



**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**As Maiores Plantas Minerais na Amazônia e a
Relação com a Quantidade de Energia Elétrica
Consumida, os Processos de Produção,
Beneficiamento, e os Projetos Previstos**

**Autores: Rubens Milagre Araújo
Sidney Fernandes das Graças
Orientador: Prof. Dr. Estanislau Luczynski**



**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

As Maiores Plantas Minerais na Amazônia e a Relação com a Quantidade de Energia Elétrica Consumida, os Processos de Produção, Beneficiamento, e os Projetos Previstos

**Autores: Rubens Milagre Araújo
Sidney Fernandes das Graças
Orientador: Prof. Dr. Estanislau Luczynski**

Curso: Política e Economia Mineral.

Monografia acadêmica apresentada à comissão de Pós Graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Especialista em Política e Economia Mineral.

Belém, 2009
P.A. – Brasil



**INSTITUTO DE GEOCÊNCIAS
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

**As Maiores Plantas Minerais na Amazônia e a
Relação com a Quantidade de Energia Elétrica
Consumida, os Processos de Produção,
Beneficiamento, e os Projetos Previstos**

**Autores: Rubens Milagre Araújo
Sidney Fernandes das Graças**

**Prof. Dr. Estanislau Luczynski
Instituto de Geociências: UFPA**

**Prof. Dr. Evaldo Silva
Instituto de Geociências: UFPA**

**Prof. MSc. Raymundo Ruy Pereira Bahia
Superintendência de Pesquisa Supes: UNAMA**

Belém, PA - 15 de abril de 2009.

Agradecimentos pessoais

Agradecemos em primeiro lugar a Deus por mais esta vitória em nossas carreiras. Aos nossos pais e as familiares pelo apoio prestado.

Aos colaboradores das empresas Eletronorte, VALE, EPC, CNEC e Alusa pelos dados fornecidos e as contribuições preciosas para o término deste trabalho. Também aos que ajudaram de outra forma.

Aos professores que aceitaram orientar e participar da banca e contribuir no resultado final desta monografia.

*“Tudo posso naquele que me fortalece”
Filipenses 4:13*

Resumo

ARAÚJO, Rubens Milagre; GRAÇAS Sidney Fernandes das, “As maiores plantas minerais na Amazônia e a relação com a quantidade de energia elétrica consumida, os processos de produção, beneficiamento, e os projetos previstos, Belém,: Instituto de Geociências da Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Pará, 2009. 68p. Monografia (Especialização)”

Este estudo feito na área de Política e Economia Mineral analisa a necessidade ou não de reforço no sistema de transmissão de energia elétrica que atendem as principais plantas de minério na Amazônia, especificamente no estado do Pará. Foi feita uma pesquisa entre janeiro de 2008 à fevereiro de 2009, com dados de demanda e média de geração da principal fonte de energia elétrica que abastece as principais mineradoras do Estado - que é a Usina Hidrelétrica de Tucuruí – UHE e os caminhos percorridos pela eletricidade até esses destinatários finais, que são as grandes plantas minerais do Estado. Também se destacou os processos produtivos inerentes aos principais minérios produzidos, o beneficiamento e enfocando estes processos em relação à energia elétrica consumida.

As grandes mineradoras abordadas nessa pesquisa trabalham em regime normal de produção 24 horas, com um Fator de Carga Diário¹ - Fcd próximo a 1, isto é, a parcela de energia elétrica consumida denomina-se demanda. Essa pesquisa contempla, também, as etapas de produção de uma mina específica e a distribuição da quantidade demandada de suas atividades, e destaca os projetos minerais previstos para serem implantados nos próximos anos.

¹ Fcd=Demanda. Média/Demanda Máxima

Abstract

ARAÚJO, Rubens Milagre; GRAÇAS Sidney Fernandes das *“The major mineral plants in the Amazon and the relationship with the amount of electricity consumed, the processes of production, processing, and projects planned, Bethlehem,: Institute of Geosciences, Faculty of Geology, Federal University of Pará, 2009. 68p. Monograph (Expertise)”*

This study had done in the Mineral Economics and Policy examines the need or not to strengthen the system of transmission of electric energy to meet the main ore plants in the Amazon, specifically the state of Pará. A survey had done between January 2008 to February of 2009, with data on demand and average generation of the main source of electrical energy that supplies of the key mining state - which is the hydroelectric plant of Tucuruí - HPP and the paths traveled by electricity until those final recipients, which are the major plant minerals of the state. It also highlighted the processes inherent to the main minerals produced, the improvement and focusing on these processes energy consumed.

Large minings addressed in this research work in the normal production of 24 hours, with a Load Factor Log - Fcd close to 1, ie the portion of electricity consumed is called demand. This research includes also the steps of production of a specific mine and distribution of the amount sued for their activities, and highlights the projects planned to be implemented minerals in the coming years.

Sumário

Lista de Tabelas.....	vi
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Fotos.....	vi
Nomenclatura.....	vii
CAPÍTULO1. O SUPRIMENTO E TRANSPORTE DE ENERGIA ELÉTRICA DESTINADO AOS PRINCIPAIS CONSUMIDORES MINERAIS, NO PARÁ.....	1
1.1. Objetivos Gerais.....	1
1.2. Introdução Aos Conceitos de Energia Elétrica.....	1
1.3. Transporte de Energia Elétrica Em Grande Quantidade.....	3
1.4. A Demanda Crescente Das Plantas Mineraias, Os Dados, Informações Pesquisadas e Situação Atual.....	4
1.5. Capacidade De Transmissão Dos Principais Circuitos Pesquisados.....	9
CAPÍTULO2. ENERGIA GERADA POR TUCURUÍ RELACIONADO COM O ABASTECIMENTO ÀS GRANDES MINERADORAS, NO PARÁ.....	11
2.1. Resumo do processo de produção das plantas mineraias, relacionadas com o consumo elétrico.....	13
2.2. Novas Plantas Mineraias e Projetos Previstos Para a Região de Barcarena, Paragominas e Marabá.....	16
2.3. As Plantas mineraias existentes em Parauapebas, Canãa dos Carajás e Projetos para Ourilândia do Norte e Curiópolis.....	17
CAPÍTULO3. PLANTA BENEFICIADORA DE MINÉRIO DE FERRO EM CARAJÁS – PA, INFRA-ESTRUTURA, TRATAMENTO DE MINÉRIO, EMPILHAMENTO E CARREGAMENTO.....	19
3.1. Localização Da Planta Mineral De Ferro Em Carajás.....	20
3.1.2. Ritmo de Trabalho e Demanda de Pessoal.....	21
3.2. Definições Operacionais e Termos Utilizados.....	22
3.3. Fases Produtivas e Demanda Energética Necessária.....	24
3.3.1. Generalidades.....	24
3.3.2. Operação de Lavra.....	27
3.3.3. Britagem Primária e Britagem Semi-Móvel.....	27
3.3.4. Transportadores de Correias.....	28
3.3.5. Britagem Secundária.....	28
3.3.6. Peneiramento Secundário.....	29
3.3.7. Classificação por Ciclomag.....	29
3.3.8. Espessamento de Rejeito.....	30
3.3.9. Moagem de Bolas.....	30
3.3.10. Filtragem.....	31
3.3.11. Empilhamento.....	31
3.3.12. Recuperação e Carregamento.....	31
3.4. DEMANDA CONSOLIDADA.....	32
CAPÍTULO4. CONSIDERAÇÕES FINAIS RELACIONADAS ÀS MINERADORAS E DEMANDA DE ENERGIA PARA SE OPERACIONALIZAR ESTAS PLANTAS.	33
ANEXO 1.....	34
ANEXO 2.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	55

Lista de Tabelas

Tabela 1. Demandas em Tempo Real dos Circuitos de 500 kV.....	7
Tabela 2. Demandas em Tempo Real dos Circuitos de 500 kV.....	8
Tabela 3. Demandas em Tempo Real dos Circuitos de 500 kV.....	9
Tabela 5. Dados de Demanda Horária da UHE-Tucuruí.....	11
Tabela 6. Balanço Médio Mensal de Geração de Tucuruí.....	12
Tabela 7. Demanda Energética Por Área Operacional	32
Tabela 8. Demandas atendidas pelas linhas de transmissão oriundas da usina de Tucuruí no dia 06/11/03. SE -Tucuruí a SE-Imperatriz.	35
Tabela 9: Complementação da tabela 1. Demandas atendidas pelas linhas de transmissão oriundas da usina de Tucuruí no dia 06/11/03. Da SE-Imperatriz com o Sistema Interligado N-S-I e o Sistema da Chesf.	36

Lista de Figuras

Figura 1. Representação Atômica do Átomo.....	2
Figura 2. Triângulo de Potências.....	3
Figura 3. Diagrama Unifilar do Sistema Norte – 2009.	6
Figura 4. Localização Complexo Mineral de Ferro Carajás.....	20
Figura 5. Diagrama Unifilar do Sistema Norte – 2009	34
Figura 6. Esquema de uma Usina Hidrelétrica	52
Figura 8. Localização da Mina do Projeto Adicional 30Mtpa	54

Lista de Fotos

Foto1:Entrada Principal da Albrás / Foto2: Circuitos Transmissão 500kV Vila Conde...	50
Foto3: Porto da Alunorte – Docas / Foto4: Pátio de Empilhamento	50
Foto5: Silos de Carregamento / Foto6: Transportador de Correias	50
Foto7: Carregamento de Minério / Foto8: Visão Aérea da Mina de Ferro Carajás	51
Foto9: Visão Mirante Industrial da Mina de Ferro Carajás	51
Foto10: Visão Aérea da Planta Industrial da Mina de Ferro Carajás	51

Nomenclatura

a) Unidades De Medidas

A - Alqueire goiano = 4,8ha = 48 000m²

ha - Hectare 100m*100m = 10 000m²

km² - quilômetro quadrado - Área de superfície = 100ha

MW - Megawatt - Medida de Potência Ativa = 10³W

MVA - Megavolt-ampère - Medida de Potência Aparente

kVAr - quilovolt-ampère-reativo - Medida de Potência Reativa

kV - quilovolt - Medida de tensão = 10³V

MWh - Mega Watt hora (Energia*Tempo) - Medição da energia acumulada num dado intervalo de tempo

Mtpa – Milhões de toneladas por ano

b) Abreviaturas

L.T - Linha de Transmissão

UHE - Usina Hidrelétrica

UTE – Usina Termelétrica

c) Siglas

ALBRÁS - Empresa produtora de alumínio - Alumino do Brasil, sócios: Cia.Vale do Rio Doce e Nippon Amazon Aluminium CO

ALUMAR - Alumínio do Maranhão, sócios: Alcoa; Shell-Billiton e Camargo Corrêa metais

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, criada em 1997

CELPA - Companhia de Energia Elétrica do Estado do Pará

CEMAR - Companhia de Energia Elétrica do Estado do Maranhão

CCM - Camargo Corrêa Metais

COS-L - Centro de Operação do Sistema Local de Belém-PA

CVRD - Companhia Vale do Rio Doce – VALE

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S/A, federal

ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil, federal

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MME - Ministério das Minas e Energia

ONS - Operador Nacional do Sistema (Elétrico)

SEMA – Secretária do Meio Ambiente do Estado do Pará

SIN - Sistema Interligado Nacional

UFPA – Universidade Federal do Pará

CAPÍTULO 1. O SUPRIMENTO E TRANSPORTE DE ENERGIA ELÉTRICA DESTINADO AOS PRINCIPAIS CONSUMIDORES MINERAIS, NO PARÁ.

1.1. Objetivos Gerais

- Investigar a principal fonte de geração de energia elétrica que abastece as plantas minerais mencionadas ao longo dessa monografia, identificando o caminho de transporte de energia elétrica através dos circuitos de linhas de transmissão;
- Analisar a quantidade de energia elétrica demandada dessas plantas e mostrar como está a capacidade das linhas de transmissão que são destinadas a elas exclusivamente;
- Mostrar as maiores plantas minerais consumidoras de energia elétrica na Amazônia e enfatizar os processos produtivos realizados das plantas comentadas.
- Analisar se a principal fonte de energia elétrica da região Norte, é suficiente para suprir a demanda dessas plantas em todos os períodos do ano;

1.2. Introdução Aos Conceitos de Energia Elétrica

Esse tópico é necessário para introduzir alguns conhecimentos básicos, que são fundamentais no entendimento desse estudo aos leitores que se interessam por este assunto.

Matéria é tudo aquilo que possui massa e ocupa lugar no espaço. A matéria é constituída de moléculas que, por sua vez, são formadas de átomos. O átomo é constituído de um núcleo e eletrosfera, onde encontramos os Elétrons, Prótons e Neutrons. Interpretando a figura 1 abaixo, definiu-se que o Próton é a partícula encontrada na natureza com carga positiva, o Elétron é a partícula com carga negativa e o Nêutron com carga neutra. Pelas Leis da Física, duas cargas com sinais contrários se atraem e com sinais diferentes de repelem. Os Elétrons têm facilidade de mover do núcleo, pois estão sempre em movimento. O elemento químico que possui na última camada menos de 4 (quatro) elétrons são denominados bons condutores de eletricidade. Em consequência, a tendência então é o átomo se desprender do seu núcleo e pular para o outro, pois este é atraído pelo próton, ou melhor, o fluxo de elétrons de átomo para átomo é a natureza da

eletricidade. Definiu-se que a este movimento de elétrons dentro de um condutor chama corrente elétrica ou carga elétrica².

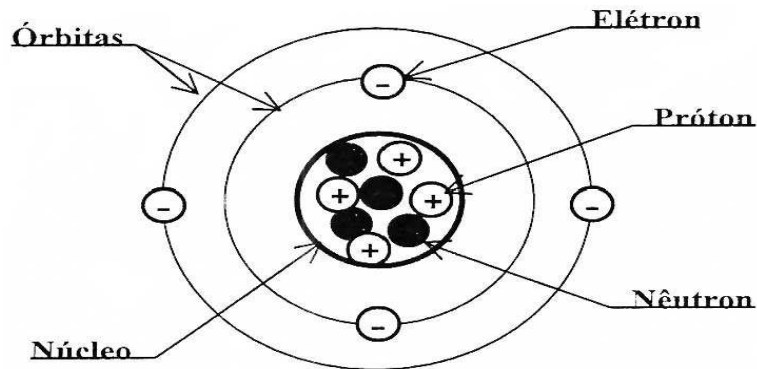


Figura 1. Representação Atômica do Átomo.

Para que a corrente elétrica possa movimentar num condutor, é necessária uma força, ou pressão capaz de movimentar os elétrons ordenadamente num condutor, a esta "pressão elétrica" chamamos de tensão elétrica. De forma geral o produto da corrente elétrica pela tensão resulta na potência elétrica. Ainda, é necessário aprofundar outros conceitos que complementam esse assunto; para que o leitor entenda os tópicos seguintes. Existem duas formas de transmitir a energia elétrica gerada: corrente contínua e em corrente alternada. De forma geral, os sistemas de energia elétrica são trifásicos e em corrente alternada, isto é, a potência transmitida de uma fonte geradora flui em grandes quantidades de energia elétrica, e depois abaixada em níveis menores de tensão através de subestações rebaixadoras, até aos consumidores finais. Em corrente contínua, a potência é igual ao produto da tensão pela corrente elétrica³, já em corrente alternada o mesmo não ocorre, pois existem três tipos de potência:

- ✓ Potência Ativa (MWatts);
- ✓ Potência Reativa (VAr);
- ✓ Potência Aparente (VA).

De forma sucinta, abordou com mais destaque a potência ativa⁴, que é o foco direcionado ao entendimento do assunto. Em corrente alternada, como o nome diz, há uma oscilação entre a corrente e a tensão, e que ambas estão em defasagem⁵, ou melhor, ora a tensão está na frente da

² Unidade de Medida da Carga Elétrica é o Coulomb – 1 Coulomb é igual a $6,25 \times 10^{16}$ elétrons por segundo. $1C/S=1A$ (ampère).

³ $P=V \times I$ (Watts)

⁴ Potência Ativa = potência útil – realiza trabalho.

⁵ Defasagem = Diferença, discrepância, a corrente e a tensão não estão na mesma fase.

corrente e vice-versa, a esta defasagem entre a corrente e a tensão, chamamos de Fator de Potência. Pela resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, a partir de 1992, todos os sistemas elétricos devem estar com o Fator de Potência \geq a 0,92. Isso significa, que entre 0,92 e 1 os sistemas elétricos de potência trabalham em melhores condições, absorvem melhor a potência total que é entregue, ou seja, há um melhor aproveitamento de energia elétrica. Para isto ocorrer, o ângulo de defasagem entre a corrente e a tensão tem que ser menor ou igual a $23,07^\circ$, que corresponde ao fator de potência igual ou maior a 0,92⁶. Pelas definições trigonométricas, o $\cos(\phi)$ coincide com o fator de potência, a seguir a figura 2 mostra essa coerência⁷.

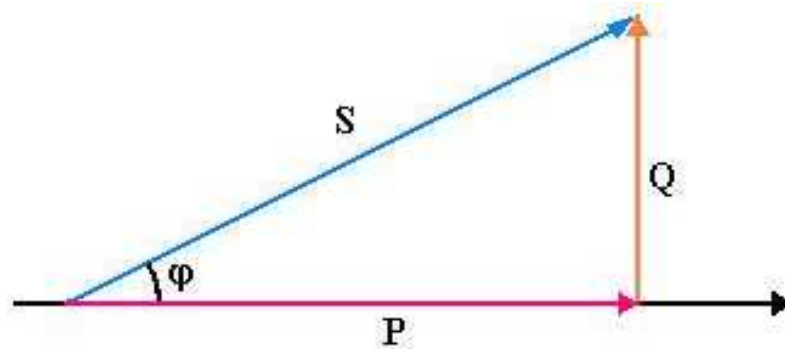


Figura 2. Triângulo de Potências.

S = potência aparente, expressa em VA (volts-ampére)

P = potência ativa ou útil, expressa em MW (watt)

Q = potência reativa, expressa em VAr (volt ampére reativa)

ϕ = ângulo que determina o fator de potência.

1.3. Transporte de Energia Elétrica Em Grande Quantidade

O escopo desta monografia está relacionado com os grandes consumidores de energia elétrica na área mineral, e um dos objetivos é relacionar as principais plantas minerais que mais demandam energia elétrica para sua produção, identificando a quantidade necessária para supri-las. Pesquisou-se que a principal fonte que abastece o Estado do Pará, já contemplando os empreendimentos minerais, as guseiras e outras indústrias, provém da Usina Hidrelétrica de Tucuruí. Depois de gerada a energia elétrica é transportada em grandes blocos de potência,

⁶ $\cos(\phi) = \arccos(\text{f.p.}) = 0,92 = 23,07$ (inversamente proporcional).

