima para a produção de lâ de rocha.

O produto obtido com o resfriamento em água, as escórias granuladas, que em virtude de seu resfriamento repentino, promove uma transformação física: redução granulométrica; e também, uma transformação química: adquire a propriedade hidráulica, portanto uma vez moída, reage com água para provocar a reação de pega. Por esta característica, o consumo desse tipo de escória destina-se ao setor cimenteiro, quer seja como aditivo ao clínquer de cimento, ou ainda como substituto parcial do cimento.

Quanto ao emprego em vidrarias, utiliza-se na Itália a escória granulada, pela simples razão de praticidade, havendo já uma granulometria natural, não muito distante daquela usual em misturas para vidrarias.

Como principal vantagem tecnológica para a utilização de escória recuperada para a produção de vidros, destaca-se a redução do ponto de fusão da mistura, e conseqüentemente do consumo de energia, além de aumentar a vida útil dos refratários, e melhorar a qualidade dos vidros, pela melhor homogeneização na fusão e eliminação de bolhas de ar, etc.

4.1 Características da Escória Bruta

As características físico-químicas das escórias de alto forno, produzidas em diferentes aciarias, apresentam um ciclo integral relativamente uniforme e constante. Quimicamente considera-se a escória, como um alumínio-silicato de cálcio e magnésio, constituída em quase sua totalidade (95%) dos quatro óxidos nas seguintes proporções:

- 35 – 39% sílica;
- 37 – 45% cálcio;
- 06 – 12% magnésio;
- 08 – 12% alumínio.

Dos demais elementos o mais abundante é o enxofre, presente em sua forma reduzida, titânio, ferro, manganês e álcalis.

Uma difração de Raios-X típica apresenta um difratograma característico de materiais amorfos, com a ausência de picos de intensidade de difração em planos cristalinos. Os produtos finais, obtidos pelo tratamento da escória, na S.I.P.I., empresa italiana em estudo, apresentam-se em duas granulometrias diferentes: menor que 0,6 mm e menor que 1,0 mm.

4.2 O Processo de Tratamento

O escopo do processo de tratamento se inicia por uma redução granulométrica, para maior facilidade de remoção de materiais indesejáveis, principalmente o ferro.

A etapa fundamental do processo é a homogeneização do lote (mensal), procedente de diversas aciarias, que são distribuídos em pátio, com uma distribuição longitudinal em camadas, que posteriormente serão consumidas em “fatias” transversais, garantindo que qualquer parte seja constituída de uma mistura de diferentes chegadas, e cuja composição seja muito próxima à precedente e à consecutiva.

A escória homogeneizada alimenta a planta de tratamento, iniciando-se por secagem em secador rotativo, com posterior peneiramento em malha com abertura de 3,5 mm, para a remoção de corpos estranhos que permaneceram em tamanho superior ao normal, quando do resfriamento em água, e que na maior parte das vezes apresenta composição química diferente da escória, composto principalmente por restos de refratários ou até mesmo ferro fundido.

Posteriormente o material é submetido a separação magnética de baixa intensidade, onde são eliminadas pequenas partículas remanescentes de ferro. Segue uma série de operações de peneiramento, separação pneumo-gravimétrica e moagem, em circuito fechado. O material obtido, com granulometria inferior a 0,6 mm ou 1,0 mm é submetido a uma última separação magnética em rolos magnéticos permanentes de Neodímio de alto campo e alto gradiente, obtendo-se então os produtos finais.

O tratamento pneumo-gravimétrico constitui uma etapa de fundamental importância e está baseado em três considerações:

1) Na escória existe a presença considerável de coríndon, oriundo do refratário dos fornos, com um peso específico superior a $4,0 \text{ g/cm}^3$, que constitui um elemento indesejável à produção de vidro, por seu elevado ponto de fusão, e que difere do peso específico da escória ($2,5 \text{ g/cm}^3$) devido à sua alta porosidade.

2) O coríndon encontra-se em sua maior parte nas frações mais grosseira, que não tiveram redução de tamanho pelo resfriamento em água.

