



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE RECURSOS MINERAIS

PAPA AMADOU GUEYE

ESTUDO DAS ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE PARA A EXPLOTAÇÃO DE JAZIDA DE FOSFATO NO SENEGAL

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Administração e Política de Recursos Minerais.

Orientador: Professor Doutor Saul Barisnik Suslick

Este exemplar corresponde à redação final da dissertação defendida por PAPA AMADOU GUEYE e aprovada em 29/10/1998

Saul Barisnik Suslick ORIENTADOR

CAMPINAS - SÃO PAULO

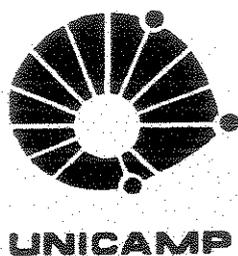
Outubro - 1998

9903/15

G939e 36379/BC

ERRATA

Página	Lugar na página	Onde se lê	Leia-se
ii	Linha 10	Dr. Luis Augusto Milani	Dr. Luis Augusto Milani Martins
iii	Linha 14	...futuros	...futuros
vi	Linha 23	...de Senegal	...do Senegal
vi	Linha 31	...sócio-econômica	...sócio-econômica
vi	Linha 34	...mineração de fos.	...mineração de fosfato
vii	Linhas 04, 06, 08, 10, 12	Maiúsculas	Retirar as maiúsculas na Segunda linha das frases
viii	Linha 03	Custos operacional...	Custos operacionais
viii	Linha 21	...transporte em T.	...transporte em Tobene
ix	Linhas 01 e 02	...phosphates	...Phosphates
01	Linha 17	...(KMF)	...Keur Mor Fall
07	Linha 06	...rocha fosfática	...concentrado fosfático
10	Linha 05	...na seguida	...em seguida
10	Penúltima linha	...peneiramento, classificação	Retirar "peneiramento"
11	Última linha		Acrescentar "energia e transporte"
14	Linha 05	...pois a produção	...sendo a produção
15	Tabelas I.4 e I.5	Data das tabelas	Acrescentar a data aos títulos das tabelas: 1987
17	Linhas 04, 06	...consumo de rocha fosfática	...produção de rocha fosfática
18	Linha 11	...do IFA	...da IFA
18	Linha 13	...1,5 t	...1,5 milhões de t
19	Linha 14	...deve ter	...deverá ter
20	Linha 06	(...1996b...)	(...1996...)
20	Linha 14	...a demanda da rocha	...a demanda por rocha
23	Linha 10	Banco mundial	World Bank (1995)
28	Linha 02	O SERMI	a SERMI
28	Linha 10	...situam-se	...situaram-se
32	Linha 10	...já exploradas	...já explotadas
41	Linha 15	Ocorrência um lençol	Ocorrência de um lençol
41	Linha 15	...lençol de 20 m...	...lençol de 2 m...
42	Linha 13	"hors couche"	"fora da camada mineralizada"
43	Tabela III.2	-	Acrescentar o total das quantidades de materiais
49	Linha 21	...ligados engenharia...	...ligados a engenharia...
50	Tabela III.6	...Engenharia	Engenharia de projeto
52	Linha 10	...tributo s/ faturamento	...tributo sobre faturamento
52	Linha 18	-	Os parâmetros utilizados na construção dos fluxos de caixa são expressos em unidade por ano
59	Referência num 7	...Ltd., 1996b. (Five...)...	...Ltd, 1996. (Five...)...
Anexo 2		Faixas granulométricas	Expressão das faixas granulométricas



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE
RECURSOS MINERAIS**

PAPA AMADOU GUEYE

**ESTUDO DAS ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE PARA A EXPLOTAÇÃO DE
JAZIDA DE FOSFATO NO SENEGAL**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como
requisito parcial para obtenção do título de Mestre em
Administração e Política de recursos Minerais.

Orientador: Professor Saul Barisnik Suslick - UNICAMP

CAMPINAS - SÃO PAULO

Outubro - 1998



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
V.	Ex.
TCMBO BC	36379
PROC.	229/99
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	29/04/99
N.º CPD	

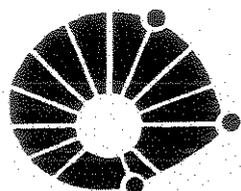
CM-00120371-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA I.G. UNICAMP

G939e Gueye, Papa Amadou
 Estudo das alternativas de transporte para a exploração de jazida de fosfato no Senegal.- Papa Amadou Gueye.- Campinas,SP.: [s.n.], 1998.

Orientador: Saul Barisnick Suslick
 Dissertação (mestrado) Universidade Estadual e Campinas, Instituto de Geociências

1. Indústria Mineral - Fosfato - Senegal. 2. Fosfato - Transporte.
 3 Política Mineral. I. Suslick, Saul Barisnick. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE
RECURSOS MINERAIS**

AUTOR: PAPA AMADOU GUEYE

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ESTUDO DAS ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE PARA
A EXPLOTAÇÃO DE JAZIDA DE FOSFATO NO SENEGAL**

ORIENTADOR: PROFESSOR SAUL BARISNIK SUSLICK

Aprovada em: ____/____/____

PRESIDENTE: PROF SAUL BARISNIK SUSLICK

EXAMINADORES:

Prof. Dr. SAUL B. SUSLICK

Prof. Dr. CELSO P. FERRAZ

Prof. Dr. WILSON T. DE SOUZA

Campinas, de de

Aos meus pais.

Agradecimentos

Com prazer, gostaria de agradecer às seguintes pessoas e instituições:

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Instituto de Geociências da UNICAMP pelo apoio financeiro para visitar a jazida fosfática de Tobene no Senegal.

À ICS (*Industries Chimiques du Sénégal*) pela ajuda financeira e apoio para a realização deste trabalho.

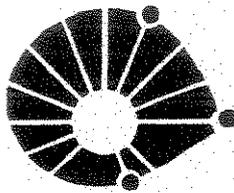
Ao meu orientador, o Prof. Dr. Saul B. Suslick, pela sua atenção e experiência colocadas à disposição.

Aos professores do DARM: Dr. Celso P. Ferraz, Dr. Iran F. Machado, Dr. Hildebrando. Herrmann Dr. Luis Augusto Milani e Dra. Raquel Cavalcanti, pelos ensinamentos e trocas de idéias.

Aos engenheiros e especialistas, Dr. Gustavo Magalhães da INNOVA CONSULTORIA LTDA-MG, Dr. Noé Chaves, diretor de processo da NATRON ENGENHARIA-MG e ao Dr. Sanai Kosugi da SUMITOMO METALS, pelas informações fornecidas sobre fosfato e operações mineiras.

Ao pessoal de apoio do IG: secretárias e bibliotecárias, pela atenção e paciência.

Aos colegas, pela oportunidade de convívio e troca de idéias.



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS/
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/DEPARTAMENTO DE
ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE RECURSOS MINERAIS**

**MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE
RECURSOS MINERAIS**

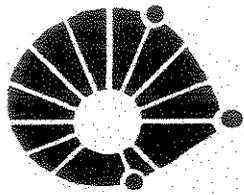
**ESTUDO DAS ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE PARA A EXPLOTAÇÃO DE
JAZIDA DE FOSFATO NO SENEGAL**

RESUMO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PAPA AMADOU GUEYE

O sistema de transporte interno de minério é um dos principais aspectos relacionados à produção com baixos custos. Para a jazida fosfática de Tobene com uma reserva lavrável de 50.000.000 de t de P_2O_5 que a ICS prevê o início da lavra em 2001, as alternativas de transporte do minério representam um dos aspectos críticos em relação à viabilidade do projeto. Dentro deste contexto, este trabalho analisa quatro alternativas preliminares de transporte do minério de fosfato que deve ser extraído e movimentado da mina à usina de beneficiamento: o transporte por caminhões fora de estrada (T_{cam}), o transporte por mineroduto (T_{min}), o transporte por correia transportadora (T_c) e o transporte por cápsulas (T_{cap}). Os resultados desse estudo mostram que o T_{cam} cujo dimensionamento para o transporte unicamente do minério prevê 9 caminhões, poderá vigorar em Tobene somente durante a lavra de Tobene-oeste, pois o trajeto dos caminhões é quase equivalente ao atual. O T_{min} revela-se com custo menor e mais rentável que o T_c , entretanto, existe a possibilidade de eliminar um ou mais equipamentos que acompanham o T_c , podendo assim tornar seu investimento mais competitivo do que o T_{min} . Quanto ao T_{cap} ele é apresentado como uma alternativa marginal, para referência e comparação para futuros estudos.



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS/
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/DEPARTAMENTO DE
ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE RECURSOS MINERAIS**

**MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE
RECURSOS MINERAIS**

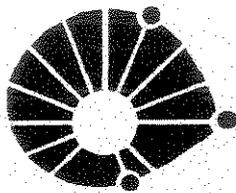
**ROM TRANSPORTATION ALTERNATIVES STUDY FOR A PHOSPHATE MINE
EXPLOTATION IN SENEGAL**

ABSTRACT

MASTER DISSERTATION

PAPA AMADOU GUEYE

The ROM transportation system plays an important role in the low cost mining. In fact for the Tobene phosphate deposit, a 50,000,000 t of P_2O_5 exploitable reserve, that ICS will start the exploitation in 2001, the ROM transportation method has a big impact for the project feasibility. This dissertation proposes four transportation alternatives for ROM in the circuit mine-beneficiation plant: the transportation by dampers (T_{cam}), the transportation by pipeline (T_{min}), the transportation by belt-conveyor (T_c) and transportation by capsules (T_{cap}). The main findings of this study indicate that the T_{cam} with 9 dampers for the ROM transportation, will be operational in Tobene only during the Tobene West exploitation, because the dampers movements are practically the same as used presently in the route. The T_{min} is the cheapest alternative and provides more economical benefices than T_c . But it is possible to withdraw one or more of T_c components from its equipment system, achieving an investment level lower than the T_{min} . The T_{cap} is evaluate as a marginal alternative only for costs reference in this work.



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS/
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/DEPARTAMENTO DE
ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE RECURSOS MINERAIS**

**MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE
RECURSOS MINERAIS**

**ETUDE DES ALTERNATIVES DE TRANSPORT POUR L' EXPLOITATION DE
GISEMENT DE PHOSPHATE AU SENEGAL**

RESUME

DISSERTATION DE MASTER

PAPA AMADOU GUEYE

Le système de transport de minerai au niveau des mines est fondamental principalement en relation à la compétitivité. En effet, pour le gisement phosphatique de Tobene, réserve exploitable de 50 000 000 de t de P_2O_5 dont les ICS (Industries Chimiques du Sénégal) prévoient le début des exploitations en 2001, le dispositif de transport du minerai revêt une grande importance en relation à la viabilité du projet. Dans ce contexte, ce travail propose, quatre alternatives préliminaires de transport du minerai de phosphate qui doit être extrait et mouvementé de la mine à l'usine de traitement de minerai: le transport par camions ("*dumpers*") (Tcam), le transport par mineroducte (Tmin), le transport par convoyeur (Tc) et le transport par capsules (Tcap). Ainsi nous avons pu conclure que le Tcam, dont le dimensionnement pour le transport du minerai uniquement prévoit 9 camions, pourra être en vigueur à Tobene seulement durant l'exploitation de Tobene ouest, car le trajet des camions est presque équivalent à l'actuel. Le Tmin se révèle moins coûteux et plus rentable que le Tconv, cependant il existe la possibilité d'éliminer un ou plusieurs équipements qui accompagnent le Tconv pouvant ainsi tourner son investissement moins élevé que celui du Tmin. Quant au Tcap il est présenté comme une alternative marginale Qui pourrait servir de base de comparaison.

