

IMPERMEABILIZAÇÃO PARA PROTEÇÃO DO PÁTIO DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SIDERÚRGICOS DA GERDAU SIDERÚRGICA DIVINÓPOLIS

Humberto de Mendonça Campos¹, Jussara Cristina Gonçalves¹, Gercino Eustáquio Tavares²

¹Engenheiro Civil Sanitarista da Engesolo Engenharia S/A

²Bacharel em Marketing pela ESPM-SP, VIAPOL-MG

RESUMO

O pátio de resíduos da Gerdau Divinópolis, objeto deste trabalho, ocupa uma área aproximada de 6,0 ha, localizada em propriedade rural fora do perímetro urbano de Divinópolis, na sub-bacia do córrego Paiol, tributário do rio Itapecerica. Foi projetado para uma vida útil de 12 anos e 10 meses, com uma capacidade total de cerca de 750.000 m³, equivalente a 1.300.000 t de material. Os resíduos são constituídos basicamente de escória fina e granulada de altos-fornos, escória fina e granulada de aciaria, tortas dos lavadores de gases e carepas de lingotamento e laminação.

INTRODUÇÃO

O atual sistema de disposição de resíduos da Gerdau-Divinópolis caracteriza-se pela sua aleatoriedade. Originário de um período em que não havia no País preocupações ambientais e nem tampouco a legislação correspondente, o sistema constituiu-se de seis áreas localizadas na malha urbana de Divinópolis, escolhidas em função do atendimento às solicitações da comunidade e do poder público local. Adequando-se ao novo contexto de conscientização ambiental das empresas e da comunidade, no qual se insere a Gerdau-Divinópolis, e de acordo com os compromissos assumidos dentro do plano de expansão da empresa, os atuais locais de disposição foram objeto de projetos específicos de recuperação, propiciando o seu adequado encerramento e recomposição final. Em linhas gerais, o projeto contemplou as seguintes fases:

- Avaliação qualitativa e quantitativa dos resíduos a serem dispostos;
- Seleção da área, considerando-se localização, topografia, acessos, aspectos ambientais e tendências de ocupação;

- Diagnóstico ambiental da área selecionada;
- Estudos geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos;
- Estudos específicos dos métodos construtivos e de disposição;
- Avaliação técnico-econômica dos sistemas de impermeabilização mais adequados à área;
- Avaliação dos impactos e riscos ambientais decorrentes e proposição de medidas mitigadoras;
- Programa de monitoramento.

CARACTERÍSTICAS DO PÁTIO

Caracterização dos resíduos gerados

A tabela 1 sintetiza as características dos resíduos gerados, indicando os volumes relativos com previsão a serem dispostos no pátio.

Os ensaios de lixiviação caracterizaram os resíduos como não-perigosos e não-tóxicos, em função das concentrações desprezíveis de fluoretos e metais (As, Cd, Pb, Cr, Ag, Se) e não inflamabilidade e corrosividade. Nos testes de solubilização os resíduos foram classificados como não inertes, uma vez que as concentrações de alguns parâmetros (fenóis, surfactantes, Ferro e Alumínio) se apresentaram superiores ao limite máximo admitido.

Tabela I – Caracterização dos resíduos

ORIGEM	RESÍDUO	QUANTIDADE RELATIVA (t/mês)		
		Produção 600.000 t/ano de Aço		
		Gerada	Reciclada	Aterro*
Alto Forno	Pó seco do gás	600 (2,8%)	180	420 (5,1%)
	Torta de Alto Forno	760 (3,5%)	660	100 (1,2%)
	Finos de minério	1.740 (8,0%)	1.740	---
	Escória	4.000 (18,4%)	---	2.000 (24,4%)
Aciaria	Escória	9.800 (45,1%)	---	4.000 (60,0%)
	Torta de aciaria	1.550 (7,1%)	775	775 (9,5%)
Lingotamento	Carepa	460 (2,1%)	460	---
Laminação a quente	Carepa	1.090 (5,0%)	1.090	---
TOTAIS MÊS		21.740 (100,0%)	6.645	8.195 (37,7%)

*previsão para início de 1996

Diagnóstico da área selecionada Geologia

A região relaciona-se a rochas pre-cambrianas, provavelmente arqueanas, incluídas na chamada Série Barbacena. Em Divinópolis são encontradas duas seqüências litológicas, correlacionáveis ou consideradas a um mesmo ciclo geológico:

- Migmatitos de paleossoma básico ou gnáissico, associados a gnisses, metabasitos e rochas gabróides.
- Rochas migmatíticas graníticas granodioríticas, em parte gnaissificadas.