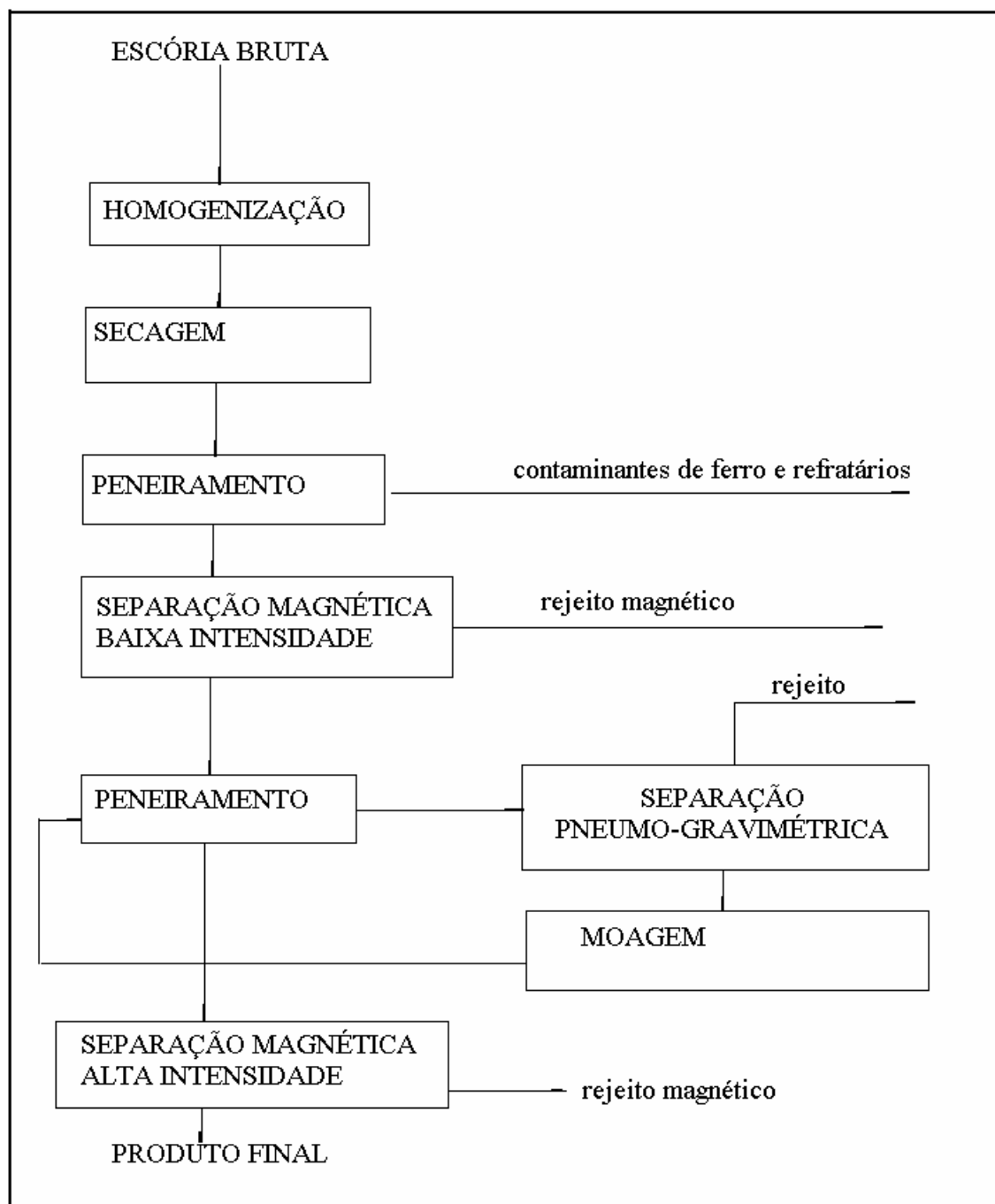
3) Devido à sua natureza o coríndon é também mais duro e, portanto, mais resistente ao tratamento de moagem, permanecendo ainda em tamanhos maiores.

Com quase 30 anos de experiência a S.I.P.I. desenvolveu um processo de retenção destas partículas por pneumogravimetria. O fluxo da escória é submetido a duas forças principais: a da gravidade e a fluidodinâmica, e que por diferença de peso específico, permite então a separação da escória do coríndon.