SUMÁRIO

Dedicatória	i
Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Résumé	v
Sumário	vi
Lista de figuras.....	vii
Lista de tabelas.....	viii
INTRODUÇÃO.....	1
Capítulo I – O fosfato no mundo.....	3
I.1 GEOLOGIA E DISPONIBILIDADE.....	3
I.2 RESERVAS E PRODUÇÃO.....	7
I.3 CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA DE FOSFATO.....	8
I.3.1 Lavra.....	10
I.3.2 Tratamento.....	10
I.4 OS CUSTOS NA MINERAÇÃO DE FOSFATO.....	11
I.4.1 Custos comparativos de produção a céu aberto.....	12
I.5 UTILIZAÇÕES DO FOSFATO.....	15
I.6 MERCADO ATUAL DO FOSFATO E SUAS TENDÊNCIAS.....	16
I.7 EVOLUÇÃO DOS PREÇOS DE ROCHA FOSFÁTICA 1970-96.....	19
I.8 PREVISÃO DO MERCADO DE ROCHA FOSFÁTICA ATÉ 2000.....	20
I.9 SÍNTESE PARCIAL DO MERCADO DE ROCHA FOSFÁTICA.....	21
Capítulo II – O fosfato dentro da indústria mineral de Senegal.....	23
II.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO E AMBIENTAL.....	23
II.2 SITUAÇÃO ECONÔMICA DO PAÍS.....	25
II.3 COMÉRCIO INTERNACIONAL.....	25
II.4 INDÚSTRIA MINERAL DO SENEGAL.....	26
II.5 O FOSFATO NO SENEGAL.....	27
II.6 OFERTA DE FOSFATO NA REGIÃO.....	28
II.7 TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO.....	31
II.8 IMPORTÂNCIA SÓCIO-ECONÔMICA.....	33
Capítulo III – Avaliação técnico-econômica de métodos de transporte de minério no projeto de Tobene.....	35
III.1 A TECNOLOGIA DE TRANSPORTE NA MINERAÇÃO DE FOS.....	35
III.2 CONTEXTO REGIONAL DA JAZIDA DE TOBENE.....	37
III.3 GEOLOGIA REGIONAL.....	40
III.4 GEOLOGIA DA JAZIDA DE TOBENE.....	41
III.5 ELABORAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE EM TOBENE.....	41
III.5.1 Hipóteses de base.....	42
III.5.2 Investimentos na lavra em Tobene.....	42
III.5.3 Investimentos no beneficiamento em Tobene.....	44
III.5.4 Alternativas preliminares de transporte do minério de Tobene.....	45
III.5.4.1 Alternativa preliminar temporária: o Tcam.....	45
III.5.4.2 Alternativa preliminar marginal: o Tcap.....	47
III.5.4.3 Alternativa preliminar 1: o Tmin.....	49
III.5.4.4 Alternativa preliminar 2: o Tc.....	50
III.5.5 Custos dos estudos.....	51
III.5.6 Síntese dos parâmetros financeiros das alternativas comparadas.....	52
III.5.7 Análise de sensibilidade.....	53
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXOS.....	63

Listas de figuras

Figura I.1- Localização dos depósitos de fosfato no mundo.....	6
Figura I.2- Tendência dos preços correntes da rocha fosfática 1970-96.....	20
Figura II.1- Mapa da localização do Senegal e seus principais depósitos de rocha Fosfática.....	24
Figura III.1- Contexto de Tobene e trajetórias das alternativas preliminares de Transporte.....	39
Figura III.2- Comportamento da TIR (T_{min}, T_c) e do VA (T_{min}, T_c) em função da Variação do preço.....	55
Figura III.3- Comportamento da TIR e do VA dos projetos em função do gradiente de De investimentos.....	55
Figura III.4- Comportamento da TIR e do VA em função da variação dos custos Operacionais.....	56

Lista de tabelas e quadros

Tabela I.1- Reservas mundiais de fosfato.....	7
Tabela I.2- Produção mundial de concentrado de fosfato	8
Tabela I.3- Custos operacional dos grandes produtores mundiais de fosfato	14
Tabela I.4- Distribuição percentual dos custos médio de produção de rocha fosfática ...	15
Tabela I.5- Capacidade <i>versus</i> custos por região	15
Tabela I.6- Balanço mundial "oferta/demanda" de ácido fosfórico	19
Tabela I.7- Regiões dependentes da importação da rocha fosfática	19
Tabela I.8- Cenários estimados até 2000 do mercado da rocha fosfática.....	21
Tabela II.1- Produção mundial de fosfato	29
Tabela II.2- Evolução da produção de fosfato no Senegal 1960-96.....	30
Tabela II.3- Produção química de produtos fosfatados do Senegal 1984-96	31
Tabela II.4- Participação dos principais exportadores mundiais de fosfato em 1985	32
Tabela III.1- Comparação dos sistemas de transporte adotáveis em Tobene.....	38
Tabela III.2- Quantidades totais a serem extraídas dos setores de Tobene	43
Tabela III.3- Fluxo anual de materiais em Tobene	43
Tabela III.4- Investimentos previstos nos equipamentos de lavra em Tobene	44
Tabela III.5- Investimentos previstos para T _{min} em Tobene	50
Tabela III.6- Distribuição dos investimentos para o T _{min} em Tobene.....	50
Tabela III.7- Estimativas de investimentos para o T _c em Tobene.....	51
Tabela III.8- Recapitulação dos custos e investimentos das principais alternativas	52
Tabela III.9- Resumo das alternativas preliminares comparativas de transporte em T....	54
Tabela III.10- Comportamento do VA com a variação da taxa	54

Lista de siglas

- SSPT** - *Société Sénégalaise des phosphates de Thiès*
- CSPT** - *Compagnie Sénégalaise des phosphates de Taïba*
- ICS** – *Industries Chimiques du Sénégal*
- KMF** – *Jazida fosfática de Keur Mor Fall*
- USBM** – *United States Bureau of Mine*
- DNPM** – *Departamento Nacional de Produção Mineral*
- IFA** – *Internacional Fertilizer Industry Association Ltd*
- FOB** – *Preço no porto de origem*
- IMPHOS** – *Institut Mondial du Phosphate*
- BUMIFON** – *Bureau Minier de la France d'Outre Mer*
- SERMIS** – *Société d'Études et de Recherches Minières au Sénégal*
- BRGM** – *Bureau de Recherches Geologiques et Minières*
- ROM** – *Run of Mine*
- PIB** – *Produto Interno Bruto*
- PNB** – *Produto Nacional Bruto*
- BSC** – *British Sulphur Consultants*

INTRODUÇÃO

A indústria da rocha fosfática representa quase 2% do PNB do Senegal que por sua vez detém uma boa posição entre os produtores africanos que respondem atualmente por 25% da produção mundial. Em decorrência da sua importância como matéria-prima básica para o suprimento de fósforo para os fertilizantes agrícolas, torna-se importante investir em tecnologias que maximizem o aproveitamento do fosfato.

Nas últimas décadas, o Senegal iniciou a produção de rocha fosfática na região de Taïba que também abriga a jazida fosfática de Tobene, fruto de investimentos realizados no final dos anos 50. Dentro desse contexto, se enquadra a jazida de Tobene com o início das operações de lavra previstas para o ano 2001. Conforme será visto nesta dissertação, trata-se de uma jazida de médio porte com uma reserva estimada de 50 milhões de t de fosfato de cálcio.

Um dos aspectos críticos para a viabilidade econômica desse empreendimento refere-se às alternativas do sistema de transporte mina-usina de beneficiamento. A escolha dessas alternativas é determinante para o futuro da ICS (*Industries Chimiques du Sénégal*) empresa detentora da lavra, pois sua jazida (KMF) atualmente em produção esta próxima à exaustão.

Além disso, em decorrência da participação estatal na empresa, o desenvolvimento da mineração de fosfato constitui uma das principais metas do Ministério da Indústria, das Minas e da Energia do Senegal.

A dissertação está estruturada em 3 capítulos. No capítulo I é realizado um pequeno levantamento da indústria mundial de fosfato. Devido à importância deste bem mineral para a economia senegalesa, o estudo inclui no seu capítulo II o perfil da indústria fosfática nesse país. O principal objetivo é a análise preliminar técnica e econômica das alternativas de transporte entre a mina e a usina de beneficiamento que podem ser empregados nas operações de mina na jazida de Tobene conforme poderá ser visto no capítulo III do trabalho.

A metodologia utilizada nesta dissertação para atingir o objetivo pretendido foi definida em 3 etapas. A primeira etapa abrangeu o levantamento das informações sobre o fosfato no mundo e no Senegal na literatura especializada. A

segunda etapa envolveu a visita técnica do autor à jazida de Tobene e às instalações da ICS, onde foi possível coletar informações específicas sobre aspectos técnicos e financeiros do empreendimento. A última etapa foi dedicada ao tratamento e análise dos dados das alternativas de transporte.

O número de opções utilizadas para o estudo de alternativas de transporte do minério de Tobene entre a mina e a usina ficou restrito às mais empregadas na mineração, ou seja: o transporte por correia (T_c), transporte por caminhão fora de estrada (T_{cam}) e transporte por mineroduto (T_{min}). Além disto, será abordado o transporte por cápsulas (T_{cap}), como uma “alternativa marginal”, justificado pelas características da jazida e a evolução tecnológica, como uma referência para análise de custos.

A análise das alternativas envolve a estimativa de fluxos de caixa para um horizonte de 25 anos de produção, incluindo os investimentos, os custos e os parâmetros financeiros (TIR-Taxa Interna de Retorno e VA-Valor Atual) de cada alternativa de transporte.

CAPÍTULO I. - O FOSFATO NO MUNDO

I.1 GEOLOGIA E DISPONIBILIDADE

Os minérios de rochas fosfáticas são geralmente constituídos de apatita, cuja fórmula química é $Ca_{10} (X_2) (PO_4)_6$ onde "X" representa o radical hidróxido (OH), cloro (Cl), flúor (F) ou carbonato ($1/2CO_3$), de quartzo, calcita, dolomita, argila e ganga constituída principalmente de óxidos de ferro.

Os depósitos de rocha de fosfática sedimentares marinhos constituem quase 85% da produção de fosfato comercializada no mundo, enquanto que os 15% restantes provêm da apatita primária de origem ígnea. Já os depósitos de guano não se revelam importantes para a produção comercial de fosfato.

Os depósitos de fosfato sedimentares ocorrem geralmente em dois alinhamentos, denominados: "cinturões de correntes marinhas" e de "grupo equatorial". O teor de P_2O_5 (anidrido fosfórico) contido nesses tipos de depósitos varia entre 10% e 25% (LIMA, 1976).

Os fosfatos dos cinturões de correntes marinhas são produzidos nas margens oceânicas em volta de 50 graus de latitude em relação ao Equador. Correntes marinhas geradas por ventos circulares enriqueceram as águas superficiais em nutrientes que se acumularam no fundo do oceano sob forma de restos orgânicos ricos em fósforo. Esses tipos de depósitos têm geralmente orientação norte-sul e são comuns no Ordoviciano, Carbonífero, Permiano, Jurássico e no Terciário. Os exemplos incluem os depósitos da Baja Califórnia (México), do deserto de Sechura no Peru e os do sudoeste e noroeste dos Estados Unidos.

O grupo equatorial possui a mesma associação mineral (principalmente apatita); embora se forme em latitudes menores e apresenta um alinhamento leste-oeste. Existem vários exemplos no norte da África, no Oriente Médio, na Venezuela e na Colômbia (HARBEN & BATES, 1990).

Para que a jazida de fosfato marinho seja economicamente viável, algumas condições precisam ser satisfeitas. Nessas condições inclui-se uma configuração

estrutural regional específica, um sistema químico particular inorgânico funcionando desde o início da deposição e um retrabalhamento, talvez com adição de novos materiais fosforosos. Os depósitos sedimentares são inerentemente complexos uma vez que são resultantes de numerosos sistemas sedimentares com alterações supergênicas superpostas (HARBEN & BATES, 1990).

O fósforo pode estar concentrado nos depósitos de fosfato oceânicos ou em pequenas ilhas oceânicas. Os depósitos oceânicos se formam geralmente nas margens continentais, a pequenas e médias latitudes e em profundidades de 91 a 457 m. Exemplos desses depósitos podem ser encontrados na Baja Califórnia, Peru-Chile, Costa Oeste da África (Taïba-Tobene no Senegal), Austrália.

O segundo tipo de depósito de fosfato mais importante, é de origem ígnea. No Brasil, a maioria dos depósitos de fosfato enquadram-se nesse grupo. A apatita, fosfato cristalino de cálcio, compõe as jazidas de origem ígnea. Nessas jazidas o mineral se dissemina nas rochas do tipo granítico ou carbonatítico, com teor de P_2O_5 oscilando entre 4% e 15%. (LIMA, 1976).

Os depósitos das pequenas ilhas oceânicas, tais como: Nauru, Ocean, Makatea e Christmas, no Oceano Pacífico, já foram uma fonte importante de oferta de fosfato no mundo. O fosfato de cálcio (ou guano) desses depósitos é formado pela interação entre excrementos de pássaros e argila. O guano contém minerais de fosfato como a brushita ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$) e a monetita ($CaHPO_4$). O alumínio que acompanha esses depósitos pode ter sido formado a partir desses minerais por meio de um intenso intemperismo tropical ou de uma interação com materiais vulcânicos (HARBEN & BATES, 1990). Atualmente não existem as condições climáticas e oceanográficas para preservar o guano, transformando tais depósitos em fósseis.

