

ESTUDO DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E MODELAGEM DE NEGÓCIOS PARA APLICAÇÃO DE REJEITO DA MINERAÇÃO DE FERRO¹

Fabrizio Agostino Bontempo²

Alessandra da Cunha Peixoto³

Edsmar Carvalho Resende⁴

Resumo

Este trabalho teve como objetivo propor uma modelagem (técnica e de negócios) de três oportunidades utilizando tecnologias conhecidas e em desenvolvimento para reaproveitamento de rejeito do beneficiamento de minério de ferro em outros mercados. No estudo das alternativas tecnológicas focou-se os trabalhos em três etapas: identificação das práticas, processos e tecnologias existentes e em desenvolvimento, análise e seleção das práticas e a modelagem do negócio. Os resultados obtidos até o momento demonstram que existem diversas iniciativas de desenvolvimento de produtos utilizando como matéria prima o rejeito de minério de ferro. Entretanto, em boa parte dos casos é necessário aprofundar não só os estudos técnicos, mas, sobretudo os mercadológicos para aplicação dos rejeitos específicos. Numa avaliação de riscos e oportunidades, encontrou-se como principais opções para utilização dos rejeitos analisados, a confecção de blocos para pavimentação, blocos de alvenaria e cerâmica; onde a escala foi um fator preponderante para a análise de custo-benefício.

Palavras-chave: Reaproveitamento; Rejeito; Minério de ferro; Modelo de negócios.

TECHNICAL OPPORTUNITIES STUDY AND BUSINESS MODELING FOR APPLICATION IN IRON ORE TAILINGS

Abstract

This work aimed to propose a model (technical and business) to find three opportunities to use known technologies and in developing ones for application of tailings from iron ore beneficiation in other markets. The study of alternative technologies were focused in three steps: identification of practices, processes and technologies existed and in developing, testing and selection of the practices and business modeling. The results obtained so far show that there are several initiatives to develop products using tailings as raw material, but in most cases it is necessary to deepen in technical studies and knowledge about the market behavior especially for application of this specific kind of tailings. Considering opportunities and risks, it was possible to get interesting applications for paving blocks, brickwork blocks and ceramics, where the scale was a major factor in the cost-benefit analysis.

Keywords: Reuse, tailing, iron ore, business modeling

¹ *Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Engº de Minas, Gerente de Desenvolvimento Tecnológico, MMX Mineração e Metálicos S/A. Belo Horizonte, MG, Brasil.*

³ *Cientista Social, Gerente de Sustentabilidade, MMX Mineração e Metálicos S/A. Belo Horizonte, MG, Brasil.*

⁴ *Advogado, Especialista em Sustentabilidade, MMX Minerações e Metálicos S/A. Belo Horizonte, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O desafio de se manter o crescimento das atividades minerárias em sintonia com diretrizes de desenvolvimento sustentável traz associado diversas oportunidades de melhoria do desempenho econômico e ambiental do seu processo. Tais melhorias se dão por desenvolvimento de inovações, que podem contribuir tanto para uma redução de custo, quanto para um aumento de receitas associadas a melhor gestão socioambiental.

Além dos investimentos em estudos para minimizar o volume de estéreis e rejeitos gerados e de alternativas de disposição dos mesmos, a MMX se dedica há três anos também a pesquisas de aproveitamento do material gerado em sinergia com processos de outras cadeias produtivas. A empresa busca alternativas que gerem oportunidades de valor agregado, considerando o ponto de vista ambiental, econômico e social.

Recebendo, ao longo dos dois primeiros anos de pesquisa, soluções propositivas de diversos pesquisadores para o aproveitamento dos rejeitos/estéreis em processos de outras cadeias produtivas – especialmente da construção civil – a MMX avaliou que, embora tecnicamente algumas propostas estivessem avançadas, as análises de riscos ambientais, sociais, econômicos e financeiros associados à aplicação de rejeitos em mercados alternativos eram ainda muito preliminares, quando não eram inexistentes.

Assim, em 2012, a MMX associou-se a uma empresa de investigação e pesquisa em ecotecnologias – Verti – para a condução de um estudo estruturado de Alternativas Tecnológicas e Modelagem de Negócios para Reaproveitamento do Rejeito de Minério de Ferro.