O processo permite a recuperação de 85 a 90 % da escória na condição de aditivo para a indústria vidreira. Uma porcentagem muito pequena do restante, constituída de restos de refratários, são comercializados no setor de construção civil, como areia sintética. Existe ainda uma parte da escória não recuperada, composta por minerais metálicos, que retorna às aciarias para serem reciclados, fechando o ciclo ambiental de utilização do material.

Na Figura 1 apresenta-se o fluxograma de processo da S.I.P.I., para recuperação de escória de ferro gusa e produção de aditivos para a indústria vidreira.

Figura 1 – Fluxograma de processo de recuperação de escória. S.I.P.I..



Fonte: Società Italiana per Produzione Industriali – S.I.P.I. - Itália

4.3 Características dos Produtos

Os produtos obtidos nas duas plantas de beneficiamento da S.I.P.I. diferem ligeiramente entre si, devido as diferentes procedências das escórias. Na Tabela 1 apresenta-se a composição química dos dois produtos obtidos: o Vitrito F, para produção de vidros em processo float, com

granulometria <1,0 mm , e o Vitrito VP, para produção de vidros domésticos e embalagens, com granulometria <0,6mm.

Tabela 1 – Características químicas dos produtos obtidos em diferentes plantas de beneficiamento.

	VITRITO F - VP	
	Piombino	Varigi
ÓXIDOS (%)		
SiO ₂	36,9	35,1
Al ₂ O ₃	10,7	11,7
Fe ₂ O ₃	0,2	0,2
TiO ₂	0,5	0,48
CaO	37,5	38
MgO	11,2	12,2
K ₂ O	0,4	0,4
Na ₂ O	0,45	0,4
C	0,1	0,1
S	1,05	1

Fonte: S.I.P.I. - Itália

Os produtos obtidos da recuperação de escória já representam um volume de 4.000 ton/mês e aproximadamente Euro\$ 0,5 milhão/mês, e desde o início já foram produzidos mais do que 1.000.000 de toneladas.

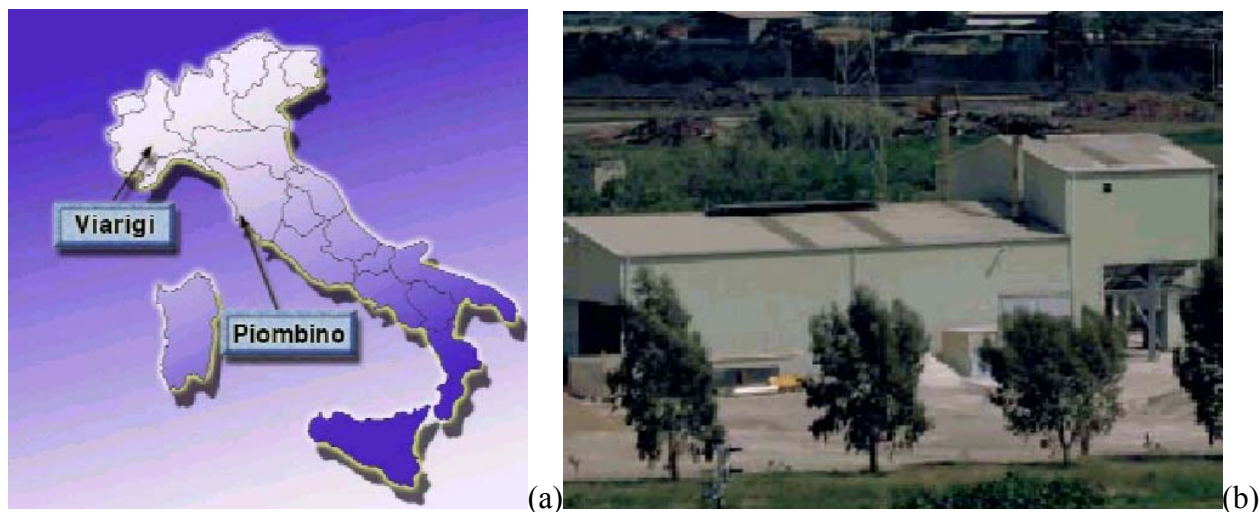
5. A Empresa

A S.I.P.I. S.r.l. é uma das 10 empresas que compõem o GRUPPO MINERALI S.p.a, empresa familiar italiana, dedicada a exploração, beneficiamento e comercialização de minérios para o setor cerâmico e vidreiro. O grupo produz e comercializa mais de 2 milhões de toneladas de minérios/ano, com um faturamento da ordem de Euro\$ 50 milhões.