A **figura I.1** mostra um mapa de localização geográfica dos depósitos de fosfato no mundo. Os números mencionados no mapa indicam os nomes e/ou países onde se encontram os depósitos. O quadro que segue fornece a localidades correspondentes aos números mencionados no mapa:

Depósitos de fosfato apatítico (vermelho)	Depósitos de fosfato sedimentar (azul)	Depósitos de fosfato biogênico (amarelo)
1. Araxá, Tapirá; 2. Jacupiranga; (Brasil)	1. (Oeste): <i>Montana, Idaho, Utah, Wyoming, Nevada</i> ; 2. Carolina do norte; 3. Flórida; (EUA)	1. (Nauru)
3. <i>Khibiny</i> , 4. <i>Kovdor</i> , 7. <i>Oshurkov</i> , (Ex-URSS)	4. <i>Baja California</i> ; 5. <i>Hidalgo State</i> , (México)	2. (Makatea)
6. <i>Grånesberg</i> , (Suécia)	6. <i>Falcon State</i> , (Venezuela)	3. (<i>Christmas</i>)
5. <i>Sillinjärvi</i> , (Finlândia)	7. <i>Sechura Desert</i> ; (Peru)	
8. <i>Singhbhum</i> , (Índia)	8. (Tunísia)	
9. <i>Eppawala</i> , (Sri Lanka)	9. (Argélia)	
10. <i>Sukulu</i> , (Uganda)	10. (Marrocos)	
11. <i>Dorowa</i> , (Zimbábue)	11. (Saara ocidental)	
12. <i>Glenover</i> , 13. <i>Palabora</i> , (África do Sul)	12. <i>Taiba, Lam-lam</i> , (Senegal)	
	13. (Togo)	
	14. (Síria)	
	15. (Jordânia) - (Israel)	
	16. (Egito)	
	17. <i>Kasaquistão</i> ; (Ex-URSS)	
	18. <i>Udaipur</i> (Índia)	
	19. <i>Yunnan</i> ; 20. <i>Lao Kay</i> , (China)	
	21. (Vietnã)	
	22. (Coreia)	
	23. <i>Georgina Bassin</i> , (Austrália)	

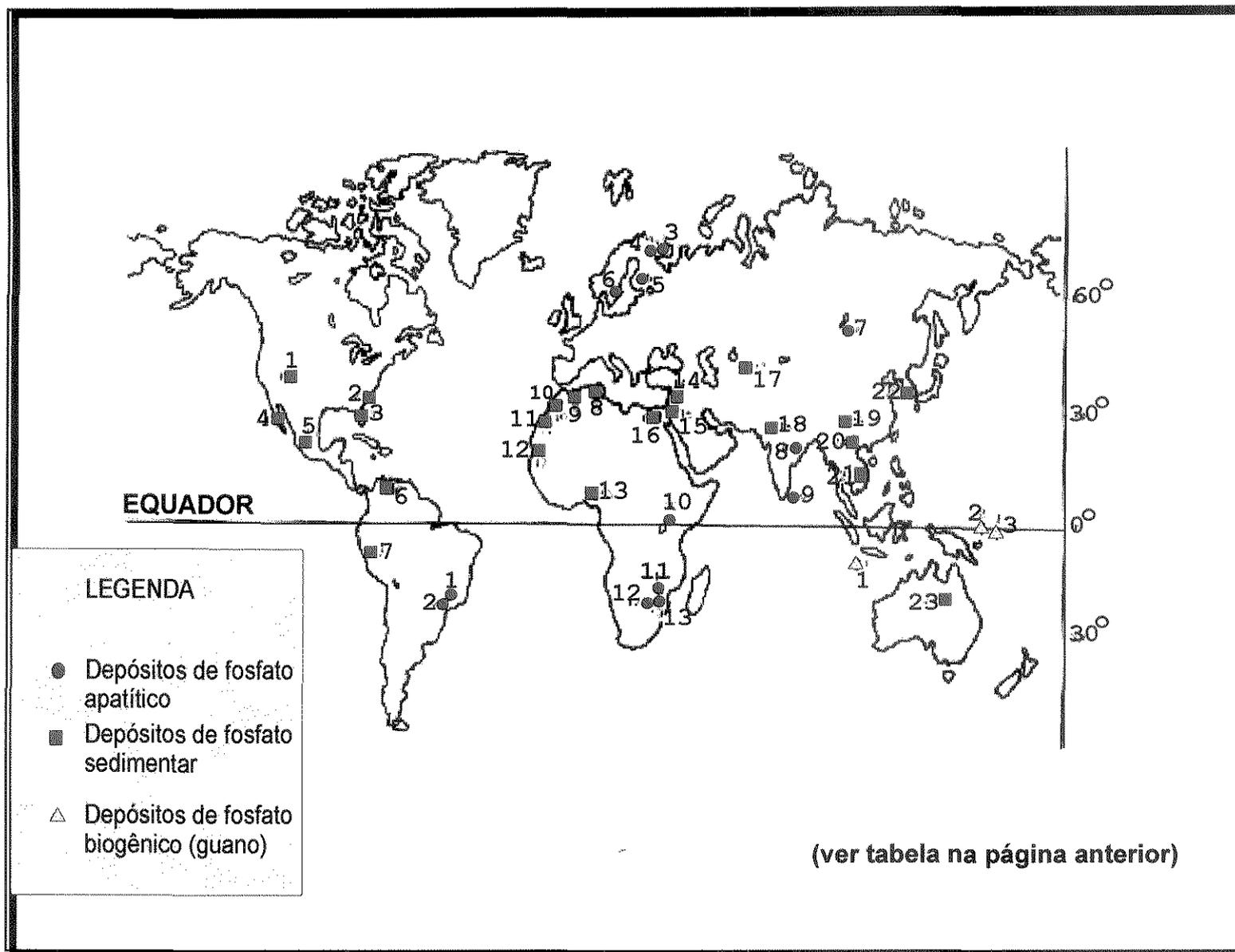


Figura I.1: Localização geográfica dos depósitos de fosfato no mundo

Fonte: HARBEN & BATES (1990)

I.2 RESERVAS E PRODUÇÃO

Segundo o USBM (1988), em 1987 os recursos¹ geológicos de rocha fosfática no mundo atingiam 60 bilhões de t de P₂O₅, distribuídos em aproximadamente 250 minas e depósitos. Dados compilados pelo DNPM estimam que as reservas potencialmente lavráveis eram de 33,32 bilhões de t (Sumário Mineral, 1997). (Tabela I.1).

Tabela I.1- Reservas mundiais de fosfato

Países	Reservas (10 ⁹ t)	Participação(%)
Marrocos	21.000	63,0
EUA	4.440	13,2
Rep. África do Sul	2.500	7,5
Rússia/Casaquistão	1.100	3,3
Jordânia	570	1,7
Brasil	370	1,1
Tunísia	270	0,8
China	210	0,6
Israel	180	0,6
Senegal	160	0,5
Togo	60	0,2
Outros países	2.500	7,5
Total	33.320	100,0

Fonte: DNPM, (1997)

Em 1995, a produção de rocha fosfática foi estimada em 136,7 milhões de t. Os EUA com 33,2% da produção mundial, ocupam o primeiro lugar seguido pela China, Marrocos e Rússia/Casaquistão. (Tabela I.2).

¹ recursos: jazidas cuja viabilidade econômica ainda não foi comprovada.

Tabela I.2 – Produção mundial de concentrado de fosfato

Países	Produção (10 ⁸ t)	Participação (%)
EUA	45,0	33,2
China	27,0	19,8
Marrocos	20,0	14,6
Rússia/Casaquistão	11,0	8,0
Tunísia	6,5	4,7
Jordânia	5,0	3,7
Israel	4,0	2,9
Rep. África do Sul	3,0	2,2
Brasil	2,9	2,1
Togo	2,4	1,8
Senegal	1,5	1,1
Outros países	6,9	5,1
Total	136,7	100,0

Fonte: DNPM, (1997)

I.3 CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA DE FOSFATO

As características da indústria podem ser sintetizadas nos seguintes aspectos:

1. A matéria-prima dessa indústria está praticamente restrita a um número reduzido de países e em ambientes geológicos específicos (geralmente sedimentares). Efetivamente, dos 250 depósitos de fosfato que existem através do mundo, os mais competitivos² encontram-se em três regiões:

- EUA ; (Flórida e Carolina do Norte com 1,6 bilhão de t de reservas);
- Noroeste da África (7,5 bilhões de t de reservas);

² depósito que pode ser aproveitado de maneira que a rocha fosfática possa ser comercializada tomando-se como referência um preço de US\$ 40,00/t.

- Oriente Médio; Jordânia e Israel (1 bilhão de t de reservas);

Essas regiões detêm 80% das reservas econômicas mundiais, nesse grupo não estão incluídos a China e a ex-União Soviética. Tais regiões têm uma vantagem considerável nos custos de produção, graças à boa qualidade das jazidas (altos teores), encontrando-se, então, em melhor posição para a realização de investimentos.

2. O preço unitário do fosfato se mantém em um patamar de US\$ 40,00/t, apesar de que BENCHEKROUN (1994), faz menção de uma queda relativa durante a última década.

3. A proximidade do local de extração com o mercado consumidor não é um fator determinante embora o custo do frete seja as vezes considerável, conforme será visto verá mais adiante. O mais relevante é o teor do minério que deve situar-se em torno de 37% de P_2O_5 .

4. As rochas fosfáticas representam o segundo grupo de materiais em volume que é produzido no mundo, perdendo apenas para os materiais para a construção civil, e um dos mais crescentes em comércio exterior. Considerando a importante dependência das regiões importadoras de fosfato, como a Ásia, a Europa e a América Latina, pode-se afirmar que o comércio internacional de rocha fosfática continuará a crescer na próxima década. Na virada do milênio, mais de 50% da produção mundial total de fosfato será exportada.

5. A extração e o processamento apresentam uma verticalização integrada que tende a crescer nas regiões com reservas de alto teor.

6. O tratamento dos minérios de fosfato é complexo, com altos investimentos em equipamentos, como será abordado no item I.3.2. (FERNANDEZ & DAMASCENO, 1997; BENCHEKROUN, 1994).

1.3.1 LAVRA

A lavra em uma mina de fosfato depende das características do depósito. Nos depósitos sedimentares, o método de extração utilizado é a lavra por tiras ou *streep level*, devida à extensão lateral. Ela consiste em retângulos, onde faz-se a remoção do estéril, geralmente por escavadeiras, *buckeet wheel* e/ou *dragline* dependendo da consistência do estéril e na seguida efetua-se a extração do minério de fosfato. Este tipo de lavra é utilizado na Florida (EUA), Taïba (Senegal) e em algumas minas no Marrocos. Algumas vezes quando a camada de estéril é relativamente pequena (entre 12 e 15m) como ocorre em Carolina do Norte (EUA), pode-se utilizar jato hidráulico para efetuar o decapeamento (STOWASSER, 1985). Em tal situação, a progressão da lavra é lateral. Quando o depósito é de origem ígnea, como é o caso da maioria dos depósitos brasileiros, o método aplicado é a lavra por bancadas ou *open pit mining*. Assim, a progressão da lavra é vertical, estendendo-se do topo em direção a base gerando a cava a medida que a lavra progride. Quando a relação estéril/minério se encontra elevada de tal maneira que inviabiliza qualquer um destes três métodos citados acima, a extração se faz por meio de um método subterrâneo. Exemplos deste tipo de lavra podem ser encontrados em Montana nos EUA. (STOWASSER, 1985).

1.3.2 TRATAMENTO

Um dos maiores desafios tecnológicos da mineração de fosfato é a complexidade do tratamento dos minérios que acarretam altos investimentos em equipamentos (FERNANDEZ & DAMASCENO, 1997). Assim, novas tecnologias como a flotação em coluna estão hoje presentes nas instalações de beneficiamento das minerações de fosfato. Entretanto, na maioria dos casos os estágios de beneficiamento do minério fosfático não diferem muito dos empregados na indústria para os demais minérios, destacando-se: britagem e/ou moagem, peneiramento, classificação, concentração, filtragem e secagem.

A concentração é normalmente realizada através de flotação por células

mecânicas. A presença significativa de finos³ nos minérios de fosfato tanto de origem ígnea como sedimentar têm prejudicado o rendimento dessas células convencionais. Esta restrição induz a utilização da flotação em coluna para a obtenção de melhores resultados. Experiências realizadas em usinas piloto e semi-industriais mostram que a técnica aplica-se com sucesso aos finos gerados na unidade industrial, permitindo uma redução considerável do consumo de reagentes e a obtenção de teores de P₂O₅ mais elevados com apenas uma coluna. A introdução de uma segunda coluna no estágio *scavenger*⁴ da unidade de flotação possibilita ainda teores mais elevados. (AQUINO *et al*, 1992).

I.4 OS CUSTOS NA MINERAÇÃO DE FOSFATO

A mineração é uma atividade que necessita de grandes volumes de investimentos, com altos riscos e taxas de retorno variáveis. Com isso, faz-se cada vez mais necessária a redução dos custos nessa atividade. Segundo Gentry & O'Neil (1984), os principais fatores técnicos e econômicos que influenciam os custos e os componentes de custo de produção na mineração podem ser evidenciados da seguinte forma respectivamente:

1. Geologia do depósito, geometria, geografia e características da exploração.
2. Mercado do bem mineral, métodos de transporte, disponibilidade de energia, peculiaridades da política e da legislação mineral.
3. Método e produção requeridos.
4. Métodos de beneficiamento.
5. Estimativas dos investimentos e dos custos operacionais.

Essas componentes são bastante úteis, pois possibilitam a individualização dos diferentes tipos de custos de produção na jazida de Tobene. Além disto, mostra a dificuldade de se obter uma caracterização e uma previsão adequada dos custos num planejamento mineiro desse porte, tais como:

1. Custos diretos de produção: materiais, mão-de-obra;

³ Abaixo de 0,1 mm de diâmetro.



2. Custos indiretos de produção: administração, mão-de-obra indireta, saúde, etc...
3. Custos de distribuição;
4. Custos de vendas e de “marketing”;
5. Despesas administrativas: salários, pagamentos, etc..

A partir da observação desses fatores pode-se ver que são aplicáveis à indústria de fosfato, inclusive ao nosso estudo de caso da jazida de Tobene.

Como tentativa de fornecer ao leitor uma visão dos níveis de custos encontrados nas diversas jazidas internacionais de rocha fosfática, vamos apresentar alguns resultados extraídos do USBM (1988). Deve-se mencionar que na última década ocorreram mudanças macroeconômicas e técnicas importantes que normalmente devem ter provocadas variações nos dados de custos. Uma das principais variáveis é a tecnologia, que normalmente aparece como um importante redutor nos custos finais de produção.