Entende-se como rejeito o produto do processamento do minério de ferro que, a princípio, não possui aproveitamento econômico. Em outras palavras, este material não possui teor de ferro que o transforme em um produto comercializável. O rejeito analisado em questão é produto de uma rota de beneficiamento de Itabirito compactos e friáveis da região de Serra Azul conforme fluxograma apresentado na Figura 1. Utiliza-se de processos de cominuição tais como moagem Semi-Autógena (SAG), moagem tradicional de bolas e remoagem através de moinhos verticais. A classificação é feita por hidrociclone e há uma etapa de deslamagem posterior à moagem de bolas. Existem duas fases de concentração, sendo uma pré-concentração utilizando células tanque de flotação e uma concentração final via flotação em colunas. Desta forma, geram-se três tipos de rejeitos com características químicas e granulométricas distintas que podem ser observadas através da Tabela 1.

Tabela 1. Análise Química e Granulométrica

Partição	Fluxo	Composição Química (%)			Granulometria (% retida acumulada)							
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	44µm	38µm	32µm	14µm	7µm	4µm	1,7µm	Fundo
56%	Rejeito Pré Concentração	6,9	89,5	0,62	10,4	21,9	30,9	66,2	86,9	93,4	96,1	100
15%	Lama	39,0	32,7	6,86				1,3	13,1	29,8	64,8	100
29%	Rejeito Coluna	13,7	79,0	0,59	16,0	23,5	32,2	70,0	86,8	91,7	95,8	100
100%	Rejeito Composto	13,5	79,8	0,37	11,3	19,6	27,3	59,0	76,9	84,1	91,8	100