Tais seqüências emprestam à região características morfológicas típicas de terrenos graníticos, com inúmeras elevações em forma de "meias-laranjas", muitas vezes desnudas, expondo maciços são e muito pouco fraturados. A coluna estratigráfica inclui o substrato arqueano muito antigo, representado por gnisses e migmatitos, sobre os quais são encontrados aluviões relacionados à drenagem atual, representando sedimentação quaternária que se estende aos dias atuais.

Recursos hídricos/qualidade das águas

A sub-bacia do córrego Paiol drena 18km², sendo que no local do pátio, a área de drenagem é da ordem de 14 km². Objetivando a caracterização da qualidade das águas superficiais na área, anteriormente à implantação do pátio, além da obtenção de subsídios para a verificação de futuras alterações decorrentes da sua implantação, foram empreendidas campanhas de monitoramento em três pontos distintos, quais sejam:

- Ponto 1 – localizado no filete d'água que drena para o córrego Paiol, originário no ponto de surgência do lençol freático;
- Pontos 2 e 3 - localizados no córrego Paiol, a montante e a jusante da área do pátio.

Os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas foram confrontados com limites recomendados para a Classe II, de acordo com a legislação vigente. Os três pontos apresentaram contaminação de coliformes.

Hidrogeologia

A área do novo pátio é constituída de migmatitos recobertos por um manto de decomposição de espessura variável, de composição silto-argilosa, com permeabilidade da ordem de 10⁻⁷ m/s.

O aquífero existente no manto é do tipo poroso, livre, tendo como limite inferior o contato com migmatito são, que se comporta como um nível impermeável. As drenagens subterrâneas regional e local são congruentes com as drenagens superficiais. Isto equivale a dizer que os limites das bacias e sub-bacias superficiais são praticamente os mesmos dos aquíferos. Assim as zonas de recarga, circulação e descarga de águas subterrâneas de cada sub-bacia são delimitadas topograficamente pelos divisores de águas superficiais.

No local, toda a água subterrânea provém de infiltração de água pluvial que cai dentro dos seus limites. A descarga destas águas é feita para o córrego

Paiol, sub-superficialmente ou através de surgências nas partes mais baixas do vale.

Este modelo hidrogeológico, aliado à natureza silto-argilosa do manto de decomposição, sugere que o volume de água subterrânea que ocorre no aquífero local não é significativo, não havendo interferências de aquíferos regionais sobre as águas da área do novo pátio.

ESTUDOS AMBIENTAIS

Os impactos decorrentes da implantação e operação do novo pátio foram identificados e avaliados qualitativamente, em função das reduzidas dimensões da área e do número restrito de elementos potencialmente impactantes. O Quadro abaixo mostra a correlação entre as principais atividades desenvolvidas durante as fases de implantação e operação do aterro e o meio sobre o qual são gerados os impactos, objetivando sua identificação sob um contexto geral e posterior proposição de medidas mitigadoras.

Tabela II – Identificação preliminar dos impactos

FATORES AMBIENTAIS	Fases												
	Implantação							Operação					
	Limpeza da área	Mov. de terra	Abertura de acessos	Exec. da drenagem	Tráfego de veículos	Bota-fora	Exec. de Imperm.	Disp. dos resíduos	Traf. de veículos	Empres-timo	Ajuste de PH	Geração de emprego	Comuni-cação social
AR		X	X		X	X		X	X				
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS				X			X	X					
ÁGUAS SUPERFICIAIS		X		X		X	X	X		X	X		
SOLO	X	X	X				X	X		X			
FAUNA	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		
FLORA	X	X	X			X	X	X		X			
MEIO SÓCIO ECONÓMICO			X		X	X	X	X	X		X	X	X

CONCEPÇÃO DE ENGENHARIA DO PÁTIO

O pátio, do tipo Aterro Industrial Classe I, foi projetado para uma vida útil de 12 anos e 10 meses (1.300.000 t ou 750.000 m³) em três etapas. Na primeira, o pátio deverá atingir a cota 670. Na segunda fase, o aterro deverá atingir a cota 685 e na terceira, a cota 700. Entre a crista de um talude e o início de outro, foi projetado uma berma com 3m de largura, onde serão executadas canaletas de drenagem. O talude médio do aterro industrial é de 1,65H:1V e nos cortes de 0,67H:1V. As águas percolantes são captadas pelo dreno de talvegue, que finaliza em um dique de pé. A água contaminada é então encaminhada ao sistema de tratamento de efluentes líquidos, que consiste na neutralização do pH em uma lagoa localizada a jusante do dique, para posterior lançamento no córrego Paiol. A fim de garantir um efluente compatível com os parâmetros da Classe II (Resolução CONAMA n° 20,

1986) e também verificar a eficiência do sistema de impermeabilização do pátio, foi previsto um sistema de monitoramento com amostragens mensais em três pontos de coleta autônomos, ou seja, para águas superficiais, subterrâneas e efluente das lagoas.