O interesse nesse trabalho não reside nas grandezas que representam esses custos, o que necessitaria de um estudo mais específico, mas sim na sensibilidade de cada item nos custos operacionais e na disparidade entre os custos dos diferentes produtores.

I.4.1 CUSTOS COMPARATIVOS DE PRODUÇÃO A CÉU ABERTO

O custo operacional médio da extração nas minas a céu aberto de fosfato é estimado em **US\$7,1/t**. Nas regiões consideradas importantes produtoras como Marrocos, Tunísia, Israel, Jordânia, Senegal e Togo, o custo operacional situa-se entre **US\$6,5/t e US\$8,6/t**. No Brasil, Peru e Venezuela, o custo operacional de extração não ultrapassa **US\$5,4/t**. No sudeste dos Estados Unidos, esses custos são de **US\$4,4/t**. Esse custo mais baixo do sudeste dos EUA em relação aos outros produtores é devido principalmente à relação estéril/minério baixa.

Os custos de beneficiamento em média situam-se em um patamar de **US\$10/t**. Os custos dos produtores do sudeste dos Estados Unidos equivalentes a

⁴ Terceiro estágio da flotação, correspondendo a uma lavagem do minério.

US\$6,7/t, são menores que aqueles dos produtores do Marrocos, Tunísia, Israel, Jordânia, Senegal e Togo, que situam-se entre **US\$9,3/t** e **US\$11,6/t**. A razão principal dessa vantagem é que o minério norte-americano muitas vezes nem requer tratamento, graças à sua boa qualidade. Uma outra razão da vantagem norte americana pode ser devido à escala de operação maior: **9,92 milhões de t/ano** contra **6,6 milhões de t/ano** em média nas regiões citadas. No Brasil, na Venezuela e no Peru, o custo registrado é **US\$14,2/t**, correspondendo a um custo elevado para tratamento de minério de fosfato. O minério de fosfato do Brasil, de origem ígnea, apresenta impurezas que encarecem o seu processamento; esse problema foi objeto de numerosas pesquisas tecnológicas e acadêmicas que não serão abordadas neste trabalho, recebendo incentivos de governos e empresas brasileiras do ramo.

A mão-de-obra e energia são os dois itens mais importantes dos custos operacionais para rocha fosfática. O custo médio da mão-de-obra na maioria dos países situa-se entre **US\$5,4/t** e **US\$8,2/t** de P_2O_5 . Isto representa aproximadamente **16%** do total dos custos operacionais. O custo de mão-de-obra nos EUA situa-se perto de **US\$6,3/t** de P_2O_5 , sendo mais baixo que na África do Norte e no Oriente Médio, graças à mecanização mais intensa.

O custo energético médio na maioria dos países é de **US\$17,2/t** de P_2O_5 , o que representa **1/3** do total dos custos operacionais. Em geral, nota-se que os custos nos EUA são mais baixos.

Basicamente o transporte dos produtos fosfatados se divide em dois grandes grupos: o doméstico que é considerado como fazendo parte dos custos de produção neste trabalho e o internacional ou transoceânico que não é considerado como custo operacional neste trabalho.

O primeiro grupo inclui o deslocamento do minério de fosfato da mina à usina de tratamento, da usina ao porto ou à usina de ácido fosfórico e desta ao porto. O segundo grupo compreende todos os movimentos internacionais por navios, seja da rocha, do ácido fosfórico ou do fertilizante fosfatado, dos portos dos produtores aos portos dos consumidores.

O custo de transporte depende também do produto que está sendo

transportado. Quanto maior o teor de P_2O_5 contido, mais barato o transporte. Isso pode ser afirmado partindo-se do princípio que o material menos concentrado pode ser transportado a custos iguais ao material de maior concentração. Os países como Finlândia, Nauru, Togo e Saara Ocidental estão nessa situação. O fosfato do Egito é menos competitivo no mercado internacional, pois a produção é destinada ao mercado interno. No Senegal, a indústria de ácido fosfórico propiciou a exportação de um maior valor agregado com uma maior concentração de P_2O_5 .

A Tunísia é o maior produtor de fosfato processado do noroeste da África e esta presta a reduzir seu custo de transporte, colocando no mercado internacional concentrações mais elevadas.

A **Tabela 1.3** apresenta os custos operacionais médios nos países ou regiões produtoras.

Tabela 1.3- Custos operacionais dos grandes produtores mundiais de fosfato (US\$/t).

Países	Lavra	Tratamento	Transporte	Total
EUA	8,70	8,30	2,72	19,72
Brasil	5,44	14,16	6,08	25,68
Marrocos	8,21	10,30	5,13	23,64
Senegal, Togo	6,53	11,43	2,00	19,96
Oriente Médio	12,75	14,25	5,44	32,44

Fonte: USBM, (1988)

A **Tabela 1.4**, representa a distribuição dos custos operacionais médios dos grandes produtores e a **Tabela 1.5** fornece a capacidade estimada em função do custo em 1987. Nota-se que alguns produtores, apesar de terem reservas menores e às vezes até de qualidade inferior, possuem uma capacidade de produção maior. É o caso dos EUA, que possuem reservas menores que o Marrocos, mas possuem uma produção superior. Por sua vez, o Senegal, com reserva maior do que a de Israel, produz menos. Nos Estados Unidos, como visto anteriormente, encontram-se minérios de teores relativamente elevados, que não necessitam, muitas vezes, de um beneficiamento completo.

Tabela 1.4 – Distribuição percentual dos custos médios de produção dos grandes produtores de rocha fosfática

Item	Custo (US\$/t)	Participação (%)
Extração	7,1	15,2
Beneficiamento	10,0	21,4
Transporte	4,3	9,1
Mão-de-obra	8,2	17,5
Energia	17,2	36,8
Total	46,8	100,0

Fonte: USBM, (1988)

Tabela 1.5- Capacidade versus custo por região (10^3 t)

	10,43 a	27,20 a	36,30 a	45,40 a	54,50 a	Total
	27,20 US\$/t	36,30 US\$/t	45,40 US\$/t	54,50 US\$/t	68,10 US\$/t	
EUA	33.060	8.500	3.300	-	-	44.860
Brasil	-	2.200	550	660	3.416	6.826
Marrocos	-	24.800	1.800	-	4.000	30.600
Senegal	-	660	1.653	-	-	2.313
Israel	-	6.280	1.200	-	-	7.480
Finlândia	-	-	-	-	551	551
Índia	-	-	-	890	-	890

fonte: USBM (1988)

1.5 UTILIZAÇÕES DO FOSFATO

A rocha fosfática é considerada a principal fonte comercial do elemento fósforo, importante para o desenvolvimento da agricultura no mundo. Fósforo, nitrogênio e potássio são os três nutrientes essenciais para o crescimento orgânico. Quando o solo encontra-se deficiente em relação a esses elementos faz-se necessária a adição dos mesmos para restabelecer a sua fertilidade. O crescimento da agricultura no mundo depende de forma sensível da disponibilidade de fertilizantes fosfatados, sabendo que mais de 90 % da produção de rocha é destinada à produção de fertilizantes.

Industrialmente, o termo “rocha fosfática” indica rocha fosfática *in situ*,

minério de fosfato, como também fosfato após o beneficiamento. Após ser beneficiado, o minério de fosfato contém entre 26 e 39 % de P_2O_5 . No processo de industrialização, o concentrado fosfático é transformado em ácido fosfórico ou em fósforo elementar por calcinação elétrica, podendo também ser aplicada diretamente em solos mais ácidos como algumas vezes é o caso no Brasil e no leste da Europa.

A maior parte do fosfato produzido no mundo é destinada à manufatura de ácido fosfórico. O ácido fosfórico é produzido através da “digestão” do mineral de apatita pelo ácido sulfúrico, que por sua vez resulta de reação química com o enxofre. O fosfato de diamônio (DAP), fertilizante químico, é produzido fazendo-se reagir o ácido fosfórico com o amônia. O superfosfato triplo (TSP) resulta da reação entre a rocha e o ácido fosfórico.

O principal produto não-fertilizante é o fosfato para a ração animal. Ele resulta da “desfluorização” da rocha e do ácido fosfórico.

Os produtos industriais primários do elemento fósforo constituem a segunda categoria, por ordem de importância dos não-fertilizantes. O fósforo elementar é produzido por meio da redução da rocha por forno elétrico e pode ser diretamente comercializado ou oxidado para produzir derivados de anidrido ou ácido fosfórico. O ácido fosfórico produzido a partir do fósforo elementar é utilizado principalmente para produzir tripolifosfato empregado na fabricação de detergente.

A utilização do fosfato como não-fertilizante representa cerca de 10% do consumo mundial de fosfato.

I.6 O MERCADO ATUAL DO FOSFATO E SUAS TENDÊNCIAS

Em 1994, a demanda de rocha fosfática era de aproximadamente 130 milhões de toneladas, onde 90% da rocha era consumida pela produção de ácido fosfórico e de fertilizantes simples fosfatados, enquanto os 10% restantes eram utilizadas em outros ramos da indústria.

Em 1995, a produção de rocha fosfática dispunha de uma capacidade instalada mundial de 182,7 milhões de t para satisfazer uma demanda mundial de

135,9 milhões de t, uma capacidade ociosa de 26% em 1994, que poderia ter sido superior se algumas minas não tivessem sido desativadas entre 1990 e 1994, levando a um decréscimo de 24 milhões de t na capacidade produtiva mundial.

O consumo de rocha fosfática está concentrado nos países detentores das maiores reservas que investiram na construção de capacidade instalada específica. Em 1994, 33% do consumo mundial esteve concentrado nos EUA, 16,6 na China e 8,3% no Marrocos. O Brasil participou com 2,7% da produção e 3% do consumo mundial.

O comércio internacional, registra cerca de 20% do total de rocha consumida e/ou produzida. A União Européia foi a maior importadora (33,3%), seguida pela Ásia (28,9%), onde a Índia importou 8,7% do total de rocha comercializada. Os maiores exportadores foram os países do noroeste da África, principalmente o Marrocos (32,6%), o Oriente Médio (13,1%) e os EUA (11,3%).

Estudos efetuados sobre o comportamento da indústria mundial de rocha fosfática mostram que após aproximadamente seis anos de crise ocorridos no início da década de 90, consumo, produção e comércio exterior voltaram a crescer aos níveis anteriores. A razão de tal crise esteve ligada à queda do consumo de fertilizantes em várias regiões, como a ex-URSS, Europa Central e União Européia. Além disso, deve-se mencionar os impactos da política de verticalização do noroeste da África e o fechamento de fábricas de ácido fosfórico na União Européia, por restrições ambientais relacionadas às pilhas de rejeito de fosfogesso.

A Ásia, principalmente a China e a América Central e do Sul têm apresentado uma tendência constante de crescimento de consumo.

Projeções para o ano 2000 prevêem um certo equilíbrio entre a demanda e a oferta mundial de rocha fosfática. (KULAIF, 1997)

O ácido fosfórico é o principal insumo intermediário utilizado na produção de fertilizante fosfatado. Praticamente 95% da produção mundial de rocha fosfática é destinada à produção de fertilizantes de P_2O_5 . Assim, o ácido fosfórico constitui um parâmetro pertinente para observar o comportamento do mercado da rocha fosfática.

Desde 1974, os países com reservas de bons teores aumentam a sua participação na produção de ácido fosfórico, passando de 58% a 79% da produção mundial. Logicamente, o comércio de ácido fosfórico aumentou bastante durante essas duas décadas em detrimento da rocha, de maneira que se verifica um certo excesso de capacidade de ácido, levando ao fechamento de algumas unidades de ácido fosfórico (31 entre 1989 e 1992, na Europa, EUA, Europa do Leste, Austrália e Japão) e a uma grande incerteza relativa à abertura de novas instalações no Marrocos e no Oriente Médio antes do ano 2000. Por isso, é pouco provável que ocorra aumento imediato de capacidades de instalações. (BENCHEKROUN, 1994).

Assim, a balança oferta/demanda de ácido fosfórico do IFA (*Internacional Fertilizer Industry Association Ltd*) previu, no período entre 1993 a 1998, uma capacidade instalada ociosa de aproximadamente 1,5 t (**Tabela I.6**). As regiões que apresentam maior excedente na oferta são os EUA e a África, seguidos da ex-URSS.

Tabela I.6- Balanço mundial “oferta/demanda” de ácido fosfórico(em milhões de t)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Oferta de fertilizantes	18,6	19,0	19,2	19,8	20,2	20,6
Demanda de ácido	17,0	17,5	18,0	18,5	18,8	19,1
“Oferta - Demanda”	1,6	1,5	1,2	1,3	1,4	1,5

Fonte: BENCHEKROUN, (1994)

O mercado de fosfatados depende muito da Ásia (principalmente da China), da Europa e da América Latina, seus maiores consumidores (**Tabela I.7**).

Segundo BENCHEKROUN (1994), até o ano 2000, a demanda, pelo menos, será mantida, inclusive com tendências de crescimento.