⁷ $\cos(\phi) = \text{cateto adjacente} / \text{cateto hipotenusa}$.

através de linhas de transmissões destinadas aos empreendimentos minerais, aos municípios e em períodos favoráveis aos outros Estados da Federação. As plantas minerais são clientes especiais, pois demandam uma parcela significativa de energia elétrica. Essas linhas de transmissões são representadas em nível de tensão elétrica diferente, quanto maior a tensão elétrica de uma linha maior a quantidade de energia elétrica que é transportada e consumida. As principais linhas de transmissões que saem da UHE Tucuruí são em tensão 230.000 e 500.000 Volts⁸, esta monografia abrange esses níveis de tensão, porque as plantas minerais que destacou foram projetados para serem abastecidos com essas tensões elétricas.

Evidencia-se que, as plantas minerais recebem certa parcela de potência que é gerado por Usina(s) Hidrelétrica(s) ou outras fontes de energia, e transmitida pelas linhas de transmissões para atender suas necessidades. Em condições de confiabilidade o fator de potência deve estar dentro da faixa de limite. Relaciona-se a Potência Ativa sendo $= \sqrt{3}$ ⁹ multiplicado pela tensão, pela corrente e fator de potência¹⁰. A partir dessas relações e os dados em tempo real podemos verificar a quantidade aproximada de potência que está sendo entregue ao consumidor. As linhas de transmissões são limitadas pela quantidade de corrente e outros parâmetros que são complexos na área de engenharia elétrica, e que não é necessário abordar nesta pesquisa. Nos próximos itens, foram identificadas quais são as plantas minerais destacadas neste estudo, as configurações elétricas projetadas e atuais; os limites de carregamento das linhas de transmissões, e concomitantemente outros projetos previstos.

1.4. A Demanda Crescente Das Plantas Minerais, Os Dados, Informações Pesquisadas e Situação Atual.

Parte deste item foi baseado na pesquisa feito por (Araújo, 2003) e que está no anexo 1, e na figura 5 que mostram as complementações deste assunto. Um dos objetivos desta monografia é identificar a Demanda de energia elétrica, que engloba tais plantas minerais: Albrás (alumínio), Alunorte (bauxita/alumina), Mina de Paragominas (bauxita), CCM - Globe Metais (silício metálico), Complexo Carajás (Minério de Ferro – Norte e minério de Cobre - Sossego) e outros

⁸ 1.000Volts=1kV

⁹ $\sqrt{3}$ =usa-se raiz de 3 em sistemas elétricos trifásicos e em corrente alternada.

¹⁰ $P=\sqrt{3} \times V \times I \times \cos(\phi)$ – Watts – 1.000.000W=1.000kW=1MW.

previstos para iniciarem a produção parcial nos próximos anos, que estão abordados no último capítulo.

A análise que é feita está mostrada na figura 3 a seguir, concomitante com os dados que estão na figura 5 e anexo 1. A figura 3 mostra as configurações atuais das linhas de transmissões e os circuitos de transmissão de energia elétrica que saem da UHE Tucuruí e atendem as plantas minerais e os que interligam com outras regiões. Sabe-se que o sistema elétrico brasileiro é interligado¹¹, ou seja, a energia para abastecer, por exemplo, mina de Ferro ou Cobre, em Carajás pode vim de outras regiões, dependendo dos períodos horo-sazonais. Pesquisou-se num ciclo de 13 meses e num dia de período seco em tempo real a geração de Tucuruí, que é apresentado e analisado no próximo capítulo.

¹¹ Sistema Interligado Nacional-SIN. Com exceção dos Estados do Amapá, Amazonas, Roraima e Acre.

As plantas minerais mencionadas acima consomem uma potência constante, ou seja, o fator de carga diário é próximo a 1. Para um melhor entendimento desse assunto deve-se analisar a figura 3 em paralelo com os textos lidos.

A princípio são analisados os fluxos elétricos que saem da UHE - Tucuruí com destino a Subestação Vila de conde, rebaixado a nível menor de tensão para a Subestação da Albrás e abastecendo o complexo Alumina/alumínio; conforme mostra a figura 3 há 3(três) circuitos de transmissão em tensão de 500kV. Pesquisou-se na Subestação de Vila do Conde, através de uma visita técnica realizada no dia 26/06/2008 que os fluxos elétricos estavam assim distribuídos às 10h30min.

Dia	Circuito/Tensão (kV)	Demanda (MW)
26/06/08	1 (Tucuruí-vila do Conde / 500)	466,56
26/06/08	2 (Tucuruí-vila do Conde /500)	577,59
26/06/08	3 (Tucuruí-vila do Conde / 500)	567,64
Total		1.611,79
26/06/08	1 (Vila do Conde – Albrás / 230)	464,1
26/06/08	2 (Vila do Conde – Albrás / 230)	448,2
26/06/08	1 (SE-Albrás – SE-Alunorte /230)	0
Total		912,3
26/06/08	1 (Vila do Conde – Mina Paragominas / 230)	28,7
26/06/08	1 (Vila do Conde – Belém e cidades vizinhas –SE-Guamá / 230)	246,60
26/06/08	1 (Vila do Conde – Belém e cidades vizinhas –SE-Guamá / 230)	235,54
Total		482,14

Tabela 1. Demandas em Tempo Real dos Circuitos de 500 kV.

Fonte: Eletronorte em 26/11/08 e Adaptada pelos Autores.

Analisou-se que a somatória dos três circuitos nesse horário foram **1.611,79MW**, lembrando que o sistema é em corrente alternada e trifásico, e que as potências então sempre oscilando para mais e para menos, dependendo do horário e das cargas consumidas. Analisando a figura 3 que é a referência principal deste tópico, verificou-se que a maior parte desta carga ou demanda gerada foi absorvida e rebaixada na subestação de Vila do Conde a nível menor de tensão em 230 kV e abasteceu a Albrás que demandou a carga informada na tabela acima.

Aprofundando mais na pesquisa de campo e no assunto específico analisou-se que demanda da Albrás foi de **912,3MW**. O circuito em tensão de 230kV que interliga Albrás e Alunorte estava com carga **0MW**, visto que a Alunorte tem sua geração própria a carvão mineral vindo da Colômbia, mas que tem uma Demanda contratada com a Eletronorte de **100MW**, ou seja, caso não consome a demanda que é disponível, ela vende para o sistema interligado. Lembrando que em 2003 a Alunorte foi alimentada com uma demanda média de **150MW**, e a Albrás **671MW**, conforme mostra no anexo 1.

O circuito que alimenta a Mina de Paragominas (bauxita), em nível de tensão de 230kV que deriva da subestação de vila do Conde estava com uma carga de **28,7MW**, mas em dias normais de operação varia entre **30 e 40MW**, segundo informações dos operadores da subestação vila do Conde.

Não vamos entrar em detalhes nessa monografia os suprimentos para as maiores cidades do Estado do Pará e outras plantas minerais, mas essa monografia permite aprofundar um pouco mais. Para esclarecer ainda mais esse assunto, a tabela 1 mostrou que a cidade de Belém e região metropolitana, na mesma data e horário estava com a demanda de **482,14MW**, ou seja, a demanda da Albrás foi quase o dobro de Belém e cidades metropolitanas, que tem população estimada pelo IBGE próximo a 2 milhões de habitantes. Consultou-se no horário de ponta no mesmo dia, às 19h05min e verificou que Belém e região a demanda estava por volta de **770MW**. E os fluxos dos circuitos de 500 kV foram distribuídos conforme a tabela abaixo.

Dia	Circuito/Tensão (kV)	Demanda (MW)
26/06/08	1 (Tucuruí-vila do Conde / 500)	500
26/06/08	2 (Tucuruí-vila do Conde / 500)	700
26/06/08	3 (Tucuruí-vila do Conde / 500)	700
Total		1.900

Tabela 2. Demandas em Tempo Real dos Circuitos de 500 kV.

Fonte: Eletronorte em 26/11/08 e Adaptada pelos Autores.

Outra pesquisa realizada no dia 05/11/2008, no Centro de Operação do Sistema Eletronorte, localizado no bairro Guamá na cidade de Belém-PA, mostrou que às 14h48min os fluxos elétricos dessas linhas de transmissão estavam com as seguintes cargas, conforme mostra a tabela a seguir.

Dia	Circuito/Tensão (kV)	Demanda (MW)
05/11/08	1 (Tucuruí-CCM(Metal Silício) / 230)	70
05/11/08	1 (Tucuruí-vila do Conde / 500)	486
05/11/08	2 (Tucuruí-vila do Conde / 500)	580
05/11/08	3 (Tucuruí-vila do Conde / 500)	590
Total		1.656

Tabela 3. Demandas em Tempo Real dos Circuitos de 500 kV.

Fonte: Eletronorte em 05/11/08 e Adaptada pelos Autores.

Dos quais, **876MW** foram consumidos pela Albrás, **34MW** mina de Paragominas, **551MW** (Belém e região metropolitana), **125MW** (SE-Santa Maria – que abastece umas 70 cidades da região Nordeste do Estado), **70MW** – entregue a Subestação da Celpa, que alimenta as produtoras de Caulim (Ymeris e Pará Pigmentos) e também cidades circunvizinhas. Por comparação as pesquisas relacionadas entre as tabelas 1 e 3 as cargas se mantiveram praticamente as mesmas, com diferenças de mais de 4 meses. Outro circuito específico na tensão de 230kV, é destinado a Globe Metais (Breu Branco) que produz ferro silício, e precisa de uma demanda significativa e constante na média **70MW**.

1.5. Capacidade De Transmissão Dos Principais Circuitos Pesquisados

Para chegar-se aos valores de projetos de capacidade de transmissão de potência desses circuitos mencionados, que abastecem estas plantas minerais é necessário fazer simulações dos sistemas em condições estáticas, modelagem computacional de fluxo de carga e outros parâmetros peculiares a cada linha de transmissão. Os parâmetros são: Indutância, Resistência, Capacitância e Condutância, todos em relação à distância e a influência da vida útil. Ou seja, 2(duas) linhas de transmissão de mesma tensão, distância, tempo de operação e mesmo modelo de construção, apresentam características elétricas e comportamento diferentes, quanto ao limite de transmissão, e os parâmetros mencionados. Não se tem registro desses circuitos pesquisados, que saem da UHE-Tucuruí transmitirem toda sua capacidade de potência elétrica.

A tabela a seguir, mostra os limites de corrente dos circuitos na tensão de 500kV e 230kV que foram cedidos pela Eletronorte. De modo geral para chegar aos cálculos aproximados, usa-se a fórmula da potência ativa.¹²

Dia	Circuito/Tensão (kV)	Limite de Corrente (A)	Equivalência em potência (MW) - Projeto
05/11/08	1 (Tucuruí-vila do Conde / 500)	2.344	1.400
05/11/08	2 (Tucuruí-vila do Conde / 500)	2.300	1.500
05/11/08	3 (Tucuruí-vila do Conde / 500)	2.800	2.000
05/11/08	1 (vila do Conde – SE-Santa Maria / 230)	700	200

Tabela 4. Limites de Correntes e capacidade Aproximada de Demandas.

Fonte: Eletronorte em 05/11/08 e Adaptada pelos Autores.

Lembrando que se fôssemos entrar a fundo nesses cálculos matemáticos para obtermos a potência em tempo real é necessário aplicar fórmulas complexas trigonométricas e ter dados em tempo real dos ângulos das barras de tensões de saída e chegada, que não cabe aqui nessa monografia.

Em consideração final verificou-se pelas informações repassadas pelos operadores das subestações pesquisadas, e outros especialistas no assunto que em geral a média de capacidade de uma linha de transmissão na tensão de 500 kV é de **1.500MW** e de uma linha na tensão de 230kV é de **200MW**, que é a referência usada nesta monografia. Analisou também, que esses circuitos que abastecem as plantas minerais mencionadas no item anterior são transmitidos atualmente metade de sua capacidade.

Na sequência dessa pesquisa, analisou a seguir, se em todos os períodos do ano a UHE Tucuruí tem capacidade de suprir essas plantas minerais, ou é necessário vim energia elétrica do sistema interligado nacional, principalmente para a região do complexo mineral de Carajás.

¹² $P = \sqrt{3} \times 500kV \times 2,34kA(\text{circuito } 1) \times 0,98 \text{ (MW)}$ - Fator de potência em condições normais de operação. Os demais cálculos mudam os dados de corrente e tensão.

CAPÍTULO 2. ENERGIA GERADA POR TUCURUÍ RELACIONADO COM O ABASTECIMENTO ÀS GRANDES MINERADORAS, NO PARÁ.

Com foco nesse estudo e continuando análise dos itens anteriores, coletou-se também no Centro de Operação do Sistema – Eletronorte em Belém, no dia 05/11/2008 a geração horária da UHE Tucuruí, que são mostrados a seguir.

Horário	Potência (MW)
00:00 – 01:00	1.800
01:00 – 02:00	1.800
02:00 – 03:00	1.800
03:00 – 04:00	1.800
05:00 – 06:00	1.800
06:00 – 07:00	1.800
07:00 – 08:00	2.000
08:00 – 09:00	2.000
09:00 – 10:00	2.000
10:00 – 11:00	2.000
11:00 – 12:00	2.000
12:00 – 13:00	2.000
14:00 – 15:00	2.000
15:00 – 16:00	2.000
16:00 – 17:00	2.000
16:00 – 17:00	2.000
17:00 – 18:00	2.000
18:00 – 19:00	2.000
19:00 – 20:00	2.000
21:00 – 22:00	2.000
22:00 – 23:00	2.000
23:00 – 24:00	2.000

Tabela 5. Dados de Demanda Horária da UHE-Tucuruí.

Fonte: Eletronorte em 05/11/08 e Adaptada pelos Autores.

Verificou-se na tabela acima, que nesse dia os fluxos elétricos foram em direção a Subestação de Vila do Conde como é de praxe para essa situação, e que os dados confirmam com as pesquisas feitas. As demais cargas foram consumidas pelo sistema interligado nacional, programado pelo Operador Nacional do Sistema – ONS. Complementando essa pesquisa, coletou os dados médios de geração mensal, carga própria ou carga de energia¹³ e nível e cota¹⁴ do reservatório num ciclo de 16(dezesseis) meses.

DIA	Geração Média (MW)	Carga Média de Energia (MW)	Saldo (MW)	Nível do Reservatório (%)	Cota(m)
31/01/08(quinta)	4.981	3.554	1.427	23,72	60,51
29/02/08 (sexta)	6.242	3.620	2.622	41,07	64,52
28/03/08 (sexta)	7.115	3.703	3.412	88,54	72,47
30/04/08 (quarta)	7.056	3.690	3.366	99,08	73,89
30/05/08 (sexta)	7.240	3.798	3.442	99,85	73,99
30/06/08 (segunda)	4.247	3.692	555	94,84	73,33
31/07/08 (quinta)	3.290	3.711	-421	79,68	71,21
29/08/08 (sexta)	3.109	3.745	-636	63,81	68,74
30/09/08 (terça)	2.930	3.865	-935	43,98	65,11
31/10/08 (sexta)	1.861	3.792	-1.931	26,3	61,17
28/11/08 (sexta)	2.516	3.734	-1,218	16,89	58,59
31/12/08 (quarta)	2.959	3.502	-543	27,34	61,43
30/01/09 (sexta)	5.805	3.619	2.186	30,59	62,21
27/02/09 (sexta)	6.896	3.589	3.307	51,47	66,56
27/03/09 (sexta)	6.745	3.580	3.165	93,21	73,11
30/04/09 (quinta)	5.461	3.570	1.891	99,54	73,95

Tabela 6. Balanço Médio Mensal de Geração de Tucuruí.

Fonte: Disponível no site www.ons.org.br, consultado em abril/09.

Analisou-se que nos 7 (sete) primeiros meses do ano contabilizados na tabela acima, a Geração de Tucuruí foi suficiente para abastecer a carga de energia, que resultou com saldo positivo para adicionar potência ao sistema interligado nacional, abastecendo outras regiões do País. A partir de meados de Julho não foi possível suprir a carga de energia, influenciado pelos baixos índices de chuvas com a chegada do período seco. Em meados de Outubro em diante, a

¹³ **Carga de Energia** – São as cargas consumidas pela geração de Tucuruí e que são supridas no período úmido. As principais cargas são: Quase todo estado do Pará e Estado do Maranhão (abrangendo São Luíz, Alumar).

¹⁴ Consultar a Figura 5 e ver os detalhes de um reservatório de hidrelétrica.

geração foi suficiente para abastecer somente a carga da Albrás, Belém e região do município de Tucuruí, conforme confirmou os dados de pesquisas apresentados anteriormente. As demais cargas, englobando as mineradoras da região de Carajás, guseiras de Marabá¹⁵ e outros complexos industriais foram supridos pelo do sistema interligado nacional. Poderíamos fazer outras análises globais e abordarmos outros assuntos energéticos com ênfase nas plantas minerais, mas procurou abranger somente ao escopo desta monografia.

O próximo item enfoca a produção dessas plantas minerais e a razão de serem grandes consumidores de energia elétrica da região amazônica.

2.1. Resumo do processo de produção das plantas minerais, relacionadas com o consumo elétrico.

Estas informações estão baseadas de forma sucinta, pesquisado do site da VALE¹⁶, nas leituras das apostilas do curso, nas experiências dos autores e informações com funcionários de empresas do setor. Os maiores detalhes encontram no anexo 2 desta monografia.

O processo de produção do alumínio vem da obtenção da alumina que tem sua matéria prima à bauxita. A bauxita chega à fábrica da Alunorte por dois caminhos: O primeiro vem de trem até a mina de Oriximiná e embarcado nos navios cargueiros de grande porte no porto de Trombetas até o porto da Alunorte em vila do Conde – Barcarena-PA. O segundo vem através de mineroduto da mina de Paragominas, que segundo as informações pesquisadas no site da vale, informou que *“Sessenta por cento da necessidade de bauxita da Alunorte são supridos pela MRN, que envia o produto por navios de até 60 mil dwt (deadweight). Paragominas também fornece bauxita, desde abril de 2007, por meio de processo inédito: transporte do minério em polpa aquosa por um mineroduto de 244 quilômetros de extensão e desaguamento em filtros hiperbáricos. Quando todo o sistema estiver operando em capacidade plena, a mina de Paragominas irá suprir 40% da necessidade atual de bauxita da planta”*. Pesquisou que para este processo a Mina de Paragominas necessita de uma demanda na média de **40MW** em condições normais de operação, alimentada por uma linha de transmissão em tensão em 230kV. A tendência é ampliar a produção de bauxita, pois ainda existe limite de carga disponível de 5 vezes mais a capacidade atual.