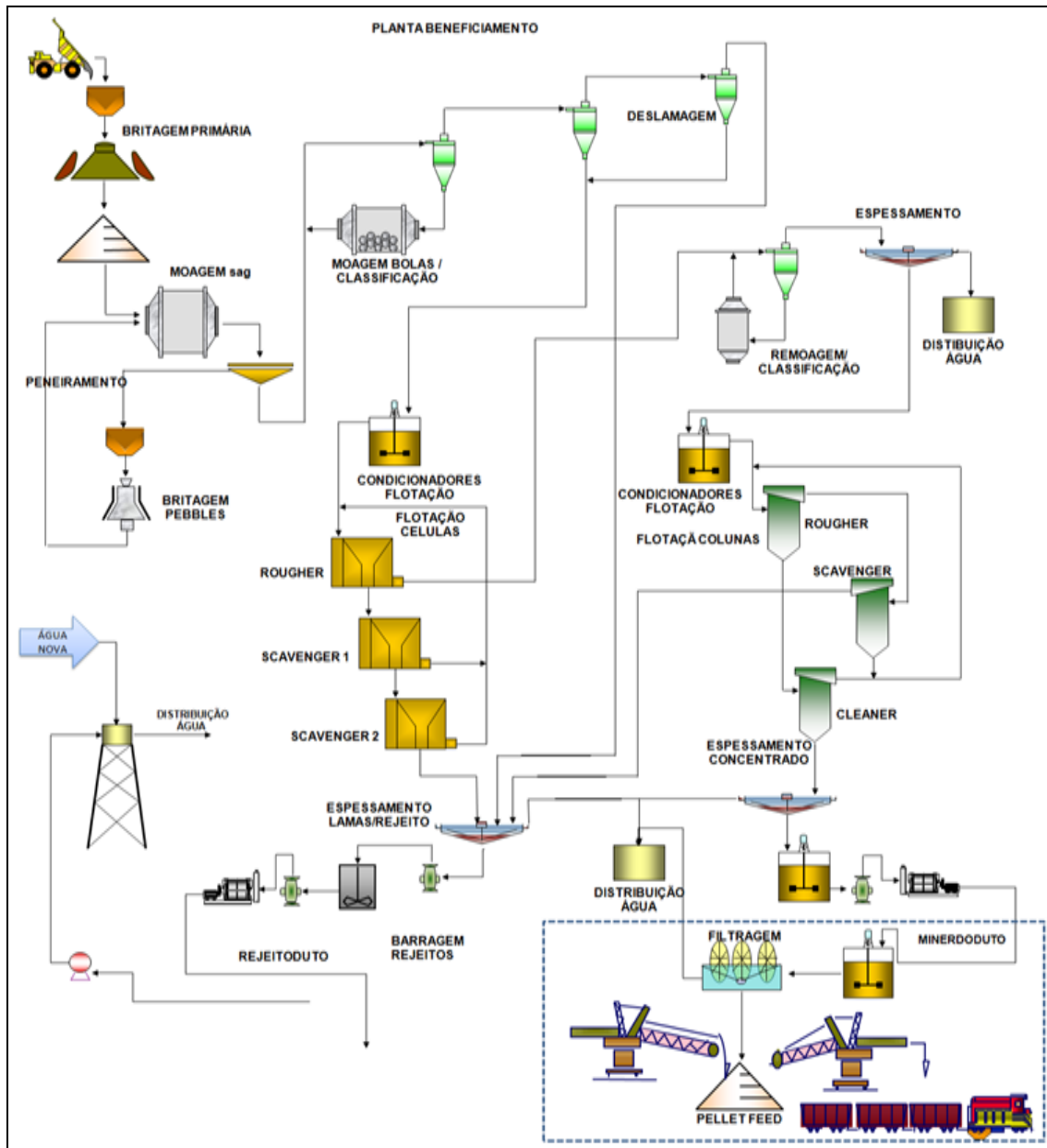


Figura 1. Rota de Processo

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo das alternativas tecnológicas foi dividido em seis etapas, de acordo com a Figura 2. O trabalho começou em Agosto de 2012 e encontra-se atualmente na Etapa 3.



Figura 2. Visão geral da metodologia de trabalho.

2.1 Síntese das Etapas Realizadas

2.1.1 Etapa 1: Identificação das alternativas

Inicialmente, foi feita uma identificação do rol de iniciativas relativas ao aproveitamento de rejeitos já existentes, sendo estas organizadas de forma a facilitar a aplicabilidade, entendimento e análises comparativas posteriores.⁽¹⁻⁴⁾

Em seguida, foi feita uma pesquisa bibliográfica em anais de congressos, artigos técnicos, artigos científicos, bancos de patentes nacionais e internacionais, soluções oferecidas por pesquisadores à MMX, além de entrevistas com especialistas e empresas diretamente envolvidos com o tema.

Identificadas as patentes, complementou-se o levantamento com ações que outras empresas do setor tenham declarado sobre atividades para reaproveitamento de rejeito de mineração.

2.1.2 Etapa 2: Análise e Seleção das Práticas

Nesta fase, foi feita uma comparação qualitativa das oportunidades e riscos identificados seguindo as definições e critérios abaixo e das Tabela 2 e 3.

- **Oportunidades:**

- Maturidade da tecnologia: pontuadas em escala de 0 a 3, variando entre as tecnologias com poucos testes de conceito em laboratório e as que já estão em etapa comercial;
- Significância de volume de rejeito potencialmente utilizado: pontuadas em escala de 0 a 3, variando entre as oportunidades com baixo potencial de uso de rejeito associado a um baixo volume de produtos comercializados no mercado e as aplicações que consomem muito rejeito e com grande demanda pelo mercado; e
- Benefícios sócio-ambientais (externalidades positivas): pontuadas em escala de 0 a 3, variando entre oportunidades que não apresentam outro benefício além do consumo de rejeito e tecnologias que produzam efeitos externos positivos tanto social quanto ambiental.