Conforme mencionado anteriormente, o volume de produção comercial é dominado pelo EUA e pelo noroeste da África (45 milhões de t e 20 milhões de t, respectivamente). Mantidas as tendências observadas até hoje, esses países vão se manter nessa posição até o final da década e mais para frente vão aumentar

Tabela I.7- Regiões dependentes da importação de rocha fosfática (valores em milhões t)

Região	Importações	% mundial
Ásia	8,71	28,0
Europa	14,59	46,0
América Latina	2,27	7,0
Total	25,57	81,0
Total mundial	31,47	100,0

Fonte: BENCHEKROUN, (1994)

sua participação, atingindo 76% do comércio internacional do bem mineral. Entretanto, é importante mencionar que o Oriente Médio também deve aumentar a sua participação.

Ainda BENCHEKROUN (1994), infere que a América do Norte, até o final da década manterá sua produção de fertilizantes e sua demanda nacional constante. Se a previsão for correta, os produtores norte-americanos continuarão sendo os maiores exportadores de P_2O_5 , aumentando sua participação. Dessa forma, os produtores norte-americanos poderão sem grandes dificuldades satisfazer o mercado interno assim como o mercado internacional. Por sua vez, o noroeste da África aumentará sua capacidade de ácido fosfórico, principalmente no Marrocos e no Senegal (ICS - Tobene) para o mercado de exportação. Em geral, prevê-se que os produtores dessas regiões não vão preencher todas as oportunidades do mercado de exportação.

Mesmo sem novos investimentos, o mundo não deve ter escassez de “fosfatos” até a virada do século. Pesquisas sendo feitas pelo IFA desde os anos 70 mostram que a superprodução vai perdurar ainda pelo menos até o ano 2000 e que quase não haverá novos investimentos em novas usinas para ácido fosfórico, com algumas exceções.

1.7 EVOLUÇÃO DOS PREÇOS DA ROCHA FOSFÁTICA ENTRE 1970 E 1996

Entre 1970 e 1996, o preço da rocha fosfática quase não registrou

variações significativas, com exceção do ano de 1980, quando ele atingiu **US\$ 59,00/t** (Figura I.2) por causa do choque do petróleo. Entretanto BENCHEKROUN, (1994) se refere a uma queda relativa durante a última década.

A percentagem do frete sobre o preço FOB chega em média a 75%, podendo se situar entre 40 e 130% em função da distância do mercado (*British Sulphur Co, 1996b*).

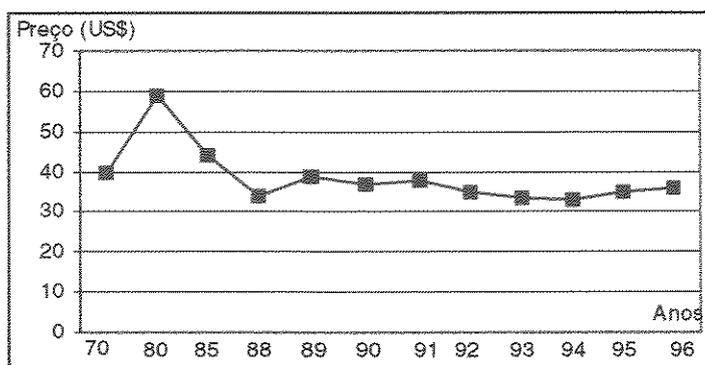


Figura I.2- Tendência dos preços correntes da rocha fosfática entre 1970 e 1996

Fonte: DNPM (vários), KULAIF (1997)

I.8 PREVISÕES DO MERCADO DE ROCHA FOSFÁTICA ATÉ 2000

Em 1993, a capacidade mundial de produção de rocha fosfática foi avaliada em 200 milhões de toneladas. Com o colapso da ex-URSS, essa capacidade diminuiu até 150 milhões; segundo BENCHEKROUN, (1994).

Em relação a demanda, duas possibilidades são previstas:

1. Segundo o Banco Mundial e o IFA, entre 1993 e 2000, a demanda da rocha pode subir de 1%.
2. Para a IMPHOS, a demanda de rocha em 1998, pode chegar a 165 milhões de t de rocha fosfática.

Na primeira situação, a rocha deve chegar a 150 milhões de t em sete anos,

ou seja até o ano 2000. Caso ocorra uma queda na demanda de aproximadamente 30 milhões de t, a produção disponível vai diminuir mais rapidamente, e o excedente no mercado será inteiramente consumido a partir de 2000.

Na segunda hipótese, pode-se prever um equilíbrio entre oferta e demanda a partir de 1997. Se novas minas não entrarem em operação em 2000, corre-se o risco da demanda de rocha fosfática ser maior do que a oferta (**Tabela I.8**)

Tabela I.8 - Cenários do mercado de rocha fosfática estimados até 2000

(valores em milhões de t)

	1993	1994	1995	1996	1997	2000
Potencial de produção.	180,0	171,0	166,5	162,0	154,0	149,4
Possível consumo 1.	140,0	141,4	142,8	144,2	145,7	150,1
Diferença	40,0	29,6	23,7	17,8	7,3	0,0
Possível consumo 2.	140,0	143,5	147,1	150,8	154,0	166,4
Diferença	40,0	27,5	19,4	11,2	0,0	-17,0

Fonte: BENCHEKROUN, (1994)

Essas estimativas partem do pressuposto que a taxa média máxima de produção ou capacidade nominal e de processamento seja de 90%. Seria pouco realista esperar uma capacidade mais elevada. Mesmo em alguns países com experiência na área de fosfato como os EUA e a região noroeste da África, essa capacidade pode diminuir até 70%.

A capacidade de produção de rocha fosfática se encontra de certa forma, em fase de declínio na década atual. Isto foi causado pela queda relativa dos preços dos produtos fosfatados que, por sua vez provocou uma fuga de capitais necessários ao desenvolvimento de novas minas. Assim, a produção disponível de rocha fosfática no ano 2000 se reduzirá, ficando entre 150 e 160 milhões de toneladas.

I.9 SÍNTESE PARCIAL SOBRE O MERCADO DE ROCHA FOSFÁTICA

Nas condições econômicas atuais, as reservas mais rentáveis estão

concentradas em três regiões: Flórida e Carolina do Norte; norte e oeste da África e Oriente Médio. Essas regiões possuem produtores de grande escala e verticalmente integrados, com custo de produção menor por terem uma geologia mais favorável, reservas maiores e distâncias de transporte relativamente mais curtas.

O comércio internacional de fosfato e seus derivados ocupa um lugar importante no mercado mundial de minérios em relação a certos minérios metálicos. Os maiores consumidores são a Ásia (excluindo a China); a Europa oriental e ocidental e América Latina.

Mesmo nessas regiões privilegiadas em termos de custos, o desenvolvimento de novas minas encontra-se comprometido por causa de alguns fatores técnicos e econômicos, tais como:

- deterioração dos preços na década de 90;
- capital elevado para a abertura de novas minas;
- retorno de investimento lento: 5 a 10 anos;
- capital elevado para novas usinas de ácido fosfórico;

Nessas condições, o USBM (1993) estimou uma perda de 32 milhões de t de rocha fosfática entre 1987 a 1997. Estimou também que, entre 1993 a 2000, a produção global vai ser reduzir de 200 milhões para 166 milhões de t. Segundo BENCHEKROUN (1994), serão necessários aproximadamente de 3 bilhões de dólares para restabelecer o *déficit* dos produtos.

A partir de 1997, espera-se que a produção dos produtos fosfatados deva-se situar entre 150 a 160 milhões de t. Caso isso realmente ocorra, o excesso atual em relação à demanda pode ser consumido e o preço do fosfato pode ser mais atraente, de maneira a favorecer a abertura de novas minas.

Em relação à jazida de fosfato de Tobene (Senegal), que representa nosso enfoque principal neste trabalho, o que se poderia dizer é que, o aquecimento do mercado do fosfato que está ocorrendo a partir de 1997 justifica, em parte, o interesse de ICS em acelerar o processo de entrada em produção da jazida.

CÁPITULIO II. - O FOSFATO DENTRO DA INDÚSTRIA MINERAL DO SENEGAL

II.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO E AMBIENTAL DO PAÍS

A República do Senegal situa-se no extremo oeste da África ocidental, cobrindo uma superfície de 200.000 km², subdividida em 10 regiões administrativas. Ela é limitada ao oeste pelo oceano Atlântico, ao norte pela Mauritânia, a leste pelo Mali e ao Sul pela Guiné-Conakre e a Guiné-Bissau conforme pode ser visto na **figura II.1**. A população é de 8.000.000 de habitantes, com 96% de muçulmanos e 4% de cristãos. Esse território foi colônia da França até 1960, data em que o país tornou-se independente, mantendo a língua francesa como veículo de comunicação internacional e o senegalês (*woloff*) como língua nacional.

Segundo o Banco Mundial, a média de crescimento populacional do Senegal faz parte das maiores do mundo, sendo maior que 3% ao ano, com expectativa de vida de 49 anos. A taxa de mortalidade Infantil está acima de 80 por mil/ano. O Senegal, como país subdesenvolvido utiliza quase 40% da mão-de-obra feminina na força de trabalho total do país.

Em relação à energia, consumiu-se em 1991, 105 unidades de equivalentes petróleo de energia (UEP)⁵ no Senegal, contra 908 unidades no Brasil, 2.262 na África do Sul e 7.681 unidades nos Estados Unidos. O Brasil utiliza 1 unidade de equivalente petróleo energia para obter US\$3,0 de PIB, o Senegal, US\$ 7,0 de PIB por unidade de equivalente petróleo, a África do Sul US\$1,2/UEP, e os EUA, US\$2,9/UEP. O nível de industrialização relativamente pequeno do Senegal pode explicar esta disparidade no uso da energia.

Entre 1970 e 1989, o Senegal consumiu 4% das suas reservas de água, a África do Sul e os EUA 18% e 19%, respectivamente. O Brasil, só 1% graças a Amazônia.

⁵ 1 Unidade equivalente de petróleo de energia (UEP) equivale a 42 GJ.

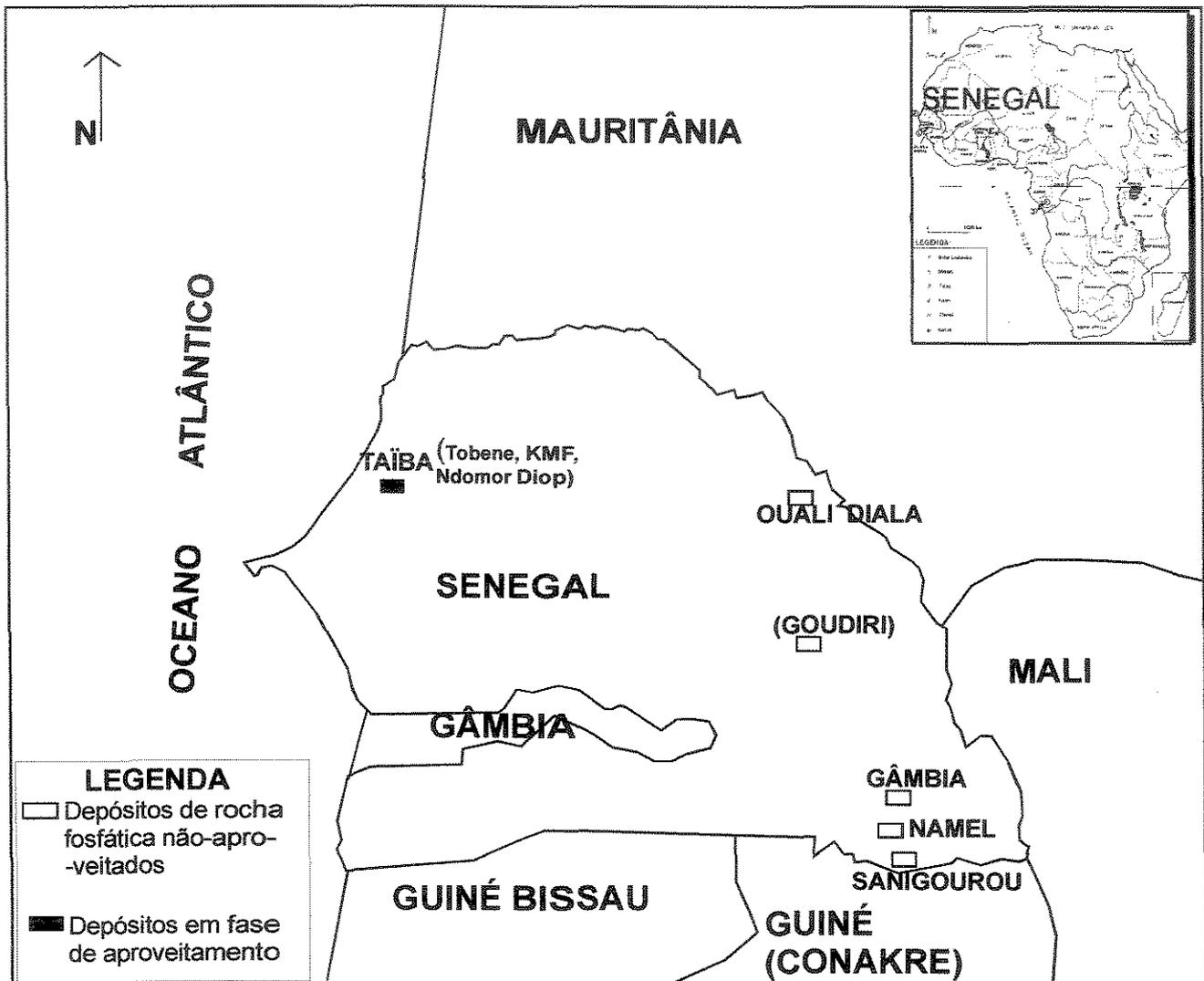


Figura II.1.: Mapa de localização do Senegal e dos principais depósitos de rocha fosfática

Fonte: SISTRAC et al., 1990

Em 1989, o Senegal tinha uma cobertura florestal em torno de 59 mil km², África do Sul 45 mil km² e o Brasil 5,5 milhões de km². Naquele mesmo ano, 31% do território senegalês era coberto por florestas em relação a somente 4% do território sul-africano e 65% do brasileiro.