¹⁵ As Principais guserias de Marabá são: Ferro Gusa-Carajás (Vale), Sinobrás (Siderúrgica Norte do Brasil), Cosipar, Maragusa, Hibernica.

¹⁶ www.vale.com - pesquisado em 05/02/09 o link completo e demais informações estão disponível no anexo 2.

Em sequência a este processo de produção, é extraído da bauxita a alumina e refinado pela Alunorte, que atualmente produz 6,2 milhões de toneladas anuais conforme o explicou o texto *“Para produção de alumina, a bauxita é moída com solução cáustica e cal em moinhos conjugados, formando uma polpa de bauxita.*

A polpa e solução pré-aquecida de soda cáustica são transferidas para os digestores, onde o hidrato de alumina é dissolvido, formando o licor de aluminato de sódio e impurezas.

A solução que contém o aluminato de sódio e os resíduos de bauxita em suspensão são transferidos para os espessadores onde, com auxílio de agentes flocculantes, os resíduos são separados por sedimentação, formando uma lama densa, a “lama vermelha”. Essa é então lavada e filtrada para recuperar o residual de soda, sendo transferida com baixo teor de umidade para o depósito de rejeitos.

Um conjunto de filtros verticais remove os últimos traços de partículas suspensas na solução de aluminato (“licor rico”). Essa solução é resfriada e transferida para os precipitadores, onde é adicionada à semente, cristais finos de hidrato de alumina. A suspensão é mantida em agitação nos precipitadores por muitas horas. Depois o hidrato produto é separado da semente por meio de classificação.

*A polpa de hidrato produto é filtrada e lavada. Fornos calcinadores estacionários de leito fluidizado recebem o hidrato úmido, que, em ambiente de alta temperatura (1000°C), forma o óxido de alumínio, mais comumente conhecido por “alumina”. Pesquisou que para a produção de mais de 6 milhões de toneladas anuais de alumina, esta fábrica necessita de uma demanda disponível de **100MW**, de uma linha de transmissão que chega a subestação principal em tensão de 230kV, interligando com a subestação da Albrás.*

Para finalizar este processo de obtenção do alumínio em barras tipo lingotes, é necessário um processo bem complexo. A alumina é fundida através dos altos fornos eletrolíticos em altíssima corrente elétrica e temperaturas. Segundo o texto extraído informou que *“A obtenção industrial do alumínio metálico se faz pelo processo Hall-Heroult, pela redução eletrolítica da alumina (Al₂O₃), dissolvida num banho de fluoretos fundidos. O processo se desenvolve em fornos especiais, revestidos de carbono também chamados cubas eletrolíticas, a uma temperatura de aproximadamente 960°C.*

A passagem da corrente elétrica do anodo para o catodo decompõe a alumina em alumínio e oxigênio. Esse reage com o carbono do anodo – eletrodo positivo – e o metal se deposita no catodo - eletrodo negativo – sob a forma líquida.

O alumínio líquido retirado periodicamente das cubas é transferido em cadinhos até os chamados fornos de espera na fundição. O metal segue então para máquinas de fundição, onde é conformado e resfriado para produção de lingotes ou tarugos”. Ainda complementando este processo, o texto informou que a produção atual é “Hoje, após a implementação de diversas melhorias, a produção atinge cerca de 450 mil toneladas por ano, com suas cubas operando em torno de 177kA”.

*“Praticamente toda a produção é voltada para a exportação de lingotes de 22 kg. A alumina, principal insumo para a produção do alumínio, é fornecida pela Alunorte. A energia utilizada provém da Eletronorte (empresa estatal), garantida por um contrato de longo prazo”. Pesquisou que para a produção de alumínio de aproximadamente 500.000 mil toneladas anual, a Albrás necessita de uma demanda constante na média de **912MW**¹⁷ que é garantida através de 3 circuitos na tensão de 500kV, que operam atualmente metade de sua capacidade¹⁸.*

Na área onde estão instaladas essas grandes fábricas próximos a subestação de Vila do Conde localizam outros produtores minerais, que abordou a seguir para título de informações. Além da produção de alumínio estão instaladas também nessa região fábricas de produção do minério Caulim. A matéria prima vem da mina de Ipixuna do Pará e atende as duas maiores produtoras localizadas próximas: O grupo Caemi (Pará Pigmentos) – que tem duas fábricas produtoras de caulim (1ª - Barcarena, 2ª Laranjal do Jarí - AP). A outra fábrica a Ymeris rio Capim que é a maior produtora mundial desse produto, em torno de 1.000.000 toneladas anuais de exportação. Ambas são alimentadas através da concessionária de energia elétrica do Pará – Celpa, em linhas de transmissão de 138kV.

Nos próximos itens são destacados os projetos futuros que estão em fase de concretização e outros previstos para os próximos anos. No próximo capítulo é detalhado uma planta mineral, mina de Ferro de Carajás em relação aos processos produtivos e consumo de energia por etapa de produção.

¹⁷ Fcd-0,95.

¹⁸ Considerou o horário de ponta (18:00 às 21:00).

2.2. Novas Plantas Minerais e Projetos Previstos Para a Região de Barcarena, Paragominas e Marabá.

Segundo informações recentes através da imprensa VALE, noticiários de jornais e contatos diretamente nestas regiões, estão previstos dois grandes projetos em Barcarena, cujas obras de terraplanagem e as bases de construção civil se iniciarão ainda este ano de 2009. O 1º destaca a construção de outra refinaria de alumina nos moldes da Alunorte, localizada no trevo do Peteca próximo a subestação de Vila do Conde; que é chamada de Companhia de Alumínio do Pará – CAP. Através de um vídeo assistido com acesso restrito aos funcionários, um dos diretores da VALE explicou que a CAP irá produzir numa primeira fase 1.9 milhões de toneladas e na segunda fase 7,4 milhões de toneladas e que a mina de Paragominas atualmente produzindo quase 10 milhões de toneladas de bauxita será ampliada para 14,5 milhões para atender a CAP.

Verificou na subestação de Vila do Conde, na pesquisa realizada em 05/11/08 que já existe um painel específico para interligar com a subestação da CAP e que o circuito em tensão de 230kV que atende a mina de Paragominas será duplicado no trecho entre a subestação de Vila do Conde e subestação da CAP.

O segundo projeto está previsto é uma construção de uma Usina Termelétrica - UTE a carvão mineral vindo da África e com capacidade instalada de projeto de **600MW**. Observou-se que existe uma área próxima a subestação de Vila do Conde onde provavelmente este projeto será construído e que será interligada por linha(s) de transmissão na tensão de 230kV na mesma subestação e interligada no Sistema Elétrico Nacional.

Verificou também que na região de Marabá, no complexo Industrial Itacaiunas existem mais de 5 guseiras operando, que recebem o minério de ferro de Carajás tipo granulado e o transforma em ferro-gusa. Também, para título de informação o complexo das guseiras demandam uma parcela significativa de energia elétrica, ou seja, a demanda é superior a cidade de Marabá, que tem uma população estimada em 210mil habitantes. Nesta região industrial também, está previsto futuras instalação de uma siderúrgica com produção de ferro-gusa e aço integrado com capacidade prevista de 2 milhões de toneladas.

2.3. As Plantas minerais existentes em Parauapebas, Canaã dos Carajás e Projetos para Ourilândia do Norte e Curionópolis

Sabe-se que na região de Carajás se concentram as minas e produção dos minérios de Ferro, Cobre, Manganês e projetos de Níquel Laterítico e Vermelho. A princípio abordou a produção de minério de Cobre que é produzido pela mina de Sossego, localizado na cidade de Canaã dos Carajás. Este projeto é atendido com uma linha específica na tensão de 230kV, que deriva da subestação integradora conforme mostra a figura 3. Pesquisou-se que a demanda que atende este projeto está em torno de **50MW**. Este minério é extraído e transportado até o pátio da ferrovia Carajás em Parauapebas e depois via trem até o Porto da Madeira, em São Luís-MA.

Segundo o texto extraído do site www.vale.com em 05/02/09 informou que “*A mina de cobre do Sossego foi descoberta em 1997. Sua construção foi iniciada em 2002, e o primeiro embarque aconteceu em junho de 2004, o que representa tempo recorde na implantação de um projeto de cobre. A inauguração nos inseriu no mercado mundial deste minério. O primeiro embarque foi de 16,5 mil toneladas de concentrado de cobre e teve como destino a empresa alemã Norddeutsche Affinerie, tradicional produtor europeu de produtos de cobre.*”

As atividades de marketing e vendas, assim como administração de vendas e programação de embarques, são realizadas pelo Departamento de Comercialização de Metais Básicos, no Rio de Janeiro. Temos contratos de longo prazo com diversos smelters da Ásia, Europa e Brasil, e embarcamos cerca de 20 navios por ano de concentrado de cobre da mina do Sossego.

A usina do Sossego tem capacidade para produzir cerca de 500 mil toneladas de concentrado de cobre por ano. Trata-se de uma planta convencional, que opera de acordo com um processo consolidado na indústria do cobre”. Outros detalhes estão no anexo2.

Destacando mais afundo os projetos minerais na região de Carajás, verificou-se que outro projeto no município de Canaã dos Carajás é o Projeto do minério de Níquel Vermelho; constatando que a demanda de energia elétrica irá crescer significativamente nesta região. O projeto está em fase de pesquisa e prospecção de lavra, o texto pesquisado informou que: “*As atividades de pesquisa e estudos conceituais aconteceram em duas fases principais:*”

- “*A primeira fase, da descoberta ao início dos anos 90, foi direcionada para a porção do depósito composta de minério do tipo saprolito (garnerita). Essa etapa apoiou um estudo de pré-viabilidade da rota de processo pirometalúrgica para a produção de ligas de ferroníquel. A*

avaliação técnico-econômica demonstrou baixa atratividade e apenas pequena parcela do minério mostrou-se adequada ao processo escolhido. As reservas de saprolito significavam 15% dos recursos totais.

- Em 1997, investigações geológicas indicaram grande potencial de minério limonítico. Visando ao aproveitamento deste potencial, em 1999 iniciamos a segunda fase do desenvolvimento do projeto, com enfoque na rota de processo hidrometalúrgica (HPAL). Campanhas de sondagem e ensaios metalúrgicos foram realizados em 2000 e 2001.

Os resultados alcançados no programa metalúrgico mostraram grande adaptabilidade do minério do Níquel do Vermelho à rota de processo de concentração física seguida de lixiviação sob pressão. Em 2001, os resultados foram compilados em um "Scoping Study", indicando uma oportunidade "Classe Mundial" e favorecendo o desenvolvimento do projeto".

"- Extensa campanha de sondagem (150 mil metros acumulados) e revisão da avaliação de recursos do projeto, que confirmou volume e teores e elevou a fração de recursos medidos e indicados do depósito para 94%.

- Campanhas-piloto de demonstração (HPAL) na Lakefield Oretest, Austrália, em 2004, onde foi comprovada a adequação do minério ao processo com a obtenção de excelentes índices de recuperação de níquel, qualidade do produto e estabilidade operacional". Outros dados deste projeto estão no anexo2.

Já no município de Parauapebas na serra dos Carajás, atualmente está em fase de obras de terraplanagem, construção de rodovias e outras obras civis, o projeto Salobo nos moldes do Sossego, conforme mostra a figura 3. Verificou-se que para esse projeto ser atendido o transporte de energia elétrica derivará da subestação Carajás que atende a mina de Ferro Carajás, e com extensão na linha de transmissão na tensão de 230kV. Analisou que após a operação completa desse projeto, será necessário ampliação da linha de transmissão.

No município de Ourilândia do Norte – região que faz parte do complexo da floresta Carajás descobriu-se que a mina de Onça Puma contém o minério de Níquel Laterítico. Verificou-se que atualmente as obras estão em fase de montagem, previstos para iniciar a produção nos próximos 3 anos. Segundo pesquisa realizada no site da Gazeta Mercantil¹⁹, informou maiores detalhes deste projeto. *"na primeira fase da implantação da extração de níquel pela Onça Puma, o abastecimento de energia será de aproximadamente 90 MW médios e vai*

¹⁹ www.gazetamercantil.com.br, em 24/01/09

dobrar após três anos, quando será implantada uma segunda linha de produção”. “Estudos geológicos apontam a existência de cerca de 104 milhões de toneladas de níquel laterítico, que é usado na produção de aço e ligas de metais não-ferrosos. Segundo informações da Canico, o teor de níquel contido na mina do sul do Pará é de 2,15%, um dos maiores índices entre as jazidas conhecidas do minério. A expectativa da mineradora canadense é que a produção anual fique em torno de 44 mil toneladas de níquel e que a vida útil da reserva do sul do Pará seja de 45 anos com duas linhas de produção ou o dobro com uma só linha”. Maiores detalhes do processo de produção estão no anexo2.

Outros projetos futuros são os de minério de Ferro. Estão previstos para próxima década na região de Canaã dos Carajás - projeto S11D (Serra Leste), em Curionópolis – Projeto Serra Sul. O projeto Adicional 30Mtpa que já foi dada entrada do EIA/RIMA no órgão ambiental do estado do Pará – SEMA e que as obras de terraplanagem e supressão vegetal já começaram. Verificou-se que a demanda de energia elétrica na mina Carajás irá aumentar significativamente em função desse projeto, sendo necessária a ampliação do sistema de transmissão e uma nova subestação principal conforme mostra a figura 3 a localização na figura8. E, também o projeto Cristalino de minério de Cobre na região de Serra pelada em Curionópolis, que está em fase de audiências públicas. Conforme dito, o próximo capítulo é detalhado o processo do Complexo Mineral Carajás – Minério de Ferro, em paralelo com o consumo elétrico das etapas de produção e ampliações.

CAPÍTULO3. PLANTA BENEFICIADORA DE MINÉRIO DE FERRO EM CARAJÁS – PA, INFRA-ESTRUTURA, TRATAMENTO DE MINÉRIO, EMPILHAMENTO E CARREGAMENTO.

Neste capítulo, se busca explicar de forma sucinta o processo produtivo e a demanda energética necessária em cada etapa operacional desde a exploração da lavra mineral, usina propriamente dita com todo o complexo do fluxo de beneficiamento, pátio de estocagem e carregamento de minério através de silos para os trens que alimentam o Porto da Madeira na Baía de São Marcos, em São Luis do Maranhão.

3.1. Localização Da Planta Mineral De Ferro Em Carajás

A figura 4 abaixo mostra a localização remota do Complexo mineral de Ferro de Carajás e alguns projetos de cobre ora implantados ou em fase final de conclusão.

Obs.: A Figura 4, a seguir, mostra a localização do Complexo Mineral de Carajás e a Estrada de Ferro Carajás EFC entre os estados do Pará e do Maranhão.



Figura 4. Localização Complexo Mineral de Ferro Carajás.

Fonte: DNPM, 2009 - Adaptado pelos Autores.

Demonstra-se a seguir o valor mineral que esta região tem para o enriquecimento do estado do Pará e conseqüentemente desenvolvimento sócio-econômico da região, com abertura de novas minas, novos fornecedores, produtores indiretos, rede hoteleira, produção de hortifrutigranjeiros, dentre outros que se fazem necessários devido ao crescimento populacional de empreendimentos de mineração, este parágrafo é somente para título de informação.

3.1.1. Recursos Regionais

A cidade de Parauapebas conta hoje com aproximadamente 137 mil habitantes (FONTE, segundo fonte IBGE, 2008), sendo emancipada há 21 anos, cresceu devido à implantação das diversas plantas exploratórias de minério em sua região rural e ao potencial turístico ecológico pós-estabelecimento da Floresta Nacional de Carajás.

O centro da cidade dista 55km até a área de exploração da mina de ferro de Carajás e está circundada por outros pólos de mineração, ora já citados: Mina de Sossego – Cobre – em Canaã dos Carajás; Áreas minerais de Serra Leste e Serra Sul – Ferro – Curionópolis; Áreas Mineraias do Salobo – Cobre – Parauapebas; Áreas Mineraias de Níquel Vermelho e Alemão – Níquel – Curionópolis/Parauapebas. Com estes potenciais pontos de mineração é comum a migração de pessoas de outros estados vizinhos ou não para o pólo que hora se desenvolve no entorno da cidade de Parauapebas.

Tendo em vista a crescente necessidade de mão de obra qualificada, as mineradoras estabelecidas nesta área, procuram parcerias com as entidades governamentais e sociais com o intuito de garantir o desenvolvimento sustentável regional, assim, foram criadas com o devido apoio centros de treinamentos vinculados à indústria e comércio, colégios particulares profissionalizantes e até fortalecido a necessidade do auto-estudo para crescimento dos profissionais que trabalharam nestas empresas que demandaram estes recursos humanos. Hoje a cidade conta com centro tecnológico do SENAI/SESI, 4(quatro) escolas profissionalizantes e centros de estudos universitários federal e particular, além de cursos especializados de curta duração.

Também em busca do crescimento e da melhoria da qualidade de vida da população, há forte parceria no quesito garantia da moradia da população com incentivo e divulgação de novos bairros residenciais e construção de casas, estas que podem até ser financiadas com aval de algumas mineradoras que detém créditos rotativos e consignados aos seus empregados, cita-se hoje pelo menos cinco novos residenciais e ou conjuntos de casas para atender a demanda de moradia nos próximos anos.

Cabe aqui ressaltar que não se pretende delongar grande parte da discussão sócio-econômica dos pólos de mineração no desenvolvimento das cidades, e sim, mostrar de maneira macro o quanto uma área mineradoras tende a se desenvolver e para isto, há a necessidade de uma política de planejamento com base e estrutura detalhada com todos os “stakeholders” envolvidos no processo, privada, política, municipal, estadual e até federal.

3.1.2. Ritmo de Trabalho e Demanda de Pessoal

O ritmo de trabalho de grandes mineradoras, não se restringindo somente ao setor mineral, isto é, mineração propriamente dita, beneficiamento, tratamento químico, utilidades

(estes termos serão detalhados e explicados com maior consistências nas páginas seguintes), é de 24h por dia, 365 dias no ano, com pequenas interrupções ora por problemas operacionais diversos e ou por necessidades de manutenções preventivas periódicas²⁰.