Investigações geotécnicas

Objetivando a obtenção de subsídios para a elaboração do projeto de terraplenagem e revestimento primário da estrada de acesso interno, além da avaliação do terreno de fundação do pátio, foram realizadas oito sondagens à percussão, com ensaios de infiltração para determinação da impermeabilidade *in situ*, além da coleta de amostras deformadas para a realização de ensaios de caracterização física e mecânica. Os estudos revelaram a presença de argilas areno-siltosas e siltes areno-argilosos com boa capacidade de suporte (ISC=11%), permeabilidade média da ordem de 10⁻⁷ m/s,

LL=59 e IP=23. O nível d'água foi alcançado a uma profundidade mínima de 6,5m.

Projeto de drenagem e tratamento das águas

Deverá ser executado nas seguintes etapas:

- Implantação: abaixo do nível 670m;
- Operação: níveis 670m a 685m e 685m a 700m;
- Encerramento: nível 700m

A etapa de implantação compreende a execução de sarjetas localizadas nas bordas do aterro do dique de pé, responsáveis pela captação das águas provenientes do aterro, conduzindo o fluxo para uma caixa coletora e daí para a lagoa. Nesta etapa serão executadas todas as valetas de proteção, que conduzirão as águas de chuva para o talvegue a jusante da área do pátio. Será também executada a drenagem da estrada de acesso ao pátio interno, através de sarjetas ao longo das pistas.

Na etapa de operação deverão ser executadas as canaletas nas bermas do talude de escórias, afastadas dois metros da linha do off-set, com declividade de 0,5% do eixo para as extremidades, lançando seu fluxo nas valetas de proteção.

Na etapa de encerramento deverá ser executada a canaleta de platô sobre selo de argila, que conduzirá o fluxo coletado para as valetas de proteção.

As águas percoladas pelo corpo do aterro são coletadas e encaminhadas de forma estanque à lagoa de neutralização de pH, através de um dreno de talvegue composto de brita nº 4 envolto em manta Bidim OP-30, que finaliza no dique de pé, executado em pedra de mão. O dreno e o dique foram construídos sobre terreno previamente impermeabilizado. Garantida a impermeabilização em toda a cabeceira do talvegue, não haverá contribuição para o lençol freático.

A neutralização do pH das águas percoladas, na faixa de 10 a 12, será feita através da adição de solução de ácido sulfúrico, armazenada em tanque de fibra de vidro de 3.000 l, em uma caixa que receberá as águas percoladas, utilizando-se para tal um dosador de nível constante. Após um tempo de contato mínimo de 12h (período chuvoso) o efluente neutralizado será lançado no córrego Paiol. Em função dos dados obtidos pelo sistema de monitoramento, eventual tratamento subsequente poderá vir a ser necessário para o enquadramento do efluente da lagoa na Classe II.

Projeto de impermeabilização

Os trabalhos de impermeabilização serão desenvolvidos durante as três fases do projeto. Nas fases de implantação (já finalizada) e operação, prevê-se a impermeabilização de toda a área a ser aterrada (inclusive drenos de talvegue), utilizando-se para tanto a manta asfáltica com espessura de 2mm, constituída por asfalto modificado com polímeros de APP (polipropileno atático) e estruturada com véu de fibra de vidro (VIAPOL GLASS 2). Até março de 1995 foram aplicados aproximadamente 8.000m². Na impermeabilização da base do dique de pé e da lagoa de neutralização utilizou-se manta de 4mm (TORODIN HYDROS 4), com herbicida função anti-raiz incorporado à massa alfáltica, estruturada em não tecido de filamentos contínuos de poliéster. A manta de 2mm atende às condições de NBR-9952 como manta Classe I e a manta de 4mm como manta Classe III. Ambas são aplicadas diretamente sobre o solo limpo, soldadas com maçarico de GLP com sobreposição de 10cm. A fixação é feita em trincheiras de 20x50cm, com posterior compactação com terra ou solo-cimento.