II.2 SITUAÇÃO ECONÔMICA DO PAÍS

Em 1992, o PNB (Produto Nacional Bruto) do Senegal foi de US\$ 6 bilhões, 964 vezes menor do que o PNB dos EUA e 69 vezes menor do que o do Brasil. A África do Sul, no mesmo ano, registrou um PNB de US\$106 bilhões. O PNB per capita do Senegal em 1992 foi de US\$ 780, 3 vezes menor que o do Brasil e 30 vezes menor que o dos EUA. O do sul-africano foi de US\$ 2.770.

A taxa média de inflação do Senegal entre 1985 e 1992 era 1,9% contra 3,9% nos EUA e 14,4% na África do Sul.

Entre 1985 e 1992, a economia do Senegal cresceu de 0,3% ao ano. Esta taxa é tomada como sendo a variação percentual anual média do PNB per capita real do país. Neste mesmo período, os EUA cresceram de 1,1% ao ano, o Brasil decresceu (-0,7%) ao ano e a África do Sul, talvez por causa das turbulências políticas e sociais, decaiu de (-1,3%).

No Senegal, o setor agrícola representava em 1992, 19% do PIB, na África do Sul, 5% aproximadamente e no Brasil esta taxa foi de 11%.

As exportações participaram em 1992 de 23% do PIB do Senegal, 25% do PIB da África do Sul, 10% do PIB do Brasil e 11% do PIB dos EUA.

II.3 COMÉRCIO INTERNACIONAL

Em 1992, o Senegal exportou US\$ 672 milhões de bens, e importou o equivalente a US\$ 970 milhões. Enquanto no Brasil, por exemplo, as exportações no mesmo ano foram de US\$ 35.956 milhões e as importações de US\$ 23.115 milhões. A balança comercial do Senegal tem se mantida deficitária.

A estrutura das importações de bens no Senegal em 1992 apresenta a

seguinte distribuição: 29% de alimentos, 16% de combustíveis, 4% de outros produtos primários, 21% de máquinas e equipamentos de transporte e 30% de outros bens manufaturados.

Por sua vez, a estrutura das exportações em 1992 foi a seguinte: 22% de combustíveis, minerais e metais; 56% de outros produtos primários; 2% de máquinas e equipamentos de transporte; 20% de outros manufaturados e 1% de têxteis e vestuários.

II.4 A INDÚSTRIA MINERAL DO SENEGAL

As metas do Senegal em relação ao setor mineral são reforçar cada vez mais a indústria de fosfato e de cimento, facilitar o abastecimento d'água e utilizar ao máximo a turfa como fonte de energia. A longo prazo pretende-se estender a ferrovia para explorar o minério de ferro (400 milhões de t de reserva) na região sudeste do país (DE KUN, 1987).

Segundo dados do *Mining Annual Review* (1997), os produtos fosfatados representam um dos mais importantes recursos naturais do Senegal.

As principais empresas de mineração são as seguintes:

- A **CSPT** (atual **ICS**) que explora um depósito de fosfato tricálcico e produz fertilizantes manufaturados. Nesse trabalho, essa empresa é a detentora da jazida fosfática de Tobene que será abordada com mais detalhes no capítulo III.
- SSPT, que opera um depósito de fosfato de alumínio, pequena quantidade de fosfato tricálcico e um depósito de atapulgita. O governo do Senegal e a companhia "*Rhône-Poulenc*" são os principais acionistas.
- "**Prochimaf**", que produz atapulgita.

O CFA, moeda do Senegal, foi alvo de uma desvalorização no início de 1994. Entretanto, essa desvalorização proporcionou certos benefícios para a indústria de fosfato. As exportações da ICS diminuíram para 830.000 de t de fosfato, tirando 400.000 t de fosfato dos estoques. Atualmente, os estoques da ICS atingiram virtualmente zero. Em 1997, a ICS certamente não atingiu suas exportações em função desse quadro. Neste sentido, a exploração da jazida

fosfática de Tobene (50.000.000 de t de P_2O_5 de reserva) revela-se estratégica para a continuidade das operações da empresa.

O interesse na exploração de ouro tem crescido bastante no Senegal. Cerca de 25 alvarás de pesquisa foram liberados em 1997. As companhias em atividade no Senegal são Anglo Américan, Barrick Gold, Diamond Works, Ashanti Goldfields em *joint venture* com lamgold e La Source e Paget em Sabodala (9 milhões de onças-troy de reservas), no Senegal oriental. A Randgold Ressources conseguiu áreas nas proximidades do Rio Falémé.

O petróleo pode no futuro ser aproveitado pelo governo do Senegal junto com a Guiné Bissau, na região sul do país.

O recente crescimento do setor de construção civil na região metropolitana de Dakar e Thiès vem provocando a intensificação da extração de areia, argila, calcário, arenito, basalto, laterita e rochas ornamentais no entorno dessas cidades.

II.5 O FOSFATO NO SENEGAL

Embora as reservas de fosfato sejam conhecidos desde do século XIX, o crescimento somente ocorreu principalmente a partir da metade da década de 70 com o aumento dos preços que motivou a realização de pesquisas e levantamentos geológicos. Historicamente, a mineração de fosfato no Senegal, pode ser subdividida em dois períodos: anterior a sua independência (1960) e um período posterior de 1960 até hoje. Foi neste último período que a CSPT (*Compagnie Sénégalaise des Phosphates de taïba*), atual ICS (*Industries Chimiques du Sénégal*), empresa cujos 50% de capital são detidos pelo governo do Senegal enquanto os 50% restantes nas mãos do público, realizaram campanhas de prospeção e de avaliação para o fosfato. Este processo culminou na descoberta da jazida de Tobene, a terceira por ordem de importância na região de Taïba.

Em 1945, lentes de fosfato de cálcio foram descobertas em *Lam-lam* (oeste do país) pelo BUMIFON (*Bureau Minier de le France d'Outre Mer*). Nesta localidade, a exploração já chegou à exaustão e uma outra lente de fosfato de

cálcio esta sendo explotada atualmente pela SSPT.

Entre 1948 e 1951, o SERMIS (*Société d' Études et de Recherches Minières au Sénégal*) descobriu a jazida de fosfato de cálcio de *Pire- Goureye*, também no oeste do país. Essa jazida ainda não entrou em operação.

Em 1952, o SERMIS, prospectou as jazidas de *N'Domor Diop* e *Keur Mor Fall*, que pertencem à região fosfática de Taïba, principal interesse deste estudo. A produção começou desde 1960 com a CSPT atual ICS.

Os depósitos de fosfato das regiões de *Meké-Kébémér-Sagatta*, não se revelaram econômicos.

Entre 1960 e 1966, as principais ocorrências descobertas se situam-se nas seguintes localidades:

- no Sul do Lago de *Guiers*;
- na região do rio *Sénégal* (Matam) (norte do país);

Após 1974, as ocorrências descobertas foram:

- os fosfatos cambrianos de *Namel* (leste do Senegal);
- na região de *Casamance* (sul do país)
- a jazida de *Tobene*, que fica dentro da região fosfática de Taïba.

As ocorrências de fosfato se localizam em formações que ficam imediatamente acima de camadas de tillitos, cujo contexto geológico é ainda objeto de muita controvérsia. O mapa contendo a localização das principais reservas e recursos de fosfato de cálcio do Senegal pode ser visto na **figura II.1**.

II.6 OFERTA DE FOSFATO NA REGIÃO

O continente africano é um dos maiores produtores de rocha fosfática do mundo, sendo responsável por cerca de 25% da produção mundial.

Destes 25%, a África ocidental detém aproximadamente 5%, que representava 7,7 milhões de t em 1995.

O Senegal, em 1985, era responsável por 1,1% da produção mundial de rocha fosfática, mantendo-se atualmente com o mesmo nível de produção. Esse volume representa 4,5% da produção africana de fosfato (**Tabela II.1**). O Marrocos

maior produtor, é responsável por 60% da produção proveniente da África.

Tabela II.1- Produção mundial de fosfato em 1995

Países	Participação (%)	Produção (10 ⁶ t)
Senegal	1,1	1,5
Áf. Oeste	2,9	7,7
América	32,1	47,9
África (total)	24,4	33,5
Ásia	34,4	47,0
MEC	5,1	6,9
Total	100,0	144,5

Fonte: DNPM, (1997)

No início da produção em 1960, a rocha fosfática era totalmente exportada. A **Tabela II.2** apresenta a evolução da produção de rocha fosfática no Senegal de 1960 a 1996. A queda relativa dos teores por volume produzido pode ser explicada pelo avanço tecnológico e pelas dificuldades crescentes de lavrar e beneficiar as jazidas.

A partir de 1984, a ICS produz ácido fosfórico (**tabela II.3**) e fertilizantes fosfatados nas suas fábricas de produtos químicos. Os fertilizantes produzidos são utilizados *in situ* na agricultura e uma parte é exportada. Segundo o Banco Mundial (1995), o Senegal em 1992, utilizava 6,6 kg de fertilizantes por hectare de terra arável, enquanto que o Brasil, na mesma época, utilizava 52,7 kg.

Em relação à oferta, pode-se observar uma tendência do país buscar um patamar mínimo de produção entre 1,5 e 2,0 milhões de t de rocha fosfática, enquanto que os teores se mantêm na faixa dos 36% de P₂O₅.

A quantidade mínima de produtos fosfatados que ICS exportava até 1997 pode ser dividida da seguinte maneira:

- Rocha fosfática: 10.000 t
- Ácido fosfórico: 2.000 t
- Fertilizantes embalados em sacos de 50 kg cada: 4.000 t

Tabela II.2: Evolução da produção de rocha fosfática no Senegal (1960-96)

Ano	Produção (t)	Teor médio de P ₂ O ₅ (%)
1960	103.475	38,00
1961	390.671	37,73
1962	478.520	37,63
1963	446.344	37,57
1964	650.000	37,57
1965	867.000	37,59
1966	990.000	37,72
1967	1.115.000	37,66
1968	1.110.000	37,66
1969	1.035.000	37,68
1970	998.000	37,59
1971	1.396.000	37,67
1972	1.250.000	37,67
1973	1.533.000	37,48
1974	1.472.000	37,29
1975	1.550.000	37,26
1976	1.542.000	37,28
1977	1.528.000	37,24
1978	1.460.000	36,94
1979	1.523.000	36,68
1980	1.288.000	36,38
1981	1.792.000	36,30
1982	840.000	36,59
1983	1.213.000	36,68
1984	1.889.000	36,49
1985	1.735.000	36,23
1986	1.737.000	36,21
1987	1.837.000	36,22
1988	2.244.000	36,31
1989	2.189.000	36,16
1990	2.039.000	36,21
1991	1.546.000	36,08
1992	2.101.000	36,10
1993	1.585.000	35,98
1994	1.559.000	36,00
1995	1.473.000	36,01
1996	1.376.000	36,02

Fonte: ICS, (1997)

Tabela II.3 - Produção de ácido fosfórico (AF) no Senegal (1984-96)(10⁵t)

	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
AF(30%)	1,00	1,49	1,82	1,90	1,93	1,93	2,28	3,03	2,92	2,76	3,17	3,21	3,11
AF(54%)	0,91	1,49	1,75	1,86	1,89	1,88	2,28	3,01	2,87	2,74	3,16	3,21	3,10

Fonte: ICS, (1997)

Atualmente as destinações das vendas da ICS se organizam da seguinte maneira⁶:

- Ácido fosfórico: Índia.
- Rocha fosfática: Irã, Índia, Filipinas, Burkina Faso, Japão, etc...
- Fertilizantes: Índia, Mali, Burkina Fasso, Benin, etc...

Com relação ao preço de exportação da rocha fosfática do Senegal, os mesmos variam entre 40,00 US\$/t e 46,00 US\$/t (Dakar-FOB). Atualmente os preços se estabilizaram em 40,00 US\$/t (Dakar-FOB). Já o preço de exportação do ácido fosfórico é de 342,46 US\$/t (Dakar-FOB) e o fertilizante (DAP), 391,39 US\$/t (Dakar-FOB). Para as taxas portuárias, paga-se, na exportação, 0,27 US\$ por tonelada de rocha de fosfática e 0,70 US\$ por tonelada de fertilizante.

O Senegal é considerado como um dos grandes exportadores de rocha fosfática, participando desse mercado com 3% do total das exportações mundiais em 1985, conforme mostrado na **Tabela II.4**. Atualmente a situação do país no quadro dos exportadores permaneceu inalterada, apesar do aumento das capacidades instaladas de ácido fosfórico e de fertilizantes desde 1984.

II.7 TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO

Extração

O método de extração utilizado pelo ICS é a lavra por tiras (*strip level*). As tiras correspondem a retângulos de 1500m por 30m. Esse método é o mais adequado técnica e economicamente, pois os depósitos são sedimentares e de grande extensão lateral.