Especificamente a S.I.P.I, desde 1.978, recupera e recicla a escória de alto forno, e a transforma em importantes aditivos para a indústria vidreira, que permitem aumentar a capacidade produtiva das indústria, reduz o combustível necessário, pela redução significativa da temperatura de fusão, além de permitir a obtenção de produtos de melhor qualidade, com a aceleração da fusão dos componentes e a sua melhor homogeneização, e obviamente a redução de consumo de matérias naturais virgens, prolongando o ciclo de produtos anteriormente ao seu retorno à natureza, como preceito clássico da ecologia industrial.

A Figura 2(a), apresenta a localização das plantas de beneficiamento de escória, localizadas no norte da Itália e próximo às aciarias. A Figura 2(b) apresenta uma vista da planta de tratamento de escória.

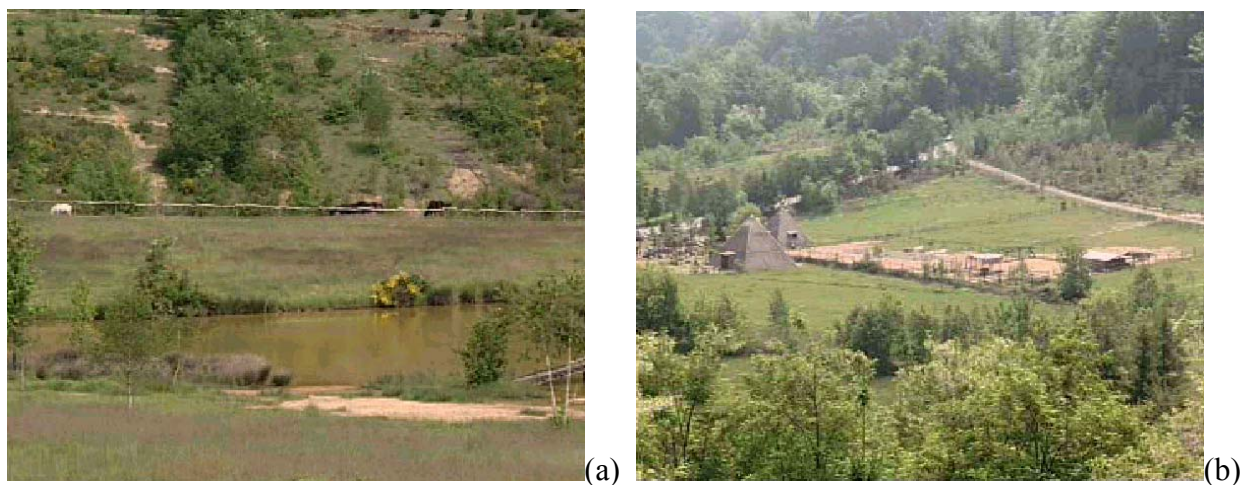
Figura 2 – Localização das plantas de tratamento de escória (a), e vista lateral de uma das plantas de tratamento (b)



Fonte: S.I.P.I. - Itália

A política interna do grupo é regida por um forte apelo ambiental. Na Figura 3(a) e 3(b) observa-se áreas que outrora eram exploradas e atualmente apresenta-se totalmente recuperadas, integradas ao ambiente local e devolvidas à sociedade na forma de áreas de lazer e parques.

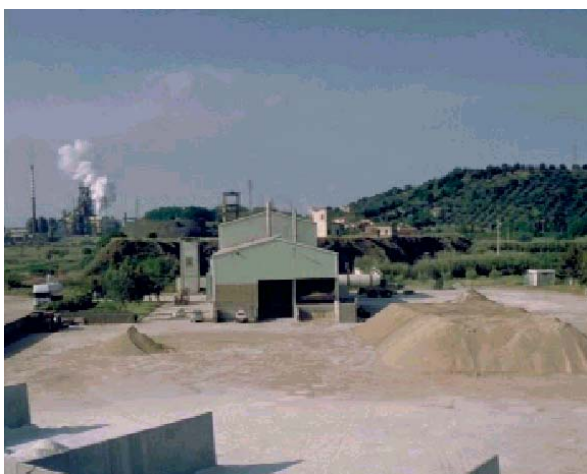
Figura 3 – Áreas de recuperação ambiental pós-exploração.