Tabela 2. Oportunidades: critérios e notas⁽⁵⁾

Maturidade	Significância de Volume de Rejeito	Benefícios Sócios Ambientais
Teste das propriedades em laboratório (0)	Baixo volume no mercado brasileiro e baixo percentual de rejeito utilizado no produto (0)	Nenhum - Apenas consome rejeito da barragem (0)
Pesquisa aplicada em bancada (testes de corpo de prova) (1)	Alto volume no mercado brasileiro e baixo percentual de rejeito utilizado no produto (1)	Ambiental - ex.: consome outros resíduos (1,5)
Pesquisa aplicada junto com um parceiro (1,5)	Baixo volume no mercado brasileiro e alto percentual de rejeito utilizado no produto (2)	Social - ex.: possibilidade de desenvolver uma cadeia de fornecedores (1,5)
Piloto com bons resultados (2)	Alto volume no mercado brasileiro e alto percentual de rejeito utilizado no produto (3)	Social e Ambiental (3)
Piloto realizado junto com parceiro (2,5)		
Comercial (3)		

- **Riscos:**

- Complexidade percebida para entrada no mercado: pontuadas em escala de 0 a 3, variando entre as tecnologias que não apresentavam barreiras significativas para entrada no mercado e aquelas nas quais foram identificadas barreiras de regulação, performance e resistência à inovação;
- Valor de investimento: pontuadas em escala de 0 a 3, variando entre oportunidades cujo rejeito não precisa de equipamentos para processamento e aquelas cujo processamento é complexo, com várias operações unitárias; e
- Necessidade de pré-tratamento: pontuadas em escala de 0 a 3 variando entre oportunidades que precisam ou não de pré-tratamento.

As notas dos critérios de oportunidades foram somadas para cada tecnologia e plotadas ao longo do eixo y de um gráfico. As notas de critérios de risco foram somadas para cada tecnologia e plotadas ao longo do eixo x de um gráfico, de forma que pares de risco e oportunidades pudessem ser comparada entre as tecnologias.

Tabela 3. Riscos: critérios e notas⁽⁵⁾

Complexidade de Entrada no Mercado*	Valor de Investimento	Necessidade de Pré-tratamento
Nenhuma barreira (0)	Não necessita de um processo (-0)	Classificação granulométrica (0)
Uma barreira (-1)	Processo simples - ex.: mistura ou moagem (-1)	Padronização granulométrica (moagem ou mistura para adição de componente) (-1)
Duas barreiras (-2)	Processo médio - ex.: secagem ou queima (-2)	Secagem (valores de umidade <5%) (-2)
Três barreiras (-3)	Processo complexo - ex.: envolve várias etapas e que exigem monitoramento (-3)	Extração de ferro (teor <1%) (-3)

* barreiras consideradas: regulação, performance (qualidade do produto) e resistência à inovação

2.1.3 Etapa 3: Modelagem de Negócios

O estudo das oportunidades considerou as características das tecnologias/produtos/processos, a cadeia de valor e as relações entre os agentes de mercado, demandas de investimento, custos de operação e oportunidades de captura de mercado para cada modelo, entre outros.

Além disso, foi realizado um workshop para construção colaborativa de modelos de negócios, utilizando a metodologia Canvas.⁽⁶⁾ Participaram representantes das áreas de Sustentabilidade, Meio Ambiente, Desenvolvimento Tecnológico, Projetos, Engenharia e Manutenção da MMX, além de convidados externos, relacionados à cadeia produtiva da construção civil, como grandes construtoras do estado além de órgãos públicos reguladores do setor. Três estudos para modelagens já foram concluídos e os demais estão em andamento.

3 RESULTADOS

Foram identificadas as oportunidades e diversos artigos e patentes relevantes para avaliar potenciais de aplicação de rejeitos de minério de ferro (Tabela 4).

Tabela 4. Oportunidades identificadas para uso de rejeito⁵⁾

Oportunidade	Publicações Relevantes Mapeadas	Patentes Relevantes Mapeadas
Argamassa	18	-
Cerâmica	7	-
Vidros	8	-
Pavimentação (base e sub-base)	16	-
Tintas e Corantes	3	-
Pedra Composta	1	-
Madeira Plástica	1	2
Nanoestruturas	1	-
Suporte poroso de sílica	1	1
Pneu Verde	5	2

Na sequência, foi realizado um processo de análise das alternativas utilizando-se a metodologia e critérios definidos no Item 2.1.2, o resultado é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Análise de riscos e oportunidades⁽⁵⁾