⁶ Para o Brasil, o Senegal somente exportou 45.000 t de rocha fosfática entre 1974 e 1976, destinadas às seguintes empresas: COPEBRAS: Companhia Petroquímica (SP) e FERTISUL (RS).

Tabela II.4- Participação dos principais exportadores mundiais de fosfato em 1985

Países	Participação (%)
Marrocos	33,00
EUA	23,00
Israel e Jordânia	16,00
Ex-URSS	9,00
Togo	6,00
Oceânia e Extremo Oriente	6,00
Argélia e Tunísia	4,00
Senegal	3,00

Fonte: USBM, (1988)

Como os maiores produtores e exportadores de rocha de fosfato possuem depósitos com essas características geológicas e geométricas, esse método de extração (tiras) é o mais usualmente encontrado nessas minerações.

O decapeamento (o capeamento chega a ter 40m de espessura) é feito por *bucket wheel*. Tendo em vista que esse capeamento é de natureza arenosa branca, esse tipo de equipamento se adapta bem à situação.

A extração é feita por *draglines*, que carregam o minério diretamente para os caminhões fora-de-estrada, cuja capacidade é de 100t.

O material decapeado é conduzido por correia transportadora até o local de deposição ou por correia em formato de "U" até as tiras já exploradas.

As operações de desmonte não necessitam de explosivos, como no caso das jazidas apatíticas de origem ígneas (ex: Araxá (Tapira)-Brasil). Essa vantagem geológica reduz bastante os custos operacionais e proporciona uma maior competitividade para as jazidas sedimentares.

O **Anexo 1** apresenta um esboço da extração por tiras adotado pela ICS.

Beneficiamento do minério

No Senegal, a ICS utiliza as vias comuns de enriquecimento de minério para efetuar classificação e separação: moagem, peneiramento, deslamagem, flotação convencional (não-reversa) e secagem em várias unidades. O minério

não necessita ser britado. O fluxograma simplificado da usina da ICS encontra-se no **Anexo 2**, pode-se observar no diagrama a ausência da unidade de britagem.

A usina da ICS tem uma capacidade de 6.400.000 t de minério, para produzir mais de 2.000.000 t de P_2O_5 , com teor de 37,00%.

A flotação em coluna ainda não consta das instalações de ICS. Estudos realizados em laboratório e em células-piloto mostraram excelentes resultados técnicos e econômicos. Entretanto, é importante lembrar que a flotação em coluna é aplicada a minérios considerados tecnicamente finos. O balanço mineralúrgico observado na visita à usina de beneficiamento de ICS, em maio/1997, mostrou que aproximadamente, só 46% do P_2O_5 do ROM encontram-se contidos no concentrado que sai da usina de beneficiamento. Foi constatado também que as lamas de granulometria fina contêm quase 40% do P_2O_5 do ROM e constitui as perdas e/ou os rejeitos. Dessa forma, a flotação em coluna se justifica tecnicamente, podendo, segundo o Prof. Noé Chaves da NATRON ENGENHARIA, (empresa de consultoria na área de usina de tratamento de minérios) recuperar até 15% do P_2O_5 , contido nas lamas. O investimento relativo às instalações de colunas de flotação, gira em torno de US\$ 3.000.000 (segundo engenheiro da MINOVEX do Canada, empresa especialista em colunas de flotação).

Este estudo tentou resgatar sucintamente o estado tecnológico em que se encontra a indústria de fosfato do Senegal. O nível tecnológico apresentado e a qualidade das jazidas da região mostram que há grandes chances de crescimento, seja tanto em termos quantitativos, como qualitativos.

II.8 IMPORTÂNCIA SÓCIO-ECONÔMICA

A exploração de fosfato na região trouxe um certo ganho social e econômico para setores envolvidos com tal atividade, expresso nas seguintes áreas:

Saúde: o centro médico da ICS, além de atender aos trabalhadores da

empresa e suas famílias, atende à população do departamento civil⁷ em que ele se assenta.

Educação: para promover a educação, a ICS apoiou a construção de escolas do curso secundário, permitindo assim a educação não somente dos funcionários e de sua famílias, mas também da comunidade onde se encontra inserida.

Esporte: as instalações de ICS, além de se prestarem ao lazer, proporcionam uma participação significativa no esporte nacional.

Moradia: a ICS construiu um bom número de condomínios para alojar seus empregados.

Empregos: a ICS tem 1976 trabalhadores permanentes, o que representa um custo salarial de US\$ 12.600.000 anuais. Além deles, existe um grande número de trabalhadores não-permanentes, representando um adicional anual de US\$ 588.000.

Como comentado nos itens anteriores e na introdução do trabalho, a jazida fosfática de *Keur Mor Fall* (KMF) estaria chegando à fase de exaustão. Esse fato conduziria à paralisação das atividades de mineração da ICS, obrigando talvez a empresa a importar rocha fosfática para produzir ácido fosfórico, implicando em custos mais elevados e no desemprego de aproximadamente mil trabalhadores.

Por outro lado, a demanda de rocha fosfática e de ácido fosfórico pela ICS, desde 1997, ultrapassou as previsões de produção em KMF. Segundo os técnicos, caso a viabilidade da jazida de Tobene seja comprovada, a produção atingiria, sem grande dificuldade, 2.000.000 t/ano, quantidade suficiente para atender às necessidades atuais da ICS.

⁷ Unidade do território do Senegal que corresponde à prefeitura

CAPÍTULO III. - AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA PRELIMINAR DE MÉTODOS DE TRANSPORTE DE MINÉRIO NO PROJETO DE EXPLOTAÇÃO DA JAZIDA FOSFÁTICA DE TOBENE

III.1 A TECNOLOGIA DE TRANSPORTE NA MINERAÇÃO DE FOSFATO

Como a maioria dos depósitos de fosfato é sedimentar, e possui grande extensão lateral, rapidamente as operações de extração, a maior parte por tiras, vão se distanciando da usina de beneficiamento, dificultando progressivamente o transporte do minério de fosfato da mina até a mesma com um concomitante aumento dos custos. Dessa forma, torna-se mais fácil visualizar a importância que reveste a viabilidade técnica e econômica da escolha das alternativas de transporte na mineração de rocha fosfática.

Os métodos de transporte que podem ser encontrados em uma mineração de fosfato são, mineroduto, teleférico de circulação contínua, transportador de correia, transportador de correia tubular e transporte por cápsulas.

O Tmin é hoje um meio seguro e rápido para o transporte de minério. Nesse sistema, o fluido transportador é a água. O material a ser transportado deve ser devidamente moído para poder formar a polpa ou lama. Obviamente é necessário que haja água em grande quantidade e a baixo custo para que este método seja viável e que o produto seja recuperável após a secagem sem sofrer alteração das suas propriedades.

O teleférico de circulação contínua consiste basicamente no carregamento, deslocamento ao ponto de destino, descarregamento e retorno das caçambas ao ponto de carregamento. As caçambas se deslocam sob cabos de tração. Elas são carregadas sobre trilhos, após serem desapoiadas do cabo de tração e conduzidas ao interior da estação de "carga-descarga".

Atualmente, o manuseio e o transporte de materiais sólidos a granel inclusive em pó é largamente efetuado pelo Tc. Ele está entre os equipamentos de transporte mais eficientes para um transporte econômico de grandes quantidades a vários quilômetros de distância. A sua adaptabilidade lhe confere uma alta

confiabilidade e disponibilidade. O uso de correias vem crescendo em importância graças ao desenvolvimento dos britadores dentro da cava.

O transporte por correia tubular (Tct) corresponde à síntese do aproveitamento das melhores características do transportador convencional. Entretanto, com a conformação tubular, operando-se com o material bem protegido, evitando deste modo, transbordamento, derramamento, dispersão e diluição⁸ do material se for o caso.

O Tcap (KOSUGI, 1992) é descrito a seguir: a cápsula comporta em cada uma das suas extremidades duas associações de 5 rodas pequenas. Para formar o “comboio de cápsula” é necessário conectar três cápsulas. O centro de gravidade da cápsula está abaixo do ponto de rotação, aumentando a estabilidade da mesma quando a carga se desloca. Um dispositivo minimiza o barulho e a vibração do solo. O corpo da cápsula é aberto para cima e é dividido em três compartimentos. Para evitar que o material transportado se fixe, as paredes da cápsula são verticais. Em cada ponta do corpo da cápsula tem-se um dispositivo para absorver choques, quando os comboios de capsulas estão conectados no ponto de “carga-descarga”.

O Tcap pode ser utilizado para diversos tipos de materiais, produtos ou rejeitos como, argila, minérios em geral, areia, carvão, cimento, brita, grãos, semi-acabados, manufaturados, acabados manufaturados, fertilizantes, lixo urbano, lixo industrial, etc...

Os principais pontos positivos do Tcap podem ser identificados pelos seguintes aspectos:

Limpo, seguro e sem agressão ao meio ambiente;

1. Ideal para transporte contínuo de massas de materiais;
2. Adaptável a várias situações topográficas;
3. Independe das condições climáticas
4. Manutenção simples
5. Alta produtividade

⁸ diluição: mistura do material valioso com um material não-desejável

No caso do projeto de transporte do minério da jazida de fosfato de Tobene, o sistema de teleférico não teria viabilidade técnica, principalmente porque a topografia não é suficientemente acidentada para permitir a instalação das estações de carregamento e descarregamento. A viabilidade do uso do Tct pode ser comparada com a do Tc. Entretanto, o Tct apresenta maior custo de investimento por ter a proteção tubular. Logo, os dispositivos de transporte que serão comparados técnica e economicamente no projeto de Tobene são: o mineroduto ou transporte por mineroduto (Tmin) e o transportador por correia convencional (Tc). O transporte por cápsulas⁹ (Tcap) não fará parte da comparação, mas será apresentado como uma possibilidade de transporte do minério de Tobene. A **tabela III.1** apresenta as características dos sistemas de transporte por cápsula, mineroduto e por correia abordados anteriormente.

III.2 CONTEXTO DA JAZIDA DE TOBENE

Conforme mencionado anteriormente a jazida de Tobene se encontra na região fosfática denominada "**TAÏBA**" (**Figura III.1**). Essa região foi descoberta pelo BUMIFON entre 1948 e 1950. Ela se localiza aproximadamente a 80 km em linha reta, no sentido nordeste de Dakar, cobrindo uma zona de dunas arenosas de 20 por 10 km. A cobertura vegetal é reduzida e são visíveis árvores típicas da região e algumas plantações de milho. Nas depressões inter-dunares, onde a napa freática aflora, desenvolveu-se uma intensa atividade agrícola.

A CSPT iniciou a exploração do fosfato dessa região em 1960, por intermédio da jazida fosfática de Ndomor Diop como mostra a **Figura III.1**. Logo em seguida, a partir de 1980 iniciou a extração o fosfato da jazida de *Keur Mor Fall* (KMF). KMF se subdivide em painéis chamados de *Panneau 1-3*, *Panneau 2* e *Panneau 4*. De 1980 a 1991, a CSPT explotou o *Panneau 1-3*. Entre 1991 e 1995,

⁹ Tal sistema de transporte esta sendo desenvolvido na Flórida não somente para transportar minério de fosfato, mas também para transportar passageiros.

Florida Institute of Phosphate Research NEWSLETTER, 1997.

(<http://snoopy.tbic.lib.fl.us/flpr/summer97.html#Magplane>)

Tabela III 1- Comparação técnica entre as alternativas de sistemas de transporte adotáveis em Tobene

	CÁPSULA	MINERODUTO	CORREIA
Velocidade	30-40 km/h	20-40 km/h	4-20km/h
Trajectoria	Curvilínea	Curvilínea	Linha reta
Energia	Central de energia Fluxo de Ar	Central de energia Fluxo de água	Várias fontes
Manutenção	Fácil	Fácil	Difícil
Segurança	Boa	Boa	Deficiente (Derramamento)
Poluição	Mínima	Mínima	Apreciável (Barulho, poeira)
Vida útil	30 a 50 anos	De 25 a 40 anos	20 anos
Tamanho de material	Bastante variável	Necessidade de brita- -gem e moagem	Necessidade de britagem ou moagem
Outros	Independe do clima	Independe do clima	Depende do clima

Fontes: COSTA E SILVA, (1994), KOSUGI, (1992)

a empresa lavrou o *Panneau 2*. No momento, a ICS está terminando de explorar o *Panneau 4*, chegando assim à fase de exaustão da jazida.