Assim, para manutenção operacional de uma planta mineradora do porte da Mina de Ferro de Carajás, há necessidade de uma quantidade significativa de profissionais dos diversos setores, desde limpeza operacional e manutenção de equipamentos até alta diretoria e interface com sindicatos e órgão trabalhistas. Hoje a Mina de Carajás tem mais de seis mil empregados diretos e indiretos, residentes na área do Núcleo Urbano de Carajás, Parauapebas, Curionópolis e até Canaã de Carajás. Por isto a necessidade de diversos turnos de revezamento e folgas interstícios para os empregados.

3.2. Definições Operacionais e Termos Utilizados²¹

A seguir verificou-se que cada área operacional detém uma particularidade incomum no processo de mineração, passa-se de uma área simples até o mais complexo processo para obtenção da melhor qualidade, granulometria, redução de contaminantes, umidade e composição química do produto a ser embarcado para os consumidores em todo o mundo.

Como já citado anteriormente, o processo de mineração da Mina de Ferro Carajás é considerado bastante simples, uma vez que o teor de ferro encontrado na natureza e sua consistência granulométrica é de excelente qualidade comercial, inclusive utilizada como “blend” em outras partes do planeta. Assim cabe agora explicar para o leitor o que se entende com os termos de processo a seguir:

Mineração: “é um termo que abrange os processos, atividades e indústrias cujo objetivo é a extração de substâncias minerais a partir de depósitos ou massas minerais. Numa interpretação mais lata, podem incluir-se aqui a exploração de petróleo e gás natural e até de água. Como atividade industrial, a mineração é indispensável para a manutenção do nível de vida e avanço das sociedades modernas em que vivemos.” [1]

²⁰ Manutenção periódica preventiva – a cada quantidade de horas, roda-se um plano de manutenção para troca de peças de desgaste e/ou lubrificação de partes rodantes – Manutenção: Função Estratégica.

²¹ Manual de Britagem FAÇO – 5ª Edição ANO 1994, uma publicação da ALLIS Mineral Systems Fábrica de Aço Paulista

Beneficiamento:” Entende-se por beneficiamento o processamento adicional dos produtos finais procedentes das etapas de enriquecimento num processo.”[2]

Tratamento de minério: processo que abrange e “começa com conceitos e bens minerais, passando por homogeneização, cominuição (diminuição de tamanho), peneiramentos, britagens, moagens, classificação, concentrações e separações de partículas diferentes, flotação, estudos dos pH e pOH, sedimentação, filtragem, cálculos de densidades e outras fórmulas usadas no tratamento, segurança e nomes de algumas vidrarias de laboratório.” [2]

Flotação: “é uma técnica de separação que envolve conceitos de química de superfícies”:[3]

Britagem: “é o processo primário de cominuição. O número de estágios de britagem depende do tamanho da alimentação e da qualidade do produto final. O controle da granulometria e formato da brita passa a ficar mais preciso de acordo com as etapas secundária, terciária e quaternária (fabricação de areia). A britagem móvel permite maior flexibilidade e reduz o transporte nas operações ...”[4]

Peneiramento: “é o processo de separação de um material granular não coeso em duas ou mais diferentes classes de tamanho de partículas, mediante uma ou mais superfícies vazadas com aberturas de dimensões definidas. Essa classificação por tamanho, portanto, é feita por barreira mecânica (nos processos de classificação em correntes fluidas, a barreira é fluidodinâmica). É um processo do tipo "passa/não passa" e as barreiras são constituídas pelos fios da malha. Em geral, peneira refere-se à superfície tecida com fios espaçados regularmente e crivos àquela feita de chapa perfurada.” [5]

Moagem: “é o processo necessário quando se visa à redução de tamanho a dimensões abaixo de 5-20 mm. A moagem é um processo de conversão a pó ou pulverização, e ela pode se valer de 3 métodos: cascadeamento por queda livre, agitação ou vibração.”[6]

Filtragem: “é a operação de separação de um sólido de um líquido ou fluido que está suspenso, pela passagem do líquido ou fluido através de um meio poroso capaz de reter as partículas sólidas.” [1]

Espessamento: espessamento do resíduo / rejeito é realizado em tanques denominados espessadores, que utilizam um circuito de decantação contra-corrente, cujo objetivo é espessar o

resíduo recuperando o máximo de água possível e fornecer um “overflow” para a etapa de filtração contendo uma concentração baixa de resíduos .

Análise Química: “é um processo que fornece informações químicas ou físicas sobre uma amostra ou sobre a amostra.” [1]

Visto isto, pode-se enfim adentrar em cada etapa produtiva e mostrar aos leitores e interessados no assunto em questão a necessidade do entendimento destas etapas para buscar a otimização dos recursos e mesmo a pesquisa, desenvolvimento de tecnologias que garantam cada vez mais a sustentabilidade dos processos de mineração sem causar grandes prejuízos às fontes naturais e aos demais insumos utilizados para obtenção do produto final.

3.3. Fases Produtivas e Demanda Energética Necessária

3.3.1. Generalidades

De uma forma bastante simples, o processo de mineração da Mina de Ferro de Carajás é constituído basicamente de detonação de lavra, mineração a céu aberto, transporte por caminhões off-road, britagem primária, transporte por correias transportadoras, britagem secundária, peneiramento secundária, classificação, espessamento, moagem, filtração, empilhamento, recuperação e carregamento para despacho, além de toda a infra-estrutura suporte para que todas as fases aconteçam.

Visualizando-se cada processo acima descrito, pode-se explicar que a detonação de lavra resume-se em utilização de explosivos para explosão de grandes rochas ainda dentro da área de mina, a qual possibilitará posteriormente a carga através de escavadeiras elétricas / hidráulicas para caminhões off-road, fora de estrada, cuja capacidade de transporte chega até 270 toneladas.

Em continuidade à mineração, o veio do minério de Ferro em Carajás é encontrado em um vale, sob a crosta de uma montanha, em Carajás trata-se da área Norte, por isto a denominação de cada mina em N1, N4, N5, lê-se Norte um, Norte quatro e Norte cinco, subdividindo-se ainda nos pontos cardeais no interior de cada mina, isto é, N4W, mina Norte quatro Oeste.

A britagem primária é responsável pela cominuição inicial das rochas, utiliza-se britadores rotativos de cones fixos, instalados em pontos estratégicos para garantir a menor distância de transporte e também é utilizado britagem semi móvel, britagem estas com britadores de mandíbulas, estas BSM's são alocadas nos pontos ótimos de transporte e periodicamente (em

média a cada 5 a 10 anos) são realocadas para outros pontos de exploração, todo o conjunto é móvel, sistema de britadores, grelhas, alimentadores de sapatas e transportadores de correias.

O transporte por correias de borrachas e lonas de tecidos, reforçadas ou não com cabos de aço é prioritário no interior de uma mineradora, e se não o mais importante e dispendioso, é considerado o segundo insumo de maior gasto, fica atrás do consumo de combustível diesel utilizado nos caminhões e escavadeiras. Este transporte é responsável pela interligação dos diversos prédios entre si e até de fazerem uma malha específica para retro-alimentação de produtos dentro dos próprios prédios, de maneira a formarem um ciclo para que neste processo o mineral obtenha sua forma final.

A britagem secundária trata o minério já com granulometria menor (6 a 8” – seis a oito polegadas), pela separação em peneiras de grande porte e britagem em equipamentos denominados britadores cônicos (hidrocones – tem compensação hidráulica para manter o sistema de britagem nas faixas estabelecidas pelo processo).

O peneiramento secundário é sem dúvida nesta região de Carajás, o coração da planta mineradora, é o processo onde o minério é separado em diversos produtos e no qual ocorre o corte da qualidade em todos os sentidos, granulometria, umidade, composição. Assim, com a inclusão de quantidade de água regulada com pressão e vazão adequadas o minério e lavado nas peneiras classificadoras, que retém uma parte do mineral. Posteriormente esta parte retida é responsável pela formação de um produto ora denominado Pebble – granulado de proporções equivalentes a 3 a 5”. O primeiro corte garante a formação do produto chamado de granulado e tem dimensões de 1 a 1 ½”. O segundo corte alimenta um peneira desbastadora quando ocorre a formação do produto de maior demanda na mina de Carajás, trata-se do Sinter Feed. Esta peneira desbastadora tem o corte que alimenta os classificadores de minério, onde há a separação da parte de polpa do minério e a parte líquida, aquela é encaminhada às peneiras desaguadoras cujo corte forma a segunda parte do Sinter Feed. A parte líquida é retirada através de bombas do transbordo dos classificadores de minério e tanques específicos, sendo bombeado para sistema de ciclonagem onde ocorre a separação dos sólidos finos e a parte extra-fina que alimentará os espessadores.

Diferente de outros processos, o espessador aqui é utilizado para recuperação de água, o "ofender" é transportado por gravidade ou bombeado para uma barragem de rejeitos, onde ocorre

a decantação e futura recuperação da água através de captações de bombeamento, previamente instaladas. A água recuperada no processo de espessamento retorna ao processo para fechar o ciclo de lavagem do minério no peneiramento secundário.

A moagem é responsável por produzir um produto ainda mais fino que o Sinter Feed, chamado de Pellet Feed Moído, uma vez que o produto natural extraído da ciclonagem é denominado Pellet Feed Carajás. O Sinter Feed é alimentado em dois moinhos de bolas que giram e o choque entre o minério e as bolas de aço manganês que completam a sua carga promovem a quebra do minério em partículas menores.

A filtragem a disco recupera a parte do material retirado na ciclonagem e através de cilindros envolvidos com mantas de tecido e sistema de vácuo faz a separação do mineral fino e da parte líquida. A outra fase de filtragem é à prensa, onde o minério produzido pelos moinhos alimenta filtros verticais compostos de placas envolvidas com uma manta de tecido que também por processos de compressão e expansão de bolsas de ar – diafragmas de borrachas – há a expulsão a parte líquida e retenção do mineral fino, que posteriormente é descarregado em correias transportadoras e encaminhado ao empilhamento.

Todas as fases acima alimentam o empilhamento, composto por cinco pátios de estocagem, onde existem diversos equipamentos responsáveis pela formação de pilhas homogêneas, onde após período de acomodação e retirada natural da água e quando ainda uma parte da água é evaporada por condições naturais ou drenada.

A recuperação é interface próxima ao empilhamento, pois nos pátios onde há a estocagem, ocorre a recuperação do minério pronto para expedição, este processo é feito por recuperadoras de caçambas ou máquinas rodantes com pás carregadeiras.

O material recuperado alimenta os silos de carregamento que descarregam diretamente sobre as composições ferroviárias completando quantidades estabelecidas de vagões em função dos planos de vendas recebidos.

Em todas as etapas listadas acima, há monitoramento e retirada de amostras para análises físico-químicas, onde se procura garantir a qualidade de minério demandada pelos diversos clientes. Esta atividade é feita através de um planejamento de lavra, monitoramento de pilhas, ensaios químicos, medições "on line" em pontos específicos do processo e comparação com base de dados do plano de vendas corporativo. Ainda para que ocorram estas atividades tem-se o

suporte de oficinas centralizadas para manter os equipamentos operacionais e áreas de subconjuntos onde há a manutenção dos componentes destes equipamentos de maneira a minimizar eventuais quebras ou problemas corretivos que possam prejudicar o processo operacional como um todo. Estas fases compõem toda a infra-estrutura de prédios e acessórios indiretos ao processo produtivo.

3.3.2. Operação de Lavra

Como se citou anteriormente, o processo consiste em detonação de determinada área operacional para mineração e carregamento de caminhões fora de estrada para o transporte às áreas de britagens. O que se detalhará neste momento é que para o efetivo carregamento utiliza-se escavadeiras eletro-hidráulicas, quais sejam: necessidade de se ter disponível quantidade suficiente de energia elétrica para se operar estes equipamentos.

A demanda necessária para exploração de uma área como a região Norte da mina de Carajás é aproximadamente **1,46MW**.

3.3.3. Britagem Primária e Britagem Semi-Móvel

Este processo é realmente o início do tratamento do minério de ferro, onde a matéria prima, minério bruto é transportado até o britador, neste caso primário, pois anteriormente não havia sofrido nenhuma ação que promovesse alterações físicas em seu conteúdo. Trata-se de um equipamento de grande porte com capacidade para triturar volumes de até 30.000tph de minério, o qual se adentra no seu interior com massas chamadas de “matacos - matacão”, isto é, rochas de grande geometria e elevado volume igual a 1m³ de minério que passa por uma grelha vibratória, separando partículas menores de 6 a 8” e o corte deste material é direcionado ao britador giratório que tem capacidade de decompor as rochas em partículas iguais a 6 e 8”. A energia necessária a este processo é equivalente a **0,55MW** para uma produção horária igual a 10.000t, o aumento desta produção não significa linearmente a maior necessidade de energia, uma vez que o processo de britagem é composto de motores elétricos principais e auxiliares, além de dispositivos eletros-hidráulicos, os quais regulam a maior ou menor vazão da produção de acordo com a alimentação e necessidade na continuidade do processo.

As britagens semi-móveis, BSM's, são também parte inicial do processo, porém de capacidades produtivas menores, em relação às britagens primárias, restringindo sua produção a taxas iguais a 7.000 tph, porém sem não consumir potência equivalente similar à necessária para se operar uma britagem primária, isto devido a necessidade de equipamentos complementares,

tipo alimentador de sapatas, transportador de partículas finas e quantidade de transportadores de correias para vencer as grandes distâncias que os ligam à entrada da planta de beneficiamento. A demanda necessária em cada BSM é em torno de **0,22MW** para a taxa média de 6.000tph. Atualmente na mina de Ferro de Carajás há em operação três BSM's, responsáveis pela operação e movimentação de aproximadamente 15.000tph de acordo com sua disponibilidade e utilização, bem como em função da área geológica e conseqüentemente das características físicas químicas do mineral a ser extraído.

3.3.4. Transportadores de Correias

Existem hoje mais de 160km de correias transportadoras instaladas no site de Carajás, responsável pelo transporte de mais de 14.000tph de minério de ferro bruto e proporção igual a 11.000tph de produto final, isto é, após ser britado, peneirado, lavado, obtém-se 75% do produto que entra na usina de beneficiamento, o restante não é perdido, e sim transformado em outros produtos que são estocados em pilhas pulmão ou bombeados através de sistema de coleta de polpa e recuperado em outros processos tipo filtragem a prensa ou a disco, conforme será explicado posteriormente.

Os transportadores têm para sua operação necessidade de pelo menos um e até quatro acionamentos elétricos. Estes acionamentos têm potências variadas, que são demandas em média igual a **46,40MW** de acordo com cada fase e conjunto operacional, normalmente constituído de motor, redutor, freio eletro hidráulico, sistema de variação de frequência, sinais e cabos de emergência, além de sinalização sonora e luminosa.

3.3.5. Britagem Secundária

Nesta fase do processo ocorre a primeira grande modificação do minério bruto, uma vez que suas dimensões são reduzidas já em produtos finais, a saber, Pebble e granulado. Ocorre também nesta fase o primeiro ciclo de classificação, isto é, existe uma malha de transportador que faz a recirculação, um "loop", do material realimentando-o nos britadores para que atinjam a granulometria necessária.

Este processo normalmente como na britagem primária e BSM's utiliza britadores cônicos para fazer a cominuição do minério, há também peneiras classificadoras de grande porte para fazer o corte do granulado, antes mesmo de se alimentar os britadores. Estas peneiras são acionadas por motores que necessitam de demanda de **4,32MW**.

Os britadores menores que o da britagem primária, porém em maior quantidade também são equipamentos compostos de acionamentos elétricos e conjuntos hidrodinâmicos para compensar as vibrações provenientes da quebra do minério e auxiliar na regulagem da malha de corte do mesmo. A demanda necessária para produção de 11.000 tph é igual a **4,33MW**.

3.3.6. Peneiramento Secundário

Este processo é chamado Peneiramento Secundário, sem antes ter-se mencionado peneiramento primário, uma vez que nos processos anteriores de britagem primária e secundária já ocorrer separação por meio de peneiras. Como informado em seção anterior, este processo normalmente é o mais complexo e onde se há maior volume de controles, uma vez que pelo Peneiramento Secundário passa todo o produto a ser expedido para os fornecedores. Tem-se um sistema de Peneiramento Classificatório, onde se produz o restante do Pebble e parte final do granulado, o sistema de Peneiramento Desbastatório, onde se produz a primeira fase do Sinter Feed e gera matéria para os finos a saber, Pellet Feed Natural e Pellet Feed Moído e o sistema de Peneiramento Desaguador, quando forma-se a complementação do Sinter Feed, depois de retirada de toda a água. Têm-se então neste processo de peneiramento secundário, três fases de peneiramento e separação de sólidos e líquidos. O material sólido é recuperado pelos transportadores de correias e encaminhado ao pátio ou pilhas intermediárias. O material aquoso, quase polpa é bombeado ou por gravidade para o sistema de ciclonagem e espessador. Processos que foram detalhados a seguir.

Assim no peneiramento secundário para uma taxa de alimentação de 1200tph, por linha de produção há a demanda necessária de **10,10MW**. Operam em média 15 das 17 linhas disponíveis, com 90% de utilização e 80% de disponibilidade tem-se uma produção média horária de 10.000tph de produto base seca.

3.3.7. Classificação por Ciclonagem

Trata-se de um processo de separação por atividade centrífuga em que a solução aquosa é bombeada através de uma bateria de ciclones e pela velocidade que esta solução entra nos ciclones há a formação de um vórtex que promove a separação das partículas sólidas e líquidas, aquelas são expelidas pela parte superior do ciclone e continua no processo, sendo transportado por tubulações até a filtragem a disco, será detalhada nas próximas seções. O material líquido é encaminhado ao espessador e será tratado a seguir.

Ainda sobre a Ciclonagem, basicamente é composta de sistema de bombeamento que necessita de demanda igual a **0,072MW** para sua operação e a produção obtida nesta fase fica em torno de 900 a 1.000 tph de produto na base úmida.