Produto	Oportunidades		Benefícios sócio-ambientais	Eixo Y	Riscos		Necessidade pré-tratamento	Eixo X
	Maturidade	Significância			Complexidade	Valor investimento		
Bloco Pavimentação	3	3	0	6	1	1	1	3
Bloco Alvenaria	1	3	0	4	3	1	1	5
Artefato comum	1	3	0	4	2	1	1	4
Artefato Saneamento	0	3	0	3	2	1	1	4
Concreto	0	3	0	3	3	1	1	5
Cerâmica	1	1	1,5	3,5	3	2	1	6
Vidros	1	0	0	1	3	3	3	9
Pavimentação	2	2	0	4	1	1	0	2
Pedra composta	3	0	1,5	4,5	1	2	2	5
Madeira Plástica	1,5	0	1,5	3	2	2	2	6
Corantes e aditivos	1	0	0	1	3	3	2	8
Areia	1	2	1,5	4,5	2	0	1	3
Argila	1	2	1,5	4,5	2	0	1	3

A construção do gráfico da Figura 3 foi útil para entender melhor o posicionamento das oportunidades e dos riscos.

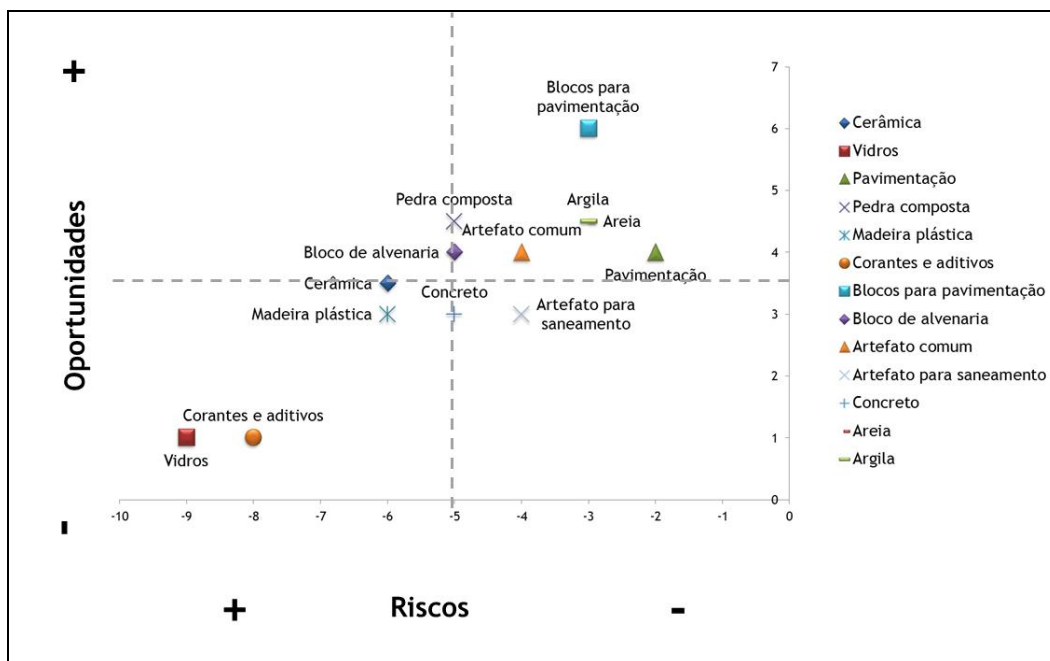


Figura 3. Gráfico comparativo entre as oportunidades identificadas.⁽⁵⁾

A Tabela 6 mostra a capacidade de demanda dos três principais produtos em um período de um ano e a quantidade de rejeitos envolvidos. Estes produtos totalizam 83,5% da total demanda de mercado pesquisada. Considerou-se para efeito de simulação a possibilidade de entrada e captação de 3% deste mercado.