Fonte: S.I.P.I. - Itália

As Figuras 4 e 5 apresentam particularidades das instalações da S.I.P.I.. Na Figura 4(a) observa-se além de uma vista externa das instalações o trabalho de homogeneização dos lotes de recebimento em pátios, enquanto na 4(b) silos de armazenamento de produtos finais (os aditivos: Vitrito F e Vitrito VP), enquanto na Figura 5 apresenta-se aspectos internos e externos da instalação.

Figura 4 - Vista externa da fábrica e pátio de homogeneização de escória (a); silos de armazenamento de produtos finais (b).



(a)



(b)

Fonte: S.I.P.I. - Itália

Figura 5 – (a) Vista interna da planta mostrando um secador rotativo. (b) Sistema de carregamento de caminhões.



(a)



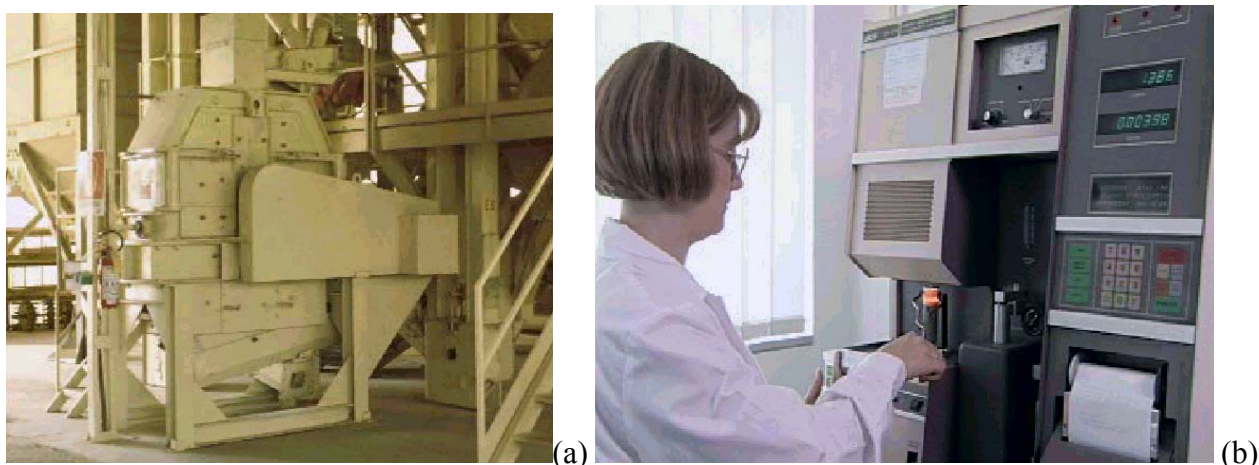
(b)

Fonte: S.I.P.I. – Itália

Também é marcante, a estratégia operativa da companhia que “aposta”, em sua capacidade tecnológica, explorando minérios, inicialmente com elevado grau de impurezas, mas que se situam em regiões de fácil acesso, ocorrem em grande quantidade, e possibilitam a recuperação ambiental a posteriori. Como metas principais, além da re-qualificação do território, e certificação ISO 14002, a empresa dedica-se a um controle pontual de padrões, pelo monitoramento contínuo, pela constância de fornecimento, e pela certificação ISO 9002 e 14002, para todas as unidades produtivas.

Na Figura 6(a) apresenta-se o equipamento fundamental no processo de recuperação da escória, trata-se da câmara pneumo-gravimétrica, projetada pelos técnicos da companhia. Na Figura 6(b) observa-se equipamento de análise química utilizado para controle de qualidade dos lotes.

Figura 6 – Câmara pneumo-gravimétrica (a), Aparelho de Fluorescência de Rios-X (b)



Fonte: S.I.P.I. - Itália

6. Considerações Finais

Um dos fundamentais aspectos visualizados neste trabalho é sem dúvida o projeto de um sistema industrial ecológico, que prevê fundamentalmente a melhoria das conexões entre as diferentes partes de maneira independente. A comunicação entre elas, inúmeras vezes permite determinar como os rejeitos de uma empresa específica, podem ser utilizados como insumos em outra, e, portanto determinar de maneira mais apurada o valor dos referidos rejeitos.