3.3.8. Espessamento de Rejeito

Como o nome indica, o espessamento de rejeito, faz a decantação do material que ainda não é aproveitado pela usina através da flotação dos sólidos com uso de polímeros auto-agregadores separando-os da água, que é recuperada e retornada ao processo. O espessador de rejeito é composto de dois braços transversais acionados por dois motores elétricos de baixa potência, atualmente estes motores já são substituídos por acionamentos hidráulicos. Os braços transversais, verdadeiras pontes “racks” giram sob um cilindro de concreto de 10 m profundidade e 80 m de diâmetro a baixas velocidades para que ocorra a reação química dos polímeros com o minério, agora chamado rejeito. A água limpa transborda pela lateral do cilindro e é recuperada em um tanque para o processo. O rejeito propriamente dito é lançado por gravidade em uma calha que o direciona para a cabeceira da barragem, onde ocorre sua decantação e posterior captação da água através de barragens e sistema de bombeamento. Cada braço de rejeito na barragem é monitorado para verificar a eficiência da decantação e evitar o assoreamento da mesma. Já existem estudos e projetos em fase de viabilidade para recuperar este rejeito e torná-lo produto similar o Pellet Feed Natural.

As principais cargas elétricas para o sistema são: bombeamento de água transbordada para o processo e captação nas barragens que consomem a demanda igual a **0,54MW**.

3.3.9. Moagem de Bolas

O processo de moagem é destinado a produção de super finos para posterior homogeneização e formação de pelotas nas usinas de Pelotização. Para este processo existem dois moinhos cuja demanda necessária de energia é igual a **0,45MW**. O processo parece simples, porém há necessidade de controle dos insumos (bolas) inseridos nos moinhos para garantir a cominuição do minério de ferro nas características necessárias. Após este processo o minério moído ainda é separado por microciclonagem (ciclonagem mais fina que o convencional), só então há a separação do produto final da moagem.

3.3.10. Filtragem

Tipos de filtragem: à Disco e à Prensa.

A filtragem a Disco é mais comum e não há necessidade de grande demanda de energia, sendo necessário um sistema de bombeamento de vácuo que faz a sucção nos filtros mergulhados em polpa de minério, que pela sucção fica impregnado nas mantas dos filtros e posteriormente são descarregados em transportadores de correias.

A filtragem a Prensa é menos usual e menos utilizada, há necessidade de sistemas mais complexos com utilização de sistema de bombeamento de polpa, geração de ar comprimido e decantação. O material é prensado em um tecido que gira em torno de roletes e sob diafragmas que retém a umidade do produto final, assim que é descarregado o material também é descarregado em transportadores de correias.

A demanda necessária nestes dois processos fica aproximadamente igual a **0,75MW**.

3.3.11. Empilhamento

Também denominado Pátio de Estocagem, empilhamento é o processo onde todo o material produzido nas fases anteriores é transportado até pátios, onde é empilhado por máquinas denominadas empilhadeiras (“stackers”). A formação de pilhas é em função do mercado e tem uma média de energia demandada igual a **4,91MW**.

3.3.12. Recuperação e Carregamento

As pilhas de minério são literalmente recuperadas por máquinas rotativas que recolhem o material e os encaminham aos silos de carregamento, onde o minério é descarregado dentro de vagões em composições que se deslocam 850km até o porto da Madeira em São Luis, ver figura 4. A energia demandada neste processo por tonelada de minério transportado é igual a **3,20MW**.

3.4. DEMANDA CONSOLIDADA

Conforme descrito nas seções anteriores, visualizou-se a demanda energética necessária para cada processo produtivo de uma planta mineradora de minério de ferro. Abaixo na tabela 7 mostra-se um resumo de cada processo, com sua produção e demanda necessária.

Área Industrial	Demanda (MW)
Operação de Lavra	1,46
Britagem Primária	0,78
Transportadores	46,40
Britagem Secundária	4,32
Peneiramento Secundário	10,09
Ciclonagem	0,07
Espessamento Rejeito	0,54
Moagem de Bolas	0,45
Filtragem	0,75
Empilhamento	4,91
Recuperação e Carregamento	3,20
Manganês	0,84
Oficinas de subconjuntos	7,86
Escritórios e Alojamento	2,71
Total	84,38

Tabela7. Demanda Energética Por Área Operacional

Fonte: Relatórios Diário On Line VALE

Pode-se observar que o processo que demanda maior energia é o sistema de moagem, seguido do peneiramento secundário e transportadores de correias, i.e, também os três principais processos produtivos de uma planta mineradora. Se o foco do trabalho desta monografia fosse redução de demanda de energia, estes três processos deveriam ser estudados profundamente com intuito de se buscar otimização e maior geração de produtos com redução desta demanda. Não se citou ao longo do trabalho, sobre o controle que há intertravando todos os processos, de modo a utilizar os sistemas informatizados, porém vale ressaltar que Carvalho cita em 1987 durante o 4º Congresso Ibero Americano de Manutenção : *“Os bancos de dados computadorizados vem se constituindo numa valiosa ferramenta para o desenvolvimento e otimização da performance dos mais diferentes campos da tecnologia moderna...tendo em vista a melhoria e agilização das diversas decisões técnicas e gerenciais.”* Visualiza-se que analogamente já com manutenção, disciplina importante em todos os processos produtivos, também se alia à mineração, seja no alto grau de automação e automatização quanto no controle estatístico dos processos minerais.

CAPÍTULO 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS RELACIONADAS ÀS MINERADORAS E DEMANDA DE ENERGIA PARA SE OPERACIONALIZAR ESTAS PLANTAS.

Visualizou-se a demanda necessária para a garantia dos processos produtivos e analisou-se através do monitoramento periódico que as linhas de transmissão destinadas às plantas minerárias são exclusivamente dedicadas a elas e que a principal fonte geradora de energia é a Usina Hidrelétrica de Tucuruí – UHE.

Demonstrou-se o entendimento de vários processos produtivos e o contexto envolvido na exploração mineral, detalhou-se uma planta de mineração e tratamento de minério de ferro, explicitando-se cada etapa processual e a energia necessária em cada fase. Enfatizou-se que em função do produto mineral produzido há maior ou menor demanda de energia necessária a sua produção.

Evidencia-se que as plantas minerais estudadas são as maiores consumidoras de energia elétrica na Amazônia e precisam de linhas de transmissões específicas para atendê-las com qualidade e ininterruptas durante 24 horas.

Constatou-se que as empresas mineradoras estão ampliando o sistema de transmissão, subestação de energia para suprir suas demandas futuras. Também estão investindo em Construções de Usinas Hidrelétricas e Termelétricas para garanti-las confiabilidades e custos dos ativos de MW.

Propostas:

Deseja-se que seja avaliado o custo de tarifa pago pelas mineradoras a Eletronorte caso a UHE Tucuruí, ou outras fornecedoras do Sistema Interligado Nacional.

Espera-se fazer uma nova atualização dos dados pesquisados nessa monografia, após os projetos das plantas Onça Puma-Minério Níquel Laterítico, Projeto Salobo-Minério de Cobre, Projeto Adicional-30Mtpa-Minério de Ferro e outros previstos que foram abordados nesta pesquisa.

ANEXO 1

Figura 5: Diagrama Unifilar do Sistema Norte de Energia Elétrica.

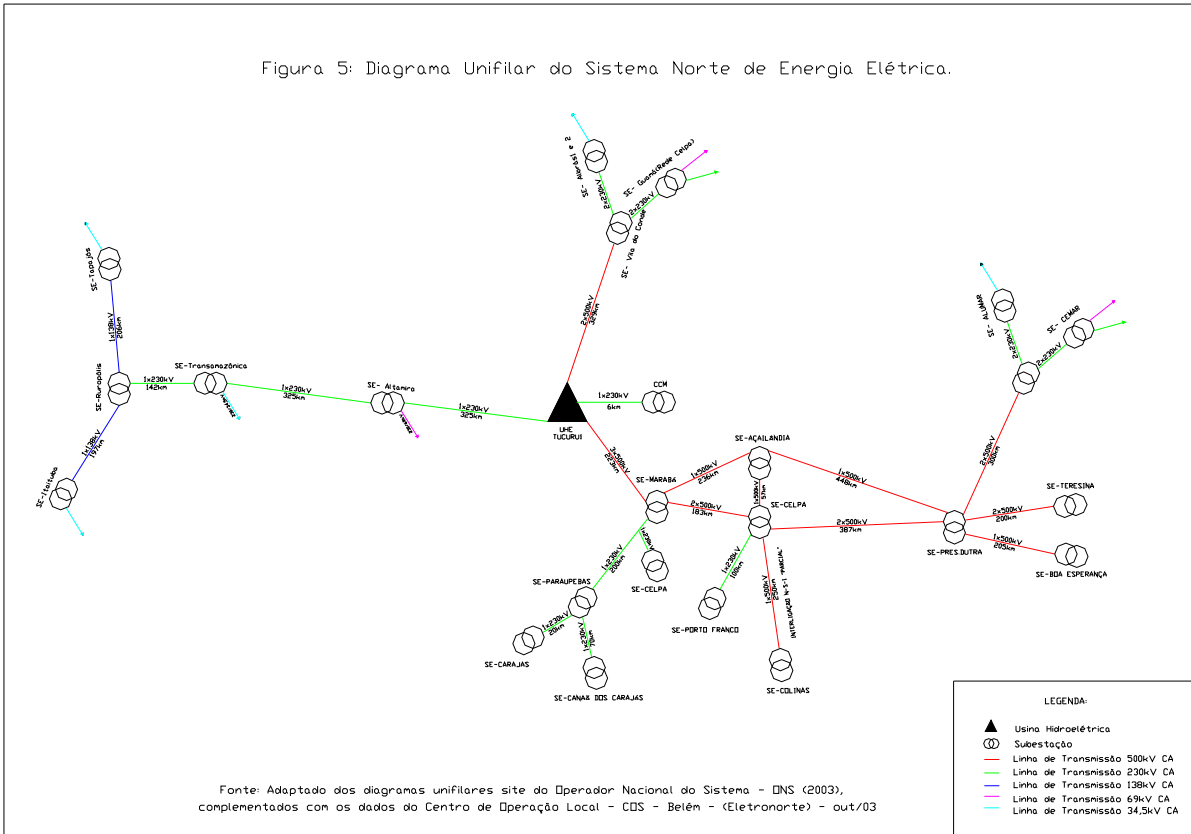


Figura 5 – Diagrama Unifilar do Sistema Norte – 2009

2 circuitos de 500kV: UHE-Tucuruí - SE-Vila do Conde	
*Linha de 500kV - UHE Tucuruí com destino a SE - Vila do Conde, circuito1 = 646MW;	
*Linha de 500kV - UHE Tucuruí com destino a SE - Vila do Conde, circuito2 = 756MW;	
	Total = 1.402MW
*Linha de 230kV - SE - Vila do Conde a SE - Albrás1 (eletrointensivo) = 402MW;	
*Linha de 230kV - SE - Vila do Conde a SE - Albrás2 (eletrointensivo) = 419MW;	
	Total = 821MW
desse total, 671MW é consumido pela Albrás e 150MW é consumido pela Alunorte.	
obs: valor consumido pela Rede Celpa, na região metropolitana da cidade de Belém-PA foi de:	
	1402-821= 581MW
=====	
1 circuito de 230kV para oTramo Oeste:	
* SE- Altamira, 230/69kV = 10MW;	
* SE- Transamazônica, 230/34,5kV = 3,2MW;	
* SE- Rurópolis 230/138/13,8kV = 0,6MW (Independente de Tucuruí);	
* SE -Itaituba 138/69kV = 9MW;	
* SE -Tapajós 138/13,8kV = 10MW;	
	Total = 32,2 MW
=====	
1 circuito de 230kV: UHE Tucuruí - Camargo Corrêa Metais - CCM	
	Total = 61MW
=====	
3 circuitos de 500kV: UHE Tucuruí - SE-Marabá	
* Linha de 500kV - UHE Tucuruí com destino a SE-Marabá, circuito1 = 550MW;	
* Linha de 500kV - UHE Tucuruí com destino a SE-Marabá, circuito2 = 620MW;	
* Linha de 500kV - UHE Tucuruí com destino a SE-Marabá, circuito2 = 607MW;	
	Total = 1.777MW
=====	
* 1 circuito de 230kV - SE Marabá com destino a SE-Parauebas -CVDR - Projeto Carajás =	74MW;
* 1 circuito de 230kV - SE Marabá com destino a SE-Rede Celpa (região de Marabá) =	78MW;
* 1 circuito de 69kV - SE Marabá com destino as cidades de Rondon e Jacundá - Rede Celpa =	16MW;
	Total = 168MW
	O restante continua 1777-168=1.609MW
=====	
5 circuitos de 500kV: 1 circuito de 230kV: SE-Marabá - SE-Imperatriz(2), SE-Marabá-SE-Açailândia (1), SE-Colinas-SE-Imperatriz(1), SE-Imperatriz-SE-Açailândia(1)	
* Linha de 500kV - SE Marabá com destino a SE-Imperatriz, circuito1=570MW;	
* Linha de 500kV - SE Marabá com destino a SE-Imperatriz, circuito2=621MW;	
* Linha de 500kV - SE Marabá com destino a SE-Açailândia, circuito1=418MW;	
* Linha de 500kV - SE Colinas(N-S-I) com destino a SE-Imperatriz, circuito1= -350MW(chegando);	
* Linha de 500kV - SE Imperatriz com destino a SE-Açailândia, circuito1= 76MW;	
* Linha de 230kV - SE Imperatriz com destino a SE-Porto Franco=128MW;	
	1.337MW (Imperatriz), 494MW (Açailândia)

Tabela 8: Demandas atendidas pelas linhas de transmissão oriundas da usina de Tucuruí no dia 06/11/03. SE -Tucuruí a SE-Imperatriz.

Obs: Os dados foram obtidos durante as pesquisas em campo, nos locais mencionados, e com base nas informações obtidas através de contatos com o Centro de Operação do Sistema - Belém- COS (Eletronorte). Dados instantâneos, das 13:00 horas do dia 06/11/03(quinta-feira)

ANEXO 1 - CONTINUAÇÃO

3 circuitos de 500kV: SE - Imperatriz - SE-Presidente Dutra (2) , SE-açailândia(1) , SE-Presidente Dutra(1)

- * linha de 500kV - SE - Imperatriz com destino a SE - Presidente Dutra,circuito1 = 648MW;
- * linha de 500kV - SE - Imperatriz com destino a SE - Presidente Dutra, circuito2 = 689MW;
- * linha de 500kV - SE -Açailândia com destino a SE-Presidente Dutra, circuito1 = 494MW;

Total= 1.831MW

5 circuitos de 500kV: SE - Presidente Dutra - SE-São Luiz (2), SE-Presidente Dutra -SE-Teresina (2) , Presidente Dutra -SE-Boa Esperança (1)

- *linha de 500kV - SE-Presidente Dutra com Destino a SE-São Luiz, circuito1=491MW;
- *linha de 500kV - SE-Presidente Dutra com Destino a SE-São Luiz, circuito2=416MW;

Total = 907MW

- * 2 circuitos de 230kV saindo da SE-São Luiz com destino a subestação da Alumar = 640MW;
- obs: valor consumido pela CEMAR, na cidade de São Luiz equivale a: 907-640 = 267MW;

- * linha de 500kV - SE-Presidente Dutra com Destino a SE-Teresina, circuito1=364MW;
- * linha de 500kV - SE-Presidente Dutra com Destino a SE-Teresina, circuito2=372MW;

Total = 736MW

- * linha de 500kV - SE-Presidente Dutra com Destino a SE-Boa Esperança = 188MW;

Total de Intercâmbio para o Sistema Nordeste foi de: **736 + 188 = 924MW**

Tabela 9: Complementação da tabela 1. Demandas atendidas pelas linhas de transmissão oriundas da usina de Tucuruí no dia 06/11/03. Da SE-Imperatriz com o Sistema Interligado N-S-I e o Sistema da Chesf.

Alguns dados sobre os consumidores supridos nesta mesma rede e neste mesmo dia:

Energia despachada para os clientes Eletrointensivos:

Albrás	671MW
Alunorte	150MW
Alumar	640 MW
CCM	61MW
CVDR	74MW
Subtotal =	1.596MW
Total gerado	3.272,2MW em Tucuruí
Proporção : 1.596/3.272, 2	48,77% da eletricidade gerada, sem consideradas perdas do sistema

Energia despachada para as Concessionárias de Energia Elétrica:

Rede Celpa Belém	581MW
Rede Celpa - Tramo Oeste	32,2MW
Rede Celpa Marabá	94MW
Cemar São Luiz	267MW
Cemar Porto Franco	128MW
Subtotal	1.102,2MW
Proporção: 1.102,2/3.272,2	33,68% da eletricidade gerada em Tucuruí.

Energia despachada para o Intercâmbio regional

Para o Sistema Chesf, Nordeste **574MW**

Proporção: 574/3.272,2 **17,54%** da eletricidade gerada em Tucuruí

ANEXO 2

http://portalvale/portal/site/institucional/?epi_menuItemID=206ebcb41d9d6248aba14a10835001ca&epi_menuID=19141894444e3248aba14a10835001ca&epi_baseMenuID=6d7c86f7a4de1c071cf76dc009008a0c – Pesquisado em 05/02/2009

Pesquisa Mineral

Publicado por: [RENATA ARANTES LOURENÇO](#)



Como parte importante da nossa estratégia de crescimento, desenvolvemos extenso programa de pesquisa mineral, mantendo empreendimentos em 21 países do mundo. A prospecção abrange principalmente cobre, minério de manganês, minério de ferro, níquel, bauxita, fosfato, potássio, carvão, urânio, diamante e metais do grupo da platina.

Atuamos com equipe própria e também por meio de participações em outras empresas. Nossos empregados e colaboradores estão por todo o mundo, em escritórios e diversas bases de prospecção mineral, envolvidos em atividades de descoberta de depósitos e no estudo dos melhores caminhos para a mineração.