Tabela 6. Principais utilizações dos Rejeitos

Produto	Produtos no Mercado Brasileiro (t/ano)	Uso de Rejeito (%)	Uso de Rejeito (t/ano)	Distribuição (%)
Argamassa	56.579.187	85	48.092.309	63
Pavimentação	18.620.000	100	18.620.000	24
Cerâmica	50.384.299	20	10.076.860	13
TOTAL	125.583.486	-	76.789.169	100
Geração de Rejeito Projeto Serra Azul			33.000.000 t/ano b.s.	
Cenário de Captação de 3% do mercado brasileiro				
	↓			
Rejeito	2.303.675 t/ano b.s.	ou	770.459 m³/ano	
Capacidade da Barragem		330.000.000 t		
Vida útil estimada		10 anos		
Vida útil com aproveitamento de rejeito		11 anos		

4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos até o momento demonstram que existem diversas iniciativas de desenvolvimento de produtos utilizando como matéria prima o rejeito de minério de ferro, mas que, em todos os casos, é necessário aprofundar não só os estudos técnicos, mas, sobretudo os mercadológicos para aplicação dos rejeitos específicos.

Outro ponto de destaque é que a relativa heterogeneidade da matéria prima (rejeito) leva também a formação de produtos não homogêneos, que, conseqüentemente, leva a redução da eficácia de controles de qualidade para fabricação dos produtos ou aplicações. Em alguns casos, isso pode reduzir o valor percebido dos produtos no mercado, aumentando o risco de entrada e operação. A heterogeneidade resultante da disposição do material em barragem é outro desafio a ser equacionado e que está diretamente relacionado à discussão de outras possíveis formas de disposição do material ou de coletas do mesmo anterior ao ponto de lançamento.

5 CONCLUSÃO

Considerando-se como pesos maiores na tomada de decisão econômico-financeira as características de significância do volume empregado e a necessidade ou não de pré-tratamento, conclui-se que a melhor aplicabilidade do rejeito de minério de ferro seria argamassa, pavimentação e cerâmica.

Na primeira alternativa, podem ser aplicados até 85% de rejeitos com bons resultados, tendo como opção a fabricação de diversos tipos de produtos como, por exemplo, blocos de pavimentação e blocos de alvenaria. O aumento nos teores de ferro no rejeito leva à perda de resistência a compressão do produto.

Na pavimentação, o rejeito da mineração de ferro pode ser utilizado nas camadas de base, sub-base e reforço de subleito em pavimentos, sendo possível utilizar 100% do rejeito. Os teores de Fe/SiO₂ não são os mais importantes para essa aplicação.

A tecnologia Cerâmica é a aplicação que demanda granulometria mais próxima da apresentada pelo rejeito da MMX. Os melhores resultados foram obtidos com a participação de até 20% do rejeito global no produto cerâmico global.

A análise de separação de rejeitos pode ser estudada em um segundo momento, uma vez que o maior objetivo é a utilização total dos rejeitos gerados e não sua segregação.

Ainda que os estudos de mercado estejam em fase preliminar, pode-se concluir que aspectos relativos a impactos positivos e negativos da interrelação com outras cadeias produtivas, aspectos logísticos, de formação de custos de produtos, certificações necessárias à comercialização de novos produtos, necessidade de arranjos produtivos regionais, marcos regulatórios são de relevância para a determinação da viabilidade ou não da aplicação alternativa do rejeito da mineração de ferro.

REFERÊNCIAS

- 1 ARISTIMUNHO, P.B., BERTOCINI, S. R. Aplicação de lama de minério de ferro em forma de pó na presença de cimento portland. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais. Vol. 5, p. 153-165, 2012.
- 2 LI, C.; SUN H.; YI Z.; LI L.; Innovative methodology for comprehensive utilization of iron ore tailings Part 2. 2010.
- 3 CHAVES, L. F. M., Estudo da adição de resíduo proveniente da extração de minério de ferro em argilas do Rio Grande do Norte. 2009.
- 4 PEREIRA, O. C, BERNARDIN, A.M. Ceramic colorant from untreated iron ore residue. 2012.
- 5 VERTI ECOTECNOLOGIAS, Estudo das Alternativas Tecnológicas e Modelagem de Negócios para Aplicação do Rejeito de Minério de Ferro da MMX. Belo Horizonte, 2013.
- 6 OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y. Business Model Generation. Editora Alta Books, 2010.