O caso em estudo mostra uma melhor utilização da escória de alto forno, do que o seu tradicional emprego na indústria cimenteira, uma vez que contribui em uma multiplicidade de aspectos como: redução de consumo de materiais virgens, prolongamento do ciclo de vida dos materiais, redução do consumo de energia, ou uma melhor relação entre a produção e o consumo energético, melhoria da qualidade dos produtos, devido ao melhor refino da mistura fundida e de sua homogeneização.

A atividade produtiva da S.I.P.I. permite diversificar o emprego da utilização de resíduos de outros processos, assim como os valoriza monetariamente.

Trata-se de um aspecto realmente importante, ressaltar o aumento da utilidade de certos rejeitos. O desenvolvimento constante de novas aplicações para os rejeitos industriais de certa forma é uma garantia da melhor utilização dos recursos naturais em volume, e no tempo, aumentando o ciclo de vida dos mesmos.

Não é possível negligenciar que o valor ambiental da reutilização de rejeitos, leva em consideração além da recuperação ambiental, e da redução de consumo de materiais naturais virgens, o de redução de energia. A redução do consumo de energia pode se dar tanto pela utilização dos rejeitos como combustíveis, pelo compartilhamento de energia com outros

processos, ou com modificações no processo que permitam reduzir o consumo energético, como o visualizado neste caso.

Do trabalho em estudo, cuja viabilidade econômica é inquestionável, ressalta-se a observação de uma função chave, no projeto de um sistema industrial sustentável, que consiste no desenvolvimento e trabalho em ciclos de existência de materiais, operando cada empresa como um elo de uma cadeia.

Na implantação de sistemas do gênero, inúmeros são os fatores a serem considerados visando o sucesso do sistema. Alguns autores enfatizam a proximidade geográfica, em função dos custos de transportes, outros argumentam sobre relações bastante fortes entre os executores das empresas envolvidas. No caso estudado destaca-se a grande influência de uma “*distancia mental curta*” entre os diferentes setores, ou seja, está presente a influência de uma cultura mais desenvolvida, mais aberta e mais receptiva a iniciativas do gênero.

Como principal resultado deste estudo de caso, ressalta-se que a compreensão dos dados compilados, sua interpretação no tocante à gestão ambiental, e o aprendizado específico, em desenvolver idéias vencedoras, que permitem criar empresas competitivas, e ambientalmente corretas.

Enfatiza-se a possibilidade de se empregar no Brasil modelos similares, que permitam a incubação de empresas competitivas, praticantes de técnicas de gestão e ética ambiental.

Sob o ponto de vista acadêmico, procura-se despertar a atenção, no que se refere às trilhas percorridas por países de economias mais fortes e estáveis, inda descobrindo verdadeiras oportunidades de negócios, ao mesmo tempo em que preservam o meio ambiente.

Referências Bibliográficas

ALLENBY, B.R., COOPER, W.E. *Understanding Industrial Ecology from a Biological Systems Perspective*, Total Quality Environmental Management, Vol.3 N° 3, 1994, p 343-354.

EHRENFELD, J.R. *Industrial Ecology: a Framework for Product and Process Design*, J. Clean Production, Vol. 5, N° 1-2, p 87-85, 1997.

BURSTRÖM, F. *Environment and Municipalities – Towards a Theory on Municipal Environment Management*, Royal Institute of Technology, Division of Industrial Ecology, Stockholm, Sep. 2000.

GRAEDEL, T.E., ALLENBY, B.R. *Industrial Ecology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995.

BERNARDINI, O., GALLI, R. *Dematerialization: Long-term Trends in the Intensity of the Use of Materials and Energy*, Futures, p 431-448, 1993.

CLEVELAND, C.J., RUTH, M. *Indicators of Dematerialization and the Materials Intensity of Use*, Journal of Industrial Ecology, vol. 2, N° 3, p 15-50, 1998.

NEMEROV, N.L. *Zero Pollution for Industry Waste Minimization through Industrial Complexes*, New York, John Wiley & Sons, 1995.

Agradecimentos

Ao Gruppo Minerali s.p.a nas pessoas de: Sr. Paolo Danasino, que gentilmente possibilitou a visita às instalações da S.I.P.I. e Sr. Aldo Roatta que forneceu informações sobre o projeto.