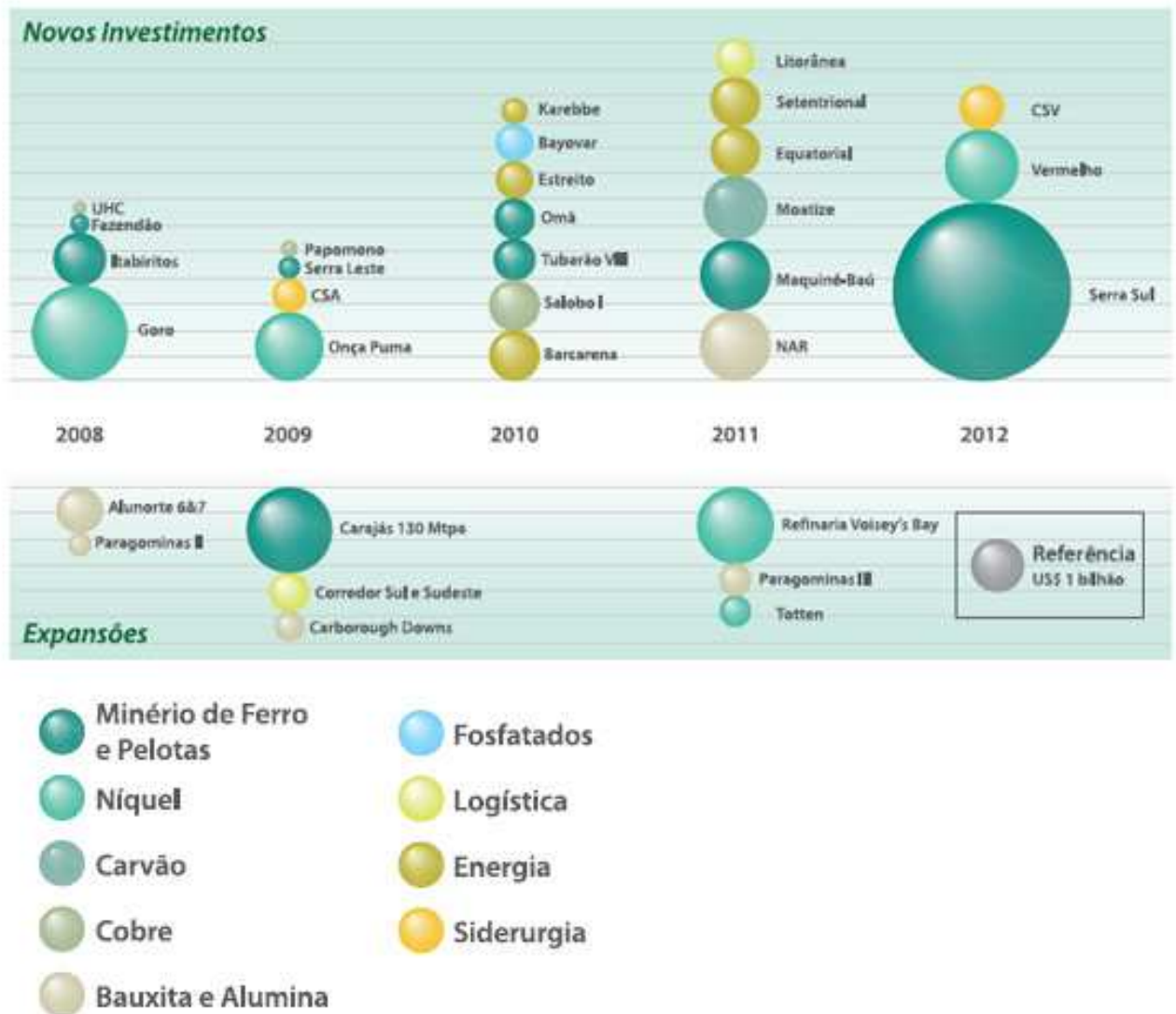
O Departamento de Desenvolvimento de Projetos Mineraias tem como missão gerar novos projetos e negócios. Para tanto, reúne competências em pesquisa geológica, processamento mineral, engenharia e economia mineral. Essas competências são gerenciadas de forma a manter baixos custos e acelerar o ciclo de descobertas, assegurando a qualidade dos projetos até o estágio de pré-viabilidade.

Para construir um portfólio de projetos avançados multi-commodity nos cinco continentes, nossa empresa conta com escritórios e bases mineraias em seis regiões, considerando a fertilidade mineral, a maturidade na produção mineral e os riscos gerenciáveis: América do Norte, América Andina, África, Eurásia, Australásia e Brasil.

Em nossa estratégia de consolidação e diversificação de áreas de negócio, temos buscado depósitos mineraias que apresentem grande tonelagem, alto teor, baixo custo operacional, capacidade de expansão e longa vida útil. No que se refere à gestão tecnológica, contamos com sofisticado complexo laboratorial, o Centro de Desenvolvimento Mineral, voltado para pesquisa e desenvolvimento na América Latina.

ANEXOS 2 - CONTINUAÇÃO

Nos próximos anos, planejamos desenvolver um vasto portfólio de projetos, em diversos segmentos de negócios:



Sistemas Produtivos

Sistema Norte

Compreende o sistema integrado mina-ferrovia-porto, composto pelas minas a céu aberto, pela planta industrial de tratamento de minério de ferro, pela Estrada de Ferro Carajás (que possui 892 quilômetros de extensão) e pelo Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, em São Luís (MA). A partir do Terminal, o minério de ferro de Carajás é exportado para clientes no mundo inteiro.

ANEXO 2 - CONTINUAÇÃO

Descoberta em 1967, a Província Mineral de Carajás possui reservas de aproximadamente 16 bilhões de toneladas de minério de ferro de alto teor. Essa qualidade permite que uma parcela expressiva dos produtos seja gerada apenas por etapas de britagem e classificação.

Carajás tem uma capacidade de produção de 100 milhões de toneladas por ano (Mta). Para permitir a adequação granulométrica dos produtos, a usina de beneficiamento possui equipamentos que realizam operações de moagem, peneiramento a úmido e classificação do minério. As etapas são: britagem primária, britagem e peneiramento secundário, britagem e peneiramento terciário, moagem, ciclonação e filtragem de pellet feed. O objetivo da usina de beneficiamento é obter três produtos de granulometrias distintas: pellet-feed, sinter-feed e granulado.

Ao chegar ao Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, o minério é estocado em pátios e, posteriormente, destinado para embarque – à exceção do pellet-feed, que segue para a produção de pelotas na Usina de São Luís.

Nossas operações de lavra, beneficiamento, estocagem, transporte ferroviário, descarga, empilhamento e embarque realizados no Sistema Norte são monitoradas nas salas de controle que ficam em Carajás e em São Luís. São centros dotados de equipamentos modernos de alta tecnologia, que garantem mais produtividade e segurança para a Vale.

Pelotização

Para viabilizar o aproveitamento econômico dos finos de minério gerados nas minas do Sistema Sul, iniciamos, no fim da década de 60, a construção de um complexo de usinas de pelletização em Vitória, no Espírito Santo. Atualmente, o complexo é constituído por sete usinas, com capacidade de produção anual de 25 milhões de toneladas de pelotas.

Duas usinas pertencem exclusivamente à Vale. As demais foram instaladas em regime de coligadas ou joint ventures com grupos siderúrgicos de Japão, Espanha, Itália e Coreia do Sul.

Em 2002, uma nova planta entrou em operação, no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM), em São Luís, no Maranhão. A capacidade de produção anual é de 4,1 milhões de toneladas de pelotas.

A partir da incorporação da Ferteco Mineração S.A., em 2003, teve início a operação na usina de Fábrica, no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, com capacidade de produção anual de 4 milhões de toneladas de pelotas.

Números

A execução da estratégia de crescimento com diversificação, lastreada em rigorosa disciplina na alocação do capital, permite a exploração eficaz das oportunidades proporcionadas pelo ciclo econômico, o que por sua vez implica em forte geração de caixa necessária para o financiamento da implementação da estratégia. O resultado desse círculo virtuoso de crescimento é a significativa e crescente criação de valor.

No primeiro semestre de 2007, a Vale vendeu 137,629 milhões de toneladas de minério de ferro e pelotas, 6,1% a mais que as 129,768 milhões de toneladas em igual período de 2006. Nos seis meses do ano, os embarques de minério de ferro alcançaram o volume de 114,563 milhões de toneladas e os de pelotas 15,205 milhões.

No segundo trimestre deste ano, as vendas dos dois produtos chegaram a 72,256 milhões de toneladas - com evolução de 7,6% em relação a abril e junho do ano anterior – sendo 62,081 milhões de toneladas de minério de ferro e 10,175 milhões de toneladas de pelotas.

ANEXOS 2 - CONTINUAÇÃO

Pelo conceito US GAAP(princípios de contabilidade geralmente aceitos nos EUA), nos primeiros seis meses de 2007, as vendas de minério de ferro e pelotas alcançaram 139,618 milhões de toneladas, com expansão de 6,2% sobre os 131,469 milhões de toneladas embarcadas em igual período de 2006. De abril a junho os embarques dos dois produtos atingiram 73,053 milhões de toneladas – o maior realizado em um segundo trimestre e 8,1% superior ao do segundo trimestre do ano passado. Do volume total vendido, 64,803 milhões de toneladas foram de minério de ferro e 8,250 milhões de toneladas de pelotas.

Principais números de 2007

O vigoroso crescimento da demanda global por minério de ferro e pelotas e a expansão da produção da Vale, proporcionada pela conclusão de projetos e ganhos de produtividade, permitiram a obtenção de sucessivos recordes dos volumes de vendas.

- . Vendas de minério de ferro e pelotas no ano: 296, 357 milhões de toneladas
- . Vendas de minério de ferro: 262,687 milhões de toneladas
- . Vendas de pelotas: 33,670 milhões de toneladas

Vale Inco

A aquisição da mineradora canadense Inco pela Vale, aprovada em janeiro de 2007, está em sintonia com nossas estratégias corporativas de longo prazo para negócios de metais não-ferrosos. Também permite nossa maior diversificação em termos de produtos, mercados e locações geográficas minerais, tudo contribuindo para a redução de riscos.

Atualmente denominada Vale Inco, a mineradora passou a fazer parte de nossa empresa como subsidiária integral, após a aprovação de sua fusão com a Itabira Canada, também subsidiária integral da Vale, em assembléia geral extraordinária dos acionistas da Inco.

As atividades globais da Vale Inco são geridas a partir da sede em Toronto, no Estado canadense de Ontário, que continua suas funções corporativas e conta com significativa participação local. Além do níquel, a empresa também é um importante produtor de cobre, cobalto e metais preciosos.

Antes da compra da Vale Inco, já vínhamos desenvolvendo alguns projetos de níquel, como o Onça Puma e Níquel do Vermelho. A previsão é de que o projeto Onça Puma, localizado no sudeste do Pará, entre em operação no final de 2008. O projeto Níquel do Vermelho, na província mineral de Carajás, no Pará, por sua vez, encontra-se atualmente em fase de implantação, com previsão de conclusão no início de 2012.

Esses projetos, juntamente com o aumento da produtividade gerado por nossas operações da Vale Inco no Canadá e na Indonésia, nos permitirão, nos próximos anos, aumentar o fornecimento à indústria de aço inoxidável e a outras aplicações.

As estimativas de crescimento anual para a demanda do consumo de aço inoxidável são de 4,5% entre 2000 e 2010 e de 3,8% entre 2010 e 2020.

Processo de Transformação

Existem dois tipos de fontes de níquel: minérios lateríticos e sulfuríticos. Os depósitos de níquel laterítico são, predominantemente, superficiais e pouco profundos. Isso facilita a lavra do mineral a céu aberto, de forma seletiva e com equipamentos de médio porte. Normalmente, a utilização de explosivos é desnecessária ou bastante restrita. O minério é lavrado com auxílio de escavadeiras e embarcado em caminhões. Para garantir a qualidade do minério, utilizamos pilhas de homogeneização antes de alimentar a usina com ele. A lavra deve ser

ANEXOS 2 - CONTINUAÇÃO

seletiva, de modo a controlar os teores de níquel, cobalto, magnésio, ferro e alumínio do material lavrado. Minérios lateríticos, como aqueles de nossas operações na Indonésia e em Nova Caledônia, são geralmente encontrados em climas tropicais mais quentes.

Processamento de minérios lateríticos

Basicamente, o passo seguinte após a mineração é a trituração — ou concentração — projetada para reduzir o tamanho do minério e separar o níquel valioso e outros minerais da rocha residual. A redução do tamanho do minério é conseguida por meio de uma combinação de trituração e esmerilhamento, este último ocorrendo em uma série de moinhos giratórios de hastes ou esferas, nos quais torrões maiores de minério são triturados pelo contato com as esferas e hastes de aço em movimento. A separação ocorre por meio de um processo de flutuação, com reagentes projetados para atrair e separar minerais da rocha. O processamento de minérios lateríticos pode ser realizado por pirometalurgia (metalurgia pelo fogo) ou hidrometalurgia (metalurgia pela água), dependendo do tipo de minério.

— **Minérios que apresentam elevados teores de níquel (>2%) e magnésio (>10%)**
> Pirometalurgia (Fe-Ni): nesse processo, após lavrado, o minério é enviado para secadores, que removem sua umidade. A seguir, é encaminhado a um forno, onde o concentrado de ferroníquel é formado, com produção de escória. O concentrado tem teor de 23% de níquel e é utilizado como insumo na indústria de aço inoxidável.

Fundição pirometalúrgica — como a empregada em Sudbury, Thompson e Indonésia — ou lixiviação ácida de alta pressão, como a que está sendo desenvolvida em Goro e Voisey's Bay, serve para prosseguir com o processamento do minério a maiores graus de pureza. Envolve aplicações de calor intenso em fundições tradicionais e uso de conversores para criar um produto mate. A lixiviação ácida de alta pressão envolve a lixiviação direta do minério com ácido a temperaturas acima dos 240 graus centígrados em autoclaves.

— **Minérios que apresentam menor teor de níquel (<2%) e teores de magnésio que não ultrapassem 8%**

Minérios sulfuríticos, como aqueles encontrados em nossas operações canadenses, ocorrem geralmente nas profundezas. Nossa Mina Creighton em Sudbury, Ontário, é um bom exemplo — operando continuamente durante mais de 100 anos, a Vale Inco minera atualmente em profundidades de 7,6 mil pés abaixo da superfície e pesquisa a viabilidade de fazê-lo em profundidades de até 10 mil pés.

> Rota hidrometalúrgica (lixiviação sob pressão — HPAL): no processo HPAL, o minério pode ser primeiramente enriquecido por meio de beneficiamento físico, com a remoção de sílica (caso existente). A partir daí, é alimentado juntamente com ácido sulfúrico a uma autoclave, onde níquel, cobalto e algumas impurezas são dissolvidos. Em seguida, a solução contendo níquel é separada do rejeito e submetida a etapas sucessivas de precipitação e refino, gerando soluções purificadas de níquel e de cobalto. A partir dessas soluções, níquel e cobalto metálicos de elevada pureza são produzidos por eletrólise. Os metais são comercializados tendo como referência os preços praticados na London Metal Exchange e destinam-se às mais diversas aplicações, incluindo a indústria de aço inoxidável, superligas para indústria aeroespacial, fabricação de moedas e indústria química.

> Processo Caron (uma combinação de piro e hidrometalurgia): aplicável a minérios com teores acima de 1,5%. Nesse caso, o minério é secado e ustulado, e lixiviado com amônia. Após a lixiviação, etapas de refino semelhantes às descritas anteriormente são também utilizadas para a produção de metais. O processo Caron tem hoje aplicação limitada devido a seus maiores custos por tonelada de níquel produzido, quando comparado aos processos de Fe-Ni e HPAL.

A refinação e a transformação eletrolítica são os últimos passos na transformação final. A Vale Inco emprega um processo próprio a vapor, conhecido como refinação de carbonilo, para produzir uma pelota de níquel de

elevada pureza. Também é usada a produção eletrolítica, na qual o mineral é removido em solução de células equipadas com catodos inertes.

Projetos

Níquel do Vermelho

Atualmente em fase de implantação pela Vale Inco, o projeto Níquel do Vermelho ocorre na província mineral de Carajás, no Estado do Pará, e visa ao aproveitamento de minério limonítico de níquel para a produção de catodos de níquel. O depósito localiza-se a cerca de 70km de Carajás e a 45km do município de Parauapebas e foi descoberto em 1974, durante interpretação fotogeológica e análise de imagens por radar. O volume estimado da reserva é de 290 milhões de toneladas de níquel.

As atividades de pesquisa e estudos conceituais aconteceram em duas fases principais:

- A primeira fase, da descoberta ao início dos anos 90, foi direcionada para a porção do depósito composta de minério do tipo saprolito (garnerita). Essa etapa apoiou um estudo de pré-viabilidade da rota de processo pirometalúrgica para a produção de ligas de feroníquel. A avaliação técnico-econômica demonstrou baixa atratividade e apenas pequena parcela do minério mostrou-se adequada ao processo escolhido. As reservas de saprolito significavam 15% dos recursos totais.
- Em 1997, investigações geológicas indicaram grande potencial de minério limonítico. Visando ao aproveitamento deste potencial, em 1999 iniciamos a segunda fase do desenvolvimento do projeto, com enfoque na rota de processo hidrometalúrgica (HPAL). Campanhas de sondagem e ensaios metalúrgicos foram realizados em 2000 e 2001.

Os resultados alcançados no programa metalúrgico mostraram grande adaptabilidade do minério do Níquel do Vermelho à rota de processo de concentração física seguida de lixiviação sob pressão. Em 2001, os resultados foram compilados em um "Scoping Study", indicando uma oportunidade "Classe Mundial" e favorecendo o desenvolvimento do projeto. Entre julho de 2002 e dezembro de 2003 foi realizado o estudo de pré-viabilidade, que confirmou a atratividade do projeto e justificou a continuidade dos trabalhos.

O Estudo de Viabilidade Final (bancável) do projeto Níquel do Vermelho, concluído em março de 2005, teve como atividades de destaque:

- Extensa campanha de sondagem (150 mil metros acumulados) e revisão da avaliação de recursos do projeto, que confirmou volume e teores e elevou a fração de recursos medidos e indicados do depósito para 94%.
- Campanhas-piloto de demonstração (HPAL) na Lakefield Orestest, Austrália, em 2004, onde foi comprovada a adequação do minério ao processo com a obtenção de excelentes índices de recuperação de níquel, qualidade do produto e estabilidade operacional

- Diagnóstico ambiental e protocolo do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (EIA-RIMA) do projeto na Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado do Pará (Sectam) em novembro de 2004.

- Execução do projeto de engenharia no Brasil e na Austrália, atendendo aos padrões internacionais para estudos de viabilidade bancável (equivalente ao FEL 3 — Independent Project Analysis Inc.). O projeto de engenharia possibilitou capturar o conhecimento resultante da consolidação da tecnologia de processamento de minérios de níquel laterítico na Austrália, bem como maximizar as sinergias com outros projetos e operações de Carajás em termos de infra-estrutura e logística

O Estudo de Viabilidade Final confirmou os índices obtidos nos estudos anteriores, o que torna o empreendimento economicamente atrativo e minimiza riscos, capturando, assim, o valor do projeto para nossa empresa. Atualmente, estamos em fase de implantação, com conclusão programada para o primeiro trimestre de 2012.