Para a fase de encerramento do pátio, prevê-se a impermeabilização da plataforma superior (cota 700m) com selo de argila de 0,30m de espessura, permeabilidade mínima de 10⁻⁹m/s. Sobre as camadas de argila prevê-se uma camada de terra orgânica e cobertura vegetal constituída basicamente de gramíneas, visando a proteção do selo contra o ressecamento excessivo, evitando-se o trincamento da argila. A plataforma deverá ser regularizada e conformada longitudinal e transversalmente, de acordo com o projeto, de modo a ser obter os caimentos (0,50%) em direção à canaleta de drenagem a ser implantada.

PLANO DE MONITORAMENTO

Águas superficiais e subterrâneas

O monitoramento das águas superficiais e subterrâneas constitui-se em instrumento indispensável de verificação da eficácia da impermeabilização e drenagem a médio e longo prazo, com especial atenção para quaisquer alterações nos padrões de qualidade físico-químicos e bacteriológicos das águas.

Em função das características da composição dos resíduos a serem dispostos no pátio, os parâmetros físico-químicos de interesse do monitoramento são:

- Águas superficiais: cor, turbidez, condutividade, pH, temperatura do ar e água, sólidos totais dissolvidos e suspensos, alcalinidade, dureza total,

OD, nitrogênio amoniacal, nitroso e nítrico, fenóis, óleos e graxas, cloretos, sulfatos, fluoretos, cianetos, ferro solúvel, manganês, sílica, cálcio, alumínio, chumbo, zinco, potássio, sódio e cromo total. amostragem mensal nos pontos PA-02 e PA-03 no período chuvoso. No período seco, coleta bimensal no ponto PA-03. (Desenho 1)

- Águas subterrâneas: cor, turbidez, condutividade, pH, temperatura do ar e água, sólidos totais dissolvidos e suspensos, dureza total, OD, DQO, nitrogênio amoniacal, nitroso e nítrico, óleos e graxas, fosfato total, cloretos, sulfatos, fluoretos, cianetos, ferro solúvel, manganês, sílica, cálcio, alumínio, chumbo, zinco e cromo total. Amostragem mensal nos pontos PA-02 e PA-03 no período chuvoso. No período seco, coleta bimensal no ponto PA-03.

Da mesma maneira, prevê-se o monitoramento dos resíduos gerados para o acompanhamento da evolução ou possíveis alterações das propriedades físico-químicas dos resíduos gerados, em função de modificações no processo industrial e de utilização de matérias primas, equipamentos e sistemas, permitindo à empresa a correta classificação de seus resíduos em função da legislação.

Os parâmetros inicialmente indicados para monitoramento são:

- Lixiviação: cromo, chumbo, fluoreto e ferro;
- Solubilização: dureza total, fluoretos, cianetos, chumbo, ferro, manganês, cromo, nitrato, alumínio, sulfatos e fenóis.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam agradecimentos a Gerdau Divinópolis e à Engesolo Engenharia, por possibilitarem a divulgação deste trabalho, e às empresas Lamar Engenharia, Promoiimper Impermeabilizações e Viapol Impermeabilizantes pelo apoio durante as visitas à área.

Este trabalho é dedicado à memória do Geólogo *Nelson Portilho*, um dos pioneiros estudiosos da geologia ambiental, entre nós.

BIBLIOGRAFIA

Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, Rio de Janeiro. Mantas Asfálticas com

Armadura para Impermeabilização. NBR 9952. Rio de Janeiro, ABNT, 1987.

CETESB. Resíduos Sólidos Industriais; Manual Técnico. São Paulo, CETESB, 1985.

Davis, M.L., & Cornwell, D., A. Inroduction to Environmental Engineering. 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill, 1991. 822p.

Engesolo Engenharia S/A. Projeto Executivo do Pátio de Disposição Final de Resíduos Sólidos da CSBM em João Monlevade. Belo Horizonte, ENGESOLO, 1992.

Engesolo Engenharia S/A. Projeto Executivo do Pátio de Disposição Final de Resíduos Sólidos da Gerdau Divinópolis. Belo Horizonte, Engesolo, 1993.

Environmental Protection Agency. Ground Water and Wellhead Protection. Handbook. EPA / 625 / R-94/001,1994.268p.

Simpósio Brasileiro de Impermeabilização, 8, 1993, São Paulo, Anais ... São Paulo, IBI, 1993.

Tchobanoglos, G., Theisen, H., & Vigil., S. Integrated Solid Waste Manegement; Engineering Principles and Management Issues. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1993.978p.