ANEXO 2 - CONTINUAÇÃO

Dados gerais do projeto:

Vida da Mina	40 anos
Reservas	290 milhões toneladas (provada e provável)
Teor “in situ”	0,8% Ni (sem cut-off)
Tipo de minério	Limonítico
Processo	High Pressure Acid Leach (HPAL)
Teor lavrado (ROM)	5.8 Mt/ano @ 1.0-1.2% Ni (alimentação do beneficiamento)
Concentrado	3.0 Mt/ano @ 1.7% Ni (alimentação da autoclave)
Produção	46 ktpa de níquel metálico
	2,8 ktpa de cobalto metálico
	0,5 ktpa de cobre metálico

Onça Puma

O projeto Onça Puma foi concebido em dezembro de 2005. Situado no município de Ourilândia do Norte, no sudeste do Pará, visa o aproveitamento dos depósitos de níquel laterítico localizados nas serras do Onça e do Puma, que se estendem pelos municípios de Ourilândia do Norte, São Félix do Xingu e Parauapebas.

O complexo Onça Puma passou por uma primeira fase de pesquisa geológica na década de 70, conduzida pela Minerasul, subsidiária da canadense Inco, hoje incorporada pela Vale. Em 2001, a Canico Resource Corp. assumiu as áreas minerais naquela região e em 2002 teve início uma extensa campanha de sondagem para a definição dos recursos geológicos, com 171,190 mil metros de sondagem diamantada executados até o final de junho de 2005.

A avaliação dos resultados da campanha revelou recursos minerais de 110,32 milhões de toneladas de minério laterítico (saprolítico) com teor médio de níquel contido de 1,72% (18%Fe₂O₃ 25%MgO) e 314 milhões de toneladas de níquel limonítico, com teor médio de 0,75% de níquel contido (33%Fe₂O₃ 2%MgO).

Mais de 500 toneladas de amostras de minério foram enviadas para a Noruega e Estados Unidos para comprovação de adequabilidade do processo ao tipo de minério, por meio de testes metalúrgicos, com excelentes índices de recuperação de ferroníquel, qualidade e estabilidade operacional.

Nossa previsão de investimentos no projeto Onça Puma em 2007 totaliza US\$ 658 milhões. Dados gerais do projeto:

Vida da Mina	36 anos
Reservas	110,32 milhões de toneladas (provada e provável)
Teor “in situ”	2,4%-1,6% Ni (para os primeiros 20 anos)
Tipo de minério	Laterítico
Processo	RKEF - Rotary Kiln Electric Furnace (calcinador rotativo de forno elétrico)
Teor lavrado (ROM)	2,5 Mt/ano @ 2,1% Ni (alimentação do beneficiamento)
Concentrado	3.0 Mt/ano @ 1.7% Ni (alimentação da autoclave)
Produção	52 ktpa de níquel contido

ANEXOS 2 - CONTINUAÇÃO

O Processo

A usina de beneficiamento da Mineração Onça Puma fará uso da tecnologia RKEF – Rotary Kiln Electric Furnace (calcinador rotativo e forno elétrico). No processo, que é totalmente pirometalúrgico, utilizamos uma combinação homogênea de diferentes classes de minérios, a fim de garantir uma relação otimizada dos teores de magnésio e sílica contidos.

Depois de britado, o minério passa por um processo de secagem e despoeiramento para, finalmente, sofrer redução e fusão em fornos de calcinação e elétricos, com saída do ferromnês como produto final.

Transformação

Produção de Bauxita

A produção de bauxita compreende as seguintes atividades: lavra a céu aberto pelo método de tiras, beneficiamento e transporte.

A lavra, ou seja, a produção de bauxita, é inteiramente mecanizada, sem uso de explosivos e prevê não apenas a recomposição da área lavrada, com reposição do solo retirado, mas também o reflorestamento, com plantio de espécies nativas.

O beneficiamento é feito pela lavagem da bauxita bruta para remover minerais de argila que são descartados como rejeito. Cerca de 70% a 75% da massa é produto. Na Mineração Rio do Norte (MRN), o produto é embarcado a granel em navios tipo “Panamax” com umidade de 5% (no caso do produto seco para exportação) e 12% (no caso de produto úmido para o mercado interno).

A bauxita produzida pela MRN é transportada por 1.000km ao longo dos rios Trombetas e Amazonas e desembarcada no porto de Vila do Conde, de onde é conduzida à Alunorte.

A bauxita produzida em Paragominas é transportada na forma de polpa (50% em sólidos) para a Alunorte por um mineroduto de 244km. Na Alunorte, a bauxita é desaguada, até 12% de umidade, através de filtros hiperbáricos (filtros a discos inseridos dentro de uma câmara pressurizada).

Produção de Alumina

Para produção de alumina, a bauxita é moída com solução cáustica e cal em moinhos conjugados, formando uma polpa de bauxita.

A polpa e solução pré-aquecida de soda cáustica são transferidas para os digestores, onde o hidrato de alumina é dissolvido, formando o licor de aluminato de sódio e impurezas.

A solução que contém o aluminato de sódio e os resíduos de bauxita em suspensão são transferidos para os espessadores onde, com auxílio de agentes flocculantes, os resíduos são separados por sedimentação, formando uma lama densa, a “lama vermelha”. Essa é então lavada e filtrada para recuperar o residual de soda, sendo transferida com baixo teor de umidade para o depósito de rejeitos.

Um conjunto de filtros verticais remove os últimos traços de partículas suspensas na solução de aluminato (“licor rico”). Essa solução é resfriada e transferida para os precipitadores, onde é adicionada à semente, cristais finos de hidrato de alumina. A suspensão é mantida em agitação nos precipitadores por muitas horas. Depois o hidrato produto é separado da semente por meio de classificação.

ANEXO 2 - CONTINUAÇÃO

A polpa de hidrato produto é filtrada e lavada. Fornos calcinadores estacionários de leito fluidizado recebem o hidrato úmido, que, em ambiente de alta temperatura (1000°C), forma o óxido de alumínio, mais comumente conhecido por alumina.

Produção de Alumínio

Nosso alumínio é produzido pela Albrás e a Valesul. A primeira basicamente gera alumínio primário sob a forma de lingotes. Já a Valesul fabrica alumínio na forma de lingotes puros e ligados, além de tarugos para extrusão.

A obtenção industrial do alumínio metálico se faz pelo processo Hall-Heroult, pela redução eletrolítica da alumina (Al₂O₃), dissolvida num banho de fluoretos fundidos. O processo se desenvolve em fornos especiais, revestidos de carbono também chamados cubas eletrolíticas, a uma temperatura de aproximadamente 960°C.

A passagem da corrente elétrica do anodo para o catodo decompõe a alumina em alumínio e oxigênio. Esse reage com o carbono do anodo – eletrodo positivo – e o metal se deposita no catodo - eletrodo negativo – sob a forma líquida.

O alumínio líquido retirado periodicamente das cubas é transferido em cadinhos até os chamados fornos de espera na fundição. O metal segue então para máquinas de fundição, onde é conformado e resfriado para produção de lingotes ou tarugos.

Unidades Industriais

Atuamos no mercado de bauxita, alumina e alumínio por meio das seguintes unidades industriais:

Albrás

Nossa participação acionária na Albras é de 51%. Os 49% restantes pertencem a NAAC (Nippon Amazon Aluminium Company).

Localizada em Barcarena, no Pará, a Albras começou a operar em 1985, com a fabricação de anodos para uso nas cubas eletrolíticas.

Baseado em tecnologia Pechiney, modificado pela Mitsui Aluminum, o projeto previa a instalação de 864 cubas, em duas fases, cada uma com capacidade de 160 mil toneladas por ano, sendo que 240 cubas operariam com 135kA e as demais com 150kA. Hoje, após a implementação de diversas melhorias, a produção atinge cerca de 450 mil toneladas por ano, com suas cubas operando em torno de 177kA.

Praticamente toda a produção é voltada para a exportação de lingotes de 22 kg. A alumina, principal insumo para a produção do alumínio, é fornecida pela Alunorte. A energia utilizada provém da Eletronorte (empresa estatal), garantida por um contrato de longo prazo.

Com níveis excelentes de segurança do trabalho, emissões de poluentes e qualidade de metal, a Albras se encontra entre os melhores "smelters" do mundo. A empresa possui certificados ISO 9001 – Sistema de Garantia de Qualidade, ISO 14001 (Sistema de Controle Ambiental), OHSAS 18001 (Sistema de Gerenciamento de Segurança e Saúde Ocupacional) e SA 8000 (Sistema de Gestão de Responsabilidade Social).

Visite o site da empresa: www.albras.net

ANEXO 2 - CONTINUAÇÃO

Valesul

Localizada no bairro de Santa Cruz (RJ), a Valesul fica a 50km do centro da capital do Estado do Rio de Janeiro, na Região Sudeste do Brasil. Sua fábrica, originalmente desenhada com capacidade nominal para produzir 86 mil toneladas por ano de metal primário, utiliza tecnologia da Reynolds Metals.

Sua implantação começou em meados de 1979, tendo as primeiras cubas iniciado a operação em fevereiro de 1982. Atualmente, com algumas melhorias de processo e incremento na corrente de operação, a produção alcança cerca de 95 mil toneladas por ano. Atua também na refusão de sucata para clientes, tendo já atingido volume de cerca de 22 mil toneladas por ano de reciclagem.

Sua linha de produção de lingotes ligados é voltada predominantemente para o atendimento do mercado doméstico, já a produção de tarugos para extrusão divide-se entre os mercados doméstico e internacional. A Valesul é suprida em cerca de 54,1% das suas necessidades anuais de alumina pela Alunorte. A Valesul alcançou a auto-suficiência em 90% de sua necessidade de energia elétrica com a operação de cinco hidrelétricas próprias, localizadas em Minas Gerais, e participação da UHE Machadinho, em Santa Catarina, totalizando potência média gerada de 156MW.

Em julho de 2006, a Vale adquiriu a totalidade da Valesul, após a aquisição da participação acionária do seu antigo sócio no empreendimento. A Valesul possui as certificações ISO9001 - Sistema de Garantia de Qualidade, ISO14001 - Sistema de Controle Ambiental e OHSAS18001 - Sistema de Gerenciamento de Segurança e Saúde Ocupacional, reunidas no Sistema de Gerenciamento Integrado (SGI). Visite o site da empresa: www.valesul.com.br

Alunorte

A Alunorte está instalada em Barcarena, no Estado do Pará. Suas operações foram iniciadas em julho de 1995 e nossa participação acionária é de 57,03%.

A refinaria de alumina é a maior do mundo, com capacidade de produzir 4,4 milhões de toneladas por ano. Estamos realizando novos investimentos e há expectativa de que, em meados de 2008, a planta opere em capacidade plena de 6,2 milhões de toneladas anuais.

Sessenta por cento da necessidade de bauxita da Alunorte são supridos pela MRN, que envia o produto por navios de até 60 mil dwt (deadweight). Paragominas também fornece bauxita, desde abril de 2007, por meio de processo inédito: transporte do minério em polpa aquosa por um mineroduto de 244 quilômetros de extensão e desaguamento em filtros hiperbáricos. Quando todo o sistema estiver operando em capacidade plena, a mina de Paragominas irá suprir 40% da necessidade atual de bauxita da planta.

O porto de Vila do Conde, adjacente, é operado de forma compartilhada com a Albras e a Companhia Docas do Pará (CDP). Além de fornecer alumina para a Albras e a Valesul, a Alunorte exporta mais de 80% de sua produção.

A Alunorte tem recebido sucessivos prêmios pelo desempenho em Segurança e Meio Ambiente, e dispõe das certificações ISO 9001, ISO 14001 e OSHAS 18001. Trata-se da primeira empresa brasileira a receber a Certificação de Sistema Integrado (SGI), que compreende a unificação das três certificações citadas. A Certificação AS 8000 está em processo de implantação.

Visite o site da empresa: www.alunorte.net

ANEXO 2 - CONTINUAÇÃO

MRN

As instalações da Mineração Rio do Norte ficam às margens do rio Trombetas, no município de Oriximiná, no Pará. Nossa participação acionária na empresa é de 40%. A MRN possui certificações ISO 14001 e OHSAS 18001.

O local consiste em um núcleo urbano com completa infra-estrutura social e de saneamento básico. É dotado de alojamentos para solteiros, escola, hospital, clubes, cinema, supermercado, bancos, aeroporto para aeronaves Boeing 737 e tecnologia de ponta em comunicação (nacional e internacional).

Atualmente, cinco minas estão em operação: Almeidas, Bacaba, Aviso, Saracá V e Saracá W. A capacidade total de produção é de 16,3 milhões de toneladas por ano (Mtpa) de bauxita com teores médios de 50% de alumina, 4% de sílica reativa, granulometria abaixo de 3 polegadas e umidade de 5% a 12%.

O minério é britado, lavado e transportado até a área do porto de Vila do Conde por uma ferrovia de 30 quilômetros, onde é parcialmente seco e embarcado em navios de até 60 mil dwt. De toda a produção da MRN, 60% são transformados em alumina na Região Norte do Brasil e 40% no exterior. Estima-se que os recursos minerais existentes sejam suficientes para 50 anos de produção.

A política ambiental da MRN visa a reduzir o impacto negativo ao meio ambiente por meio da proibição da caça em áreas do projeto; recuperação e reflorestamento das áreas mineradas (onde é feito o lançamento dos rejeitos); e eliminação de lançamento de resíduos na atmosfera, rios e lagos.

Visite o site da empresa: www.mrn.com.br

Paragominas

A mina de bauxita de Paragominas está localizada no leste do estado do Pará, região Norte do Brasil e a Vale detém participação acionária de 100% no empreendimento.

A mina iniciou sua fase de produção comercial, com capacidade de 5,4 milhões de toneladas por ano, em março de 2007 e o investimento para este nível de produção foi de US\$ 352 milhões.

A bauxita de Paragominas possui teores médios de 50% de Alumina Aproveitável, 4% de Sílica Reativa, granulometria abaixo de 65#" e umidade de 12 a 13%.

A mina de Paragominas utiliza o método strip mining de extração e possui uma usina de beneficiamento que inclui moagem e um mineroduto com 244 quilômetros de extensão para o transporte da bauxita, na forma de polpa com 50% de sólidos, para a Alunorte.

A primeira expansão da mina de Paragominas já está em andamento, devendo estar completa até abril de 2008 em conjunto com a terceira expansão da Alunorte. A mina atingirá 9,9 milhões de toneladas por ano, o que exigirá um investimento adicional estimado de US\$ 196 milhões.

ANEXO 2 - CONTINUAÇÃO

Números

Um dos fatores de medição do sucesso de uma companhia são seus resultados traduzidos em números. Com receita de R\$ 5,529 bilhões e EBITDA de R\$ 2,101 bilhões gerados para a empresa em 2007, o alumínio é atualmente o terceiro maior negócio no portfólio da Vale.

- Produção de 9,1 milhões de toneladas de bauxita;
- Produção de 4,3 milhões de toneladas de alumina;
- Produção de 551 mil toneladas de alumínio primário.

Transformação

Além da qualidade de seu minério, a mina do Sossego se beneficia da infra-estrutura que desenvolvemos para produção e escoamento do minério de ferro, com destaque para a Estrada de Ferro Carajás (EFC) e o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM).

A mina está ligada ao TMPM por um eficiente sistema de transporte, que emprega o modal rodoviário – de Canaã dos Carajás até Parauapebas – e a Estrada de Ferro Carajás, com 890 quilômetros de extensão. O concentrado é embarcado no porto de Ponta da Madeira.

O Complexo Sossego é formado por duas cavas principais. A cava do Sequeirinho, primeira a ser minerada, atingirá cerca de mil metros de largura por 2,8 mil metros de comprimento e profundidade de 450 metros. Já a cava do Sossego, um pouco menor, terá em torno de mil metros por 800 metros de diâmetro e até 350 metros de profundidade.

A lavra na mina do Sossego é feita a céu aberto, em bancadas, com atividade de desmonte, carregamento e transporte de minério e de estéril. As áreas de operação e infra-estrutura da mina desenvolvem suas atividades de acordo com quatro processos básicos: planejamento de lavra, com determinação da quantidade de minério a ser retirada para alimentar o britador primário; perfuração e desmonte da rocha; carregamento, com a utilização de escavadeiras e carregadeiras; e transporte até o britador primário.

Após ser reduzido na estação de britagem primária, o minério segue por uma correia transportadora de 4 quilômetros de extensão até a usina, onde passa pelos processos de moagem e concentração.

Na usina, a polpa de minério passa pelos moinhos SAG (moagem semi-autógena) e vai para a etapa de ciclonagem, onde é classificada de acordo com o tamanho das partículas. Segue para tanques de 160 metros cúbicos, onde a adição de alguns reagentes dá origem à etapa de flotação. Em seguida, inicia-se o processo de desaguamento, realizado no espessador. A maior parte da água é retirada e, posteriormente, passa por filtragem, onde o concentrado atinge a umidade ideal para seu transporte.

Minas

Publicado por: [RENATA ARANTES LOURENÇO](#)

No início dos anos 90, nossa equipe de pesquisa identificou mais de cem anomalias magnéticas que revelaram a existência de calcopirita, o principal minério de cobre, na província mineral de Carajás. Pesquisas posteriores confirmaram a existência de quatro depósitos de cobre: Sossego, Salobo, 118 e Alemão.

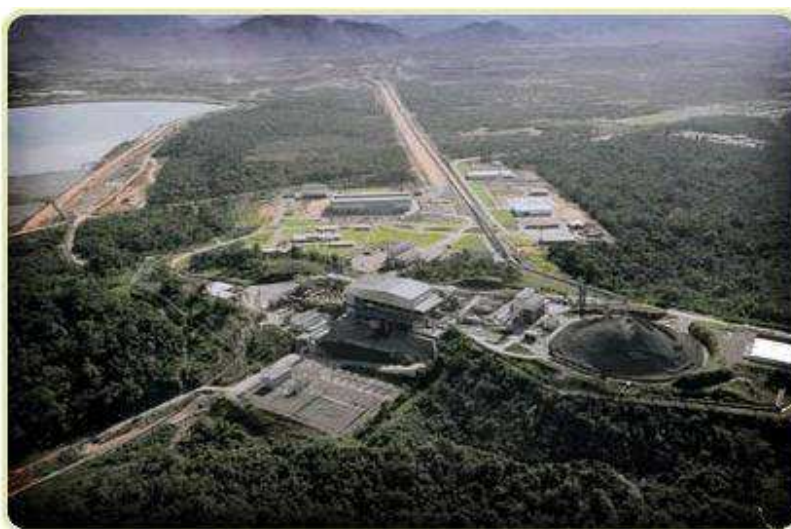
A mina de cobre do Sossego foi descoberta em 1997. Sua construção foi iniciada em 2002, e o primeiro embarque aconteceu em junho de 2004, o que representa tempo recorde na implantação de um projeto de cobre.

ANEXO 2 - CONTINUAÇÃO

A inauguração nos inseriu no mercado mundial deste minério. O primeiro embarque foi de 16,5 mil toneladas de concentrado de cobre e teve como destino a empresa alemã Norddeutsche Affinerie, tradicional produtor europeu de produtos de cobre.

As atividades de marketing e vendas, assim como administração de vendas e programação de embarques, são realizadas pelo Departamento de Comercialização de Metais Básicos, no Rio de Janeiro. Temos contratos de longo prazo com diversos smelters da Ásia, Europa e Brasil, e embarcamos cerca de 20 navios por ano de concentrado de cobre da mina do Sossego.

A usina do Sossego tem capacidade para produzir cerca de 500 mil toneladas de concentrado de cobre por ano. Trata-se de uma planta convencional, que opera de acordo com um processo consolidado na indústria do cobre.



Projeto	Start-up	Participação Acionária	Produção Estimada		Reserva (milhões ton)	Teor de Cobre (%)
			Cobre t/ano	Ouro t/ano		
Sossego	Em operação	CVRD(100%)	140,000	3.5	250	1
118/Oxide	18 2008	CVRD (50%) BNDES (50%)	36.000	-	78	0,85
Salobo	1S 2010	CVRD (100%)	100,000	4	302	0,98

FOTOS

Foto1:Entrada Principal da Albrás

Fonte: Autor, setembro 2007.



Foto2: Circuitos Transmissão 500kV Vila Conde

Fonte:Autor, Setembro 2007.



Foto3: Porto da Alunorte – Docas

Fonte:Autor, Setembro 2007.

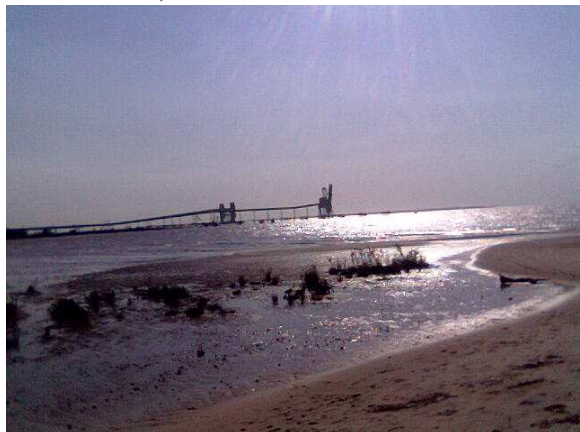


Foto4: Pátio de Empilhamento

Fonte: Autor, Setembro 2008



Foto5: Silos de Carregamento

Fonte: Autor, Setembro 2008.



Foto6: Transportador de Correias

Fonte: Autor, Setembro 2008



Foto7: Carregamento de Minério
Fonte: Autor, Outubro 2008



Foto8: Visão Aérea da Mina de Ferro Carajás
Fonte: Autor, Setembro 2008



Foto9: Visão Mirante Industrial da Mina de Ferro Carajás
Fonte: Autor, Outubro 2007



Foto10: Visão Aérea da Planta Industrial da Mina de Ferro Carajás
Fonte: Autor, Março 2008



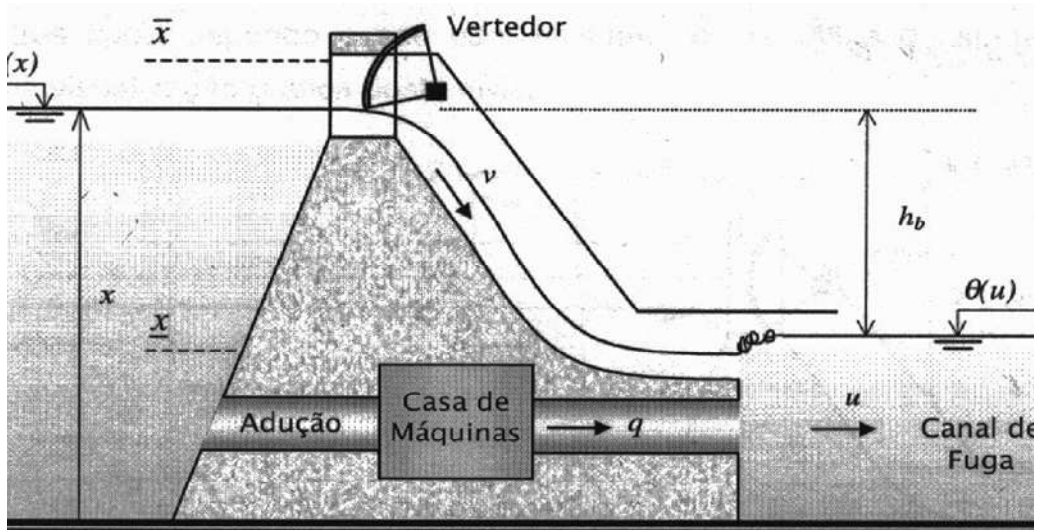


Figura 6. Esquema de uma Usina Hidrelétrica

Fonte: Cicogna (2001)

x : volume do reservatório [hm^3] (hectômetros cúbicos);

\bar{x} : volume do reservatório [hm^3] (hectômetros cúbicos);

\underline{x} : volume mínimo operativo do reservatório [hm^3];

$x_{\text{útil}}$: volume útil do reservatório [hm^3];

u : vazão descarregada pela usina (defluência) [m^3/s];

q : vazão turbinada pela casa de máquinas (engolimento) [m^3/s];

v : vazão descarregada pelo vertedor (vertimento) [m^3/s];

$\phi(x)$: cota de montante do reservatório (função do volume) [m];

$\theta(x)$: cota de jusante do canal de fuga (função da defluência) [m];

$h_b = (\phi(x) - \theta(u))$: altura de queda bruta [m].

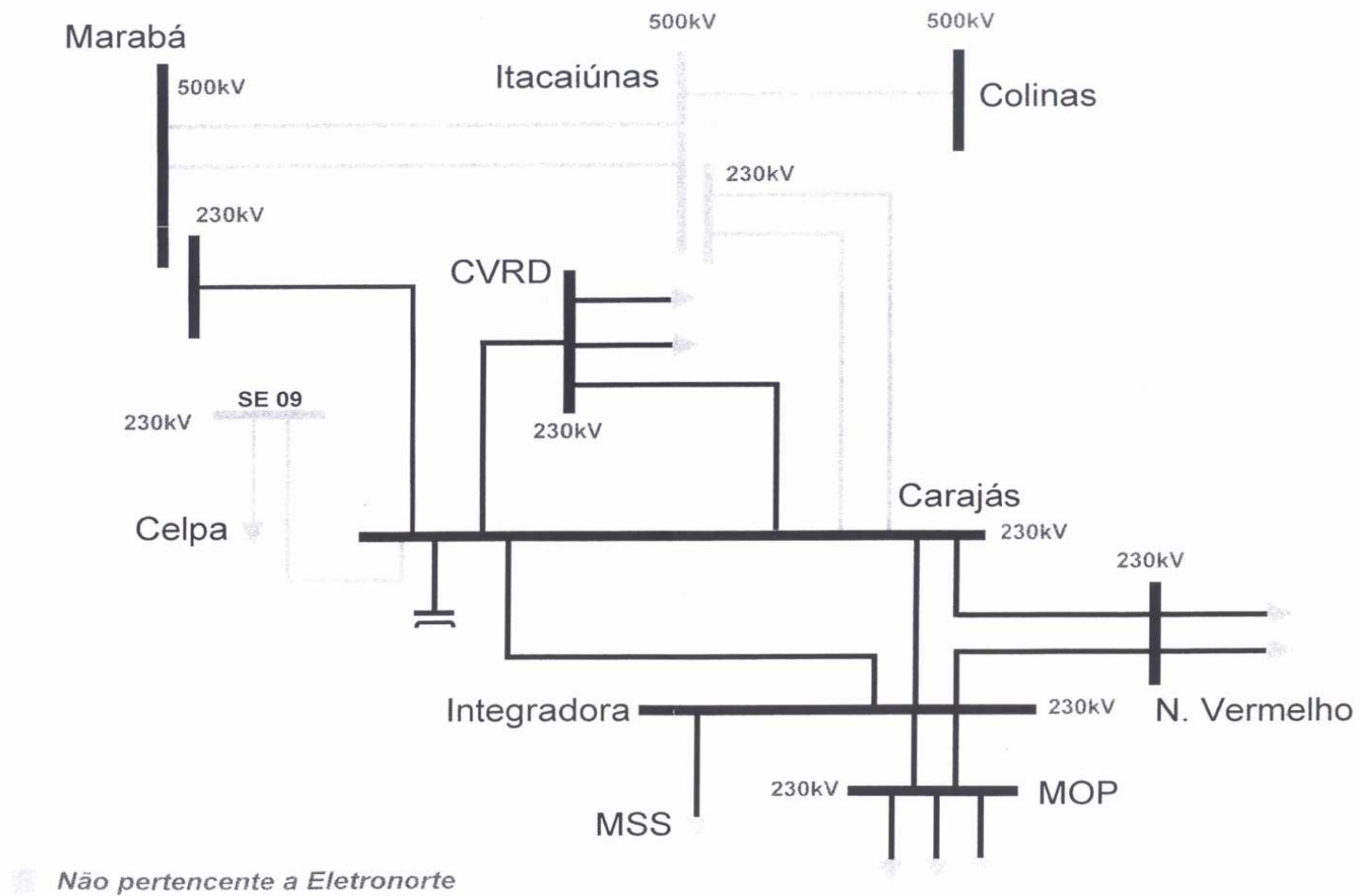


Figura 7. Mapa elétrico – SE Integradora.

Fonte: Eletronorte, Novembro 2008

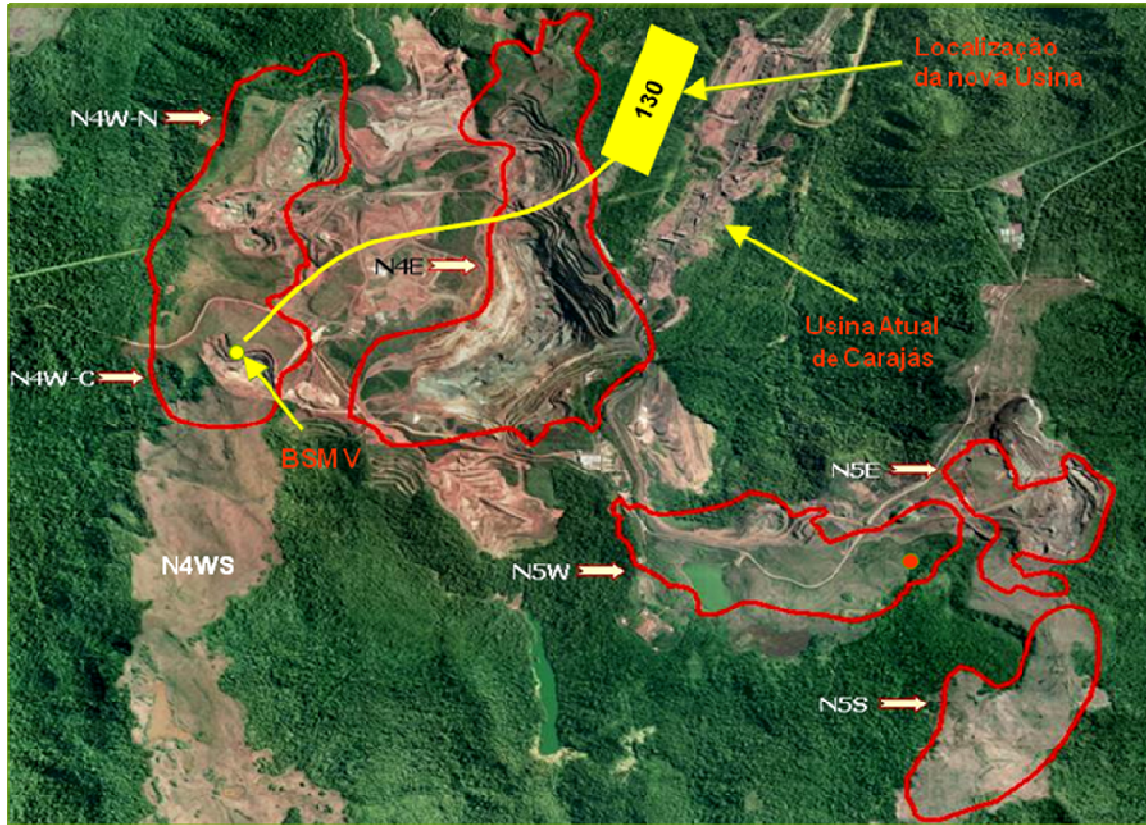


Figura 8. Localização da Mina do Projeto Adicional 30Mtpa.

Fonte: DNPM, 2009 - Adaptado pelos Autores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Allis, Mineral Systems – Manual de Britagem Faço / Svedala 5ª Edição ano 1994.
- Azevedo, Rogério et al. Grupo de estudo de análise e técnicas de sistemas de potência - GAT. Análise das condições de segurança operativa do sistema interligado N/NE frente a contingências múltiplas. XVI SNPTEE, Campinas,SP, GrupoIV, outubro-2001, 6p.
- Bermann, Célio. *Os limites dos aproveitamentos energéticos para fins elétricos: uma análise política da questão energética e de suas repercussões sócio-ambientais no Brasil*. Campinas, SP: Planejamento Energético, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, novembro-1991, 309p. Tese (Doutorado).
- Bermann, Célio. *Energia no Brasil: para quê? para quem? Crise e alternativas para um país sustentável*. São Paulo: FASE -Livraria da Física-USP, 2002, 139p.
- Bermann, Célio. *Exportação brasileira de produtos intensivos em energia: implicações sociais e ambientais*. Projeto Brasil Sustentável e Democrático. Fórum Brasileiro de ONG's e Movimentos Sociais para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, junho 2002.
- Camargo, C. Celso de Brasil. *Transmissão de energia elétrica: aspectos fundamentais*. 3. ed.rev. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 2006. 277p.
- Cicogna, Marcelo, Augusto. *Modelo de planejamento da operação energética de sistemas hidrotérmicos a usinas individualizadas orientado por objetos*. Campinas, SP: Departamento de Sistemas, Faculdade de Engenharia e Computação, UNICAMP, fevereiro-1999. Tese (Mestrado).
- Cicogna, Marcelo, Augusto. *Planejamento da operação energética do sistema elétrico brasileiro. Análise crítica das responsabilidades do planejamento energético na crise do setor elétrico*. MONOGRAFIA: DENNIS-FEEC-UNICAMP, junho-2001, 57p. (b)
- Cicogna, Marcelo, Augusto. *Características da produção de energia elétrica*. APOSTILA: DENNIS-FEEC-UNICAMP, março-2001, 55p. (a)
- Eletrobrás. *Manual dos Inventários Hidroelétricos de Bacias Hidrográficas*. Rio de Janeiro, 1997.

Eletronorte. Coordenação Técnica do Departamento de Projetos, *Usina Hidrelétrica de Tucuruí, memória do empreendimento*. Brasília - DF, 1988, v.1, 201p.

IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo, ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção, 4º Congresso Ibero-Americano de Manutenção, Trabalhos técnicos, Nelson Cabral de Carvalho & Rogério Arcuri Filho p289.

Pinto, Alan Kardec – Xavier, Júlio Aquino Nascif. *Manutenção função estratégica*, Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2003, PP 25, 26, 35.

Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Documento Planejamento anual da operação energética* DF, (RE 3/048/2008), 2008.

Shereiber, Gerhard, Paul. *Usinas Hidrelétricas*. São Paulo: E. Blucher, Engevix, 1980, 235p.

Silva Filho, Matheus Teodoro de. *Fundamentos de eletricidade*. Matheus Teodoro da Silva Filho. – Rio de Janeiro: LTC, 2007, 150p.

Fontes de informações impressas por empresas e órgãos públicos

- Parecer Técnico Nº 235/2001 - IBAMA/DLQA/COGEL.
- 1º Seminário da UHE de Lajeado - CIMI, SINTET, APA-TO, realizado em 31/10/1998, em Palmas.
- Mobilização do Povos Indígenas e Ribeirinhos - CIMI -GO/TO.

Fontes de informações eletrônica

- * Eletronorte – Centrais Elétricas Norte do Brasil, disponível no site www.eln.gov.br . Acesso no ano de 2008 a fev 2009.
- *ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, disponível no site www.aneel.gov.br . Acesso ano de 2008 a fev 2009.
- * ELETROBRÁS - Centrais Elétricas do Brasil, disponível no site www.eletrobras.gov.br. Acesso ano de 2008 a fev 2009.

* ANA - Agência Nacional de Águas, disponível no site www.ana.gov.br . Acesso ano de 2008 a fev 2009.

* ONS - Operador Nacional do Sistema, disponível no site www.ons.org.br. Acesso ano de 2008 a março 2009.

* EFEI ENERGY NEWS. Acesso ano de 2008 a março 2009. Disponível em: www.energynews.efei.br.

* Gazeta Mercantil. Acesso ano de 2008 a março 2009. Disponível em: www.gazetamercantil.com.br.

[1] /pt.wikipedia.org/wiki/ Acesso em 14/03/2009

[2] UFOP Acesso em 17/03/2009

http://www.ufop.br/index.php?option=com_content&task=view&id=2273&Itemid=196

[3] QUÍMICA NOVA NA ESCOLA **Fundamentos e Aplicação da Flotação como Técnica de Separação de Misturas** N° 28, MAIO 2008

[2] [4] [6] Acesso em 13/03/2009

http://www.metsominerals.com/inetMinerals/Brazil/mm_Brazilhome.nsf/FR?ReadForm&ATL=/inetMinerals/Brazil/mm_Brazilcontent.nsf/WebWID/WTB-050301-2256F-87F58

[5] Acesso em 10/03/2009 http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672005000100010&script=sci_arttext