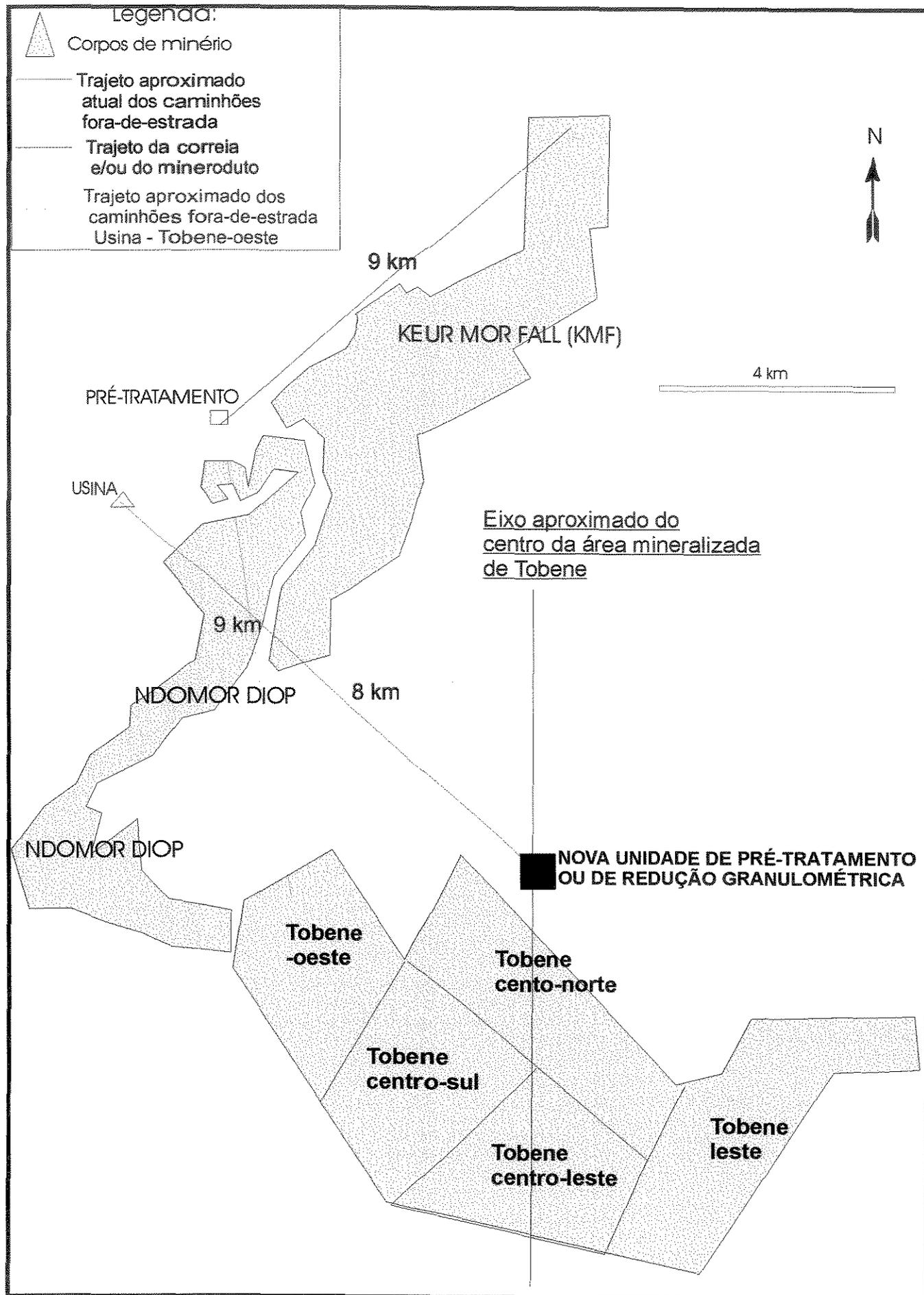


Figura III.1: Trajetórias das alternativas preliminares do transporte do minério de Tobene.

III.3 GEOLOGIA REGIONAL

Os primeiros estudos realizados sobre Taïba são relatórios internos descrevendo a formação fosfatada. São trabalhos efetuados por geólogos de mina que conservaram as suas ligações com o meio acadêmico e publicaram as suas observações em revistas científicas (SLANSKY *et al.* 1964, BOUJO 1976).

Em relação a gênese do fosfato, várias obras e artigos utilizaram o depósito de Taïba como ilustração (LUCAS & PREVOT 1975, LUCAS 1979, LUCAS *et al.* 1980, SLANSKY 1980, FLICOTEAUX & LUCAS 1984).

Recentemente trabalhos acadêmicos se interessaram na subdivisão vertical da camada de fosfato (PANNATIER, 1982), e na caracterização dos minerais encontrados (SYLLA 1986, GUEYE 1993, etc...).

A região fosfática de Taïba se localiza na parte ocidental da bacia sedimentar Senegalesa-mauritiana, composta por sedimentos do Eoceno justapostos ao lado oriental do domo de "Ndias". No lado oeste desse domo se observa uma família de falhas de orientação NNE-SSW, separando uma zona oriental estável e uma zona ocidental mais subsidente. (BRGM, 1984).

Os afloramentos da bacia nunca são anteriores ao Cretáceo superior. Somente são visíveis o continental termal, o quaternário marinho, lacustre ou fluvial e os *ergs* arenosos antigos ou atuais (TESSIER *et al.* 1977, LAPPARTIENT 1985).

Taïba é um grande depósito de sedimentos do eoceno se aprofundando segundo a direção SSW-NNE, que foi profundamente modificado e alterado no neogênico por uma laterização polifásica (FLICOTEAUX 1982, FLICOTEAUX & HAMEH 1989). A leste, esse depósito sedimentar é limitado por um "alto fundo" ligando a região do lago de *Guiers* ao domo de *Ndiass* (ATGER 1970, MONCIARDINI 1966), proporcionando assim a deposição do fosfato em um mar aberto e pouco profundo. O **Anexo 3** apresenta a estratigrafia da região de Taïba.

III.4 GEOLOGIA DA JAZIDA DE TOBENE

Baseando-se nas características genéticas e aspectos regionais, Tobene pode ser comparada às jazidas que já foram exploradas pela ICS, na região de Taïba (Ndomor Diop e KMF). Entretanto algumas particularidades devem ser ressaltadas no caso da jazida de Tobene:

- uma cobertura arenosa, marcada por um endurecimento de caráter variável, indo das areias argilosas endurecidas, areias ferruginosas, às lateritas vacuolares (blocos suspensos na areia). O problema dessas lateritas não é desconhecido, pois já se manifestaram, num grau menor, nas áreas já exploradas.
- geralmente a camada de fosfato é mais fina que nos depósitos anteriormente explorados pela ICS, Ndomor Diop e KMF.
- O fosfato que ocorre nas camadas externas à camada fosfática tem um teor quase constante tendo às vezes conteúdos importantes de ferro e alumínio (*Feral*)¹⁰.
- Acima das camadas de fosfato externas, ocorre um nível laterítico de alta dureza.
- Ocorrência um lençol freático de 20m de profundidade média.

Em Tobene a passagem do fosfato ao carbonato é progressiva:

- Lentas isoladas de calcário estão presentes, além do limite geral do fácies carbonatado (BOUJO, 1988).

III.5 ELABORAÇÃO DOS PROJETOS ALTERNATIVOS PRELIMINARES PARA A EXPLOTAÇÃO DE TOBENE

Nessa etapa, o objetivo é apresentar os aspectos diretamente relacionados às operações de decapeamento, extração, transporte e tratamento do minério.

A partir dessas observações, procede-se ao exame detalhado dos métodos de transporte de minério suscetíveis de serem técnica e economicamente mais adaptados às imposições da jazida.

¹⁰ *Feral*: $(Fe_2O_3 + Al_2O_3) / P_2O_5 < 0,087$

O que justifica a ênfase da avaliação sobre o método de transporte como mencionado na introdução e no item 1.3 é que a viabilidade da exploração de Tobene depende quase totalmente do sistema de transporte de minério que será utilizado entre a mina e a usina de tratamento do minérios.

III.5.1 HIPÓTESES DE BASE

A ICS estabeleceu os parâmetros de produção segundo as especificações do mercado e as características do jazimento:

- PRODUÇÃO: 2.000.000 de t anuais
- TEOR MÉDIO: 36% de P_2O_5
- *FERAL*: $(Fe_2O_3+Al_2O_3)/P_2O_5 < 0,087$

Essa produção não leva em conta o P_2O_5 contido no *hors couche*, nas lamas e no endurecido.

Com base em uma produção de 2.000.000 de t anuais de P_2O_5 , as quantidades totais a serem extraídas por setores em Tobene estão apresentadas na **Tabela III.2** . Para atingir essa produção, adotou-se os seguintes coeficientes:

- espessura média da camada útil: 5,43 m
- toneladas na base seca por m^3 : 1,6 t/m^3
- rendimento da unidade de pré-tratamento: 0,634
- rendimento da preparação: 0,55
- rendimento da flotação para um teor médio de 29,25 % de P_2O_5 : 0,75
- rendimento da secagem: 0,93

Com base em 2.000.000 de t de concentrado de P_2O_5 , o fluxo anual de materiais em Tobene é mostrado na **Tabela III.3** considerando-se 7000h/ano de funcionamento.

III.5.2 INVESTIMENTO NA LAVRA EM TOBENE

O investimento relativo às operações da lavra que necessitam serem realizados, (compra de novos equipamentos, a mudança de frente dos

equipamentos já existentes etc...) é o mesmo para todas as alternativas preliminares deste trabalho. Esse investimento foi estimado em US\$ 1.220.000 com um custo operacional anual de US\$ 220.000. Tal estimativa deu-se em função da produção requerida (apresentada nas **tabelas III.1 e III.2**), da capacidade dos equipamentos disponíveis no mercado, e do método de lavra (tiras ou *Strip level*). A **Tabela III.4**, apresenta os detalhes deste investimento:

Tabela III.2- Quantidades totais a serem extraídas dos setores de Tobene

	Unidades	Tobene Oeste	Centro-norte	Centro-sul	Centro-leste	Leste
Sup. Útil(*)	m ²	700	500	580	470	510
V estéril(**)	m ³	26.300	20.100	19.500	18.500	21.100
minério(**)	m ³	4.500	3.000	3.500	2.500	2.800
Cobertura	m	37,20	37,10	33,50	39,30	41,00
Camada	m	7,51	6,79	6,98	6,31	7,15
Camada útil	m	6,07	5,65	5,68	4,85	4,90
P ₂ O ₅	%	28,97	29,25	30,16	27,02	29,12
Fe ₂ O ₃	%	1,30	1,52	1,61	2,00	3,03
Al ₂ O ₃	%	1,24	1,19	1,09	1,16	1,00
CaO	%	42,81	41,98	42,51	37,89	41,57
(Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃)/P ₂ O ₅		0,087	0,092	0,089	0,117	0,138
Tonagem (***)	t	17.500	11.940	14.310	8.910	10.770

Fonte: ICS, (1997)

(*) superfície útil expressa em 10.000 m²

(**) volume expresso em 10.000 m³

(***) tonagem expressa em 1000 t

Tabela III.3- Fluxo anual de materiais em Tobene

	ROM	Concentrado
Toneladas úmidas (*)	10.969	-
Toneladas secas (*)	8.225	2.005,50
Teor médio (% P ₂ O ₅)	19,31%	37,00%

Fonte: ICS, (1997)

(*) valores expressos em 1000 t

Tabela III.4- Investimento nos equipamentos de lavra em Tobene

Equipamentos	Unidades	Preço (US\$)	Custos operacionais Anuais (US\$)
Bucket wheel (6000 m ³ /h) + equipamentos auxiliares	2	464.000	78.000
Correias + Equipamentos Auxiliares	-	586.000	110.000
Equipamentos de apoio	-	20.000	5.500
Energia elétrica	-	143.600	22.350
Total	-	1.213.600	215.850

Fonte: ICS, (1997)

III.5.3 INVESTIMENTO NO BENEFICIAMENTO EM TOBENE

Em Tobene, o investimento adicional destinado ao beneficiamento é desprezível, entretanto, existirá um acréscimo no custo operacional anual.

Em termos dos circuitos da usina de beneficiamento, será dada prioridade a deslamagem e adicionado um circuito de “relavagem” de tal maneira que o aumento nos custos operacionais será de US\$ 1,37/t de concentrado (700 CFA/t)¹¹ ou seja, o custo operacional anual total de beneficiamento em Tobene será de **US\$2.740.000**, uma vez que a produção de concentrado prevista é de 2.000.000 t de P₂O₅.

Estas duas situações de investimento na lavra e no beneficiamento apresentadas são válidas para todas as alternativas preliminares propostas.

¹¹ CFA: moeda da UMOA (*Union Monétaire Ouest Africaine*), em que fazem parte: Senegal, Mali, Costa de Marfim, Guiné Equatorial, Guiné Bissau, Gambia e Mauritânia.

III.5.4 ALTERNATIVAS PRELIMINARES DE TRANSPORTE DE MINÉRIO EM TOBENE

A **Figura III.1** representa a disposição possível dos quatro sistemas alternativos preliminares de transporte do minério de Tobene ao nível da mina atual da ICS.

III.5.4.1 ALTERNATIVA PRELIMINAR TEMPORÁRIA (Tcam).

Faz-se necessário esclarecer que trata-se apenas de uma solução temporária, de tal modo que ela não será comparada com as três outras alternativas apresentadas a seguir.

A proposta, neste caso, é o transporte do minério da mina até a atual unidade de pré-tratamento ou lavagem, sendo que praticamente não haverá mudanças estruturais.

O transporte do minério por caminhões só poderá vigorar em Tobene-oeste, pois as distâncias atuais de operação em KMF são equivalentes àquelas percorridas em Tobene-oeste. Com a progressão da lavra, as distâncias se tornariam inviáveis técnica e economicamente para os caminhões.

Faz-se necessário esclarecer que o trajeto atual em torno de 18 km, percorrido pelos caminhões fora de estrada da ICS já se encontra acima do percurso de 10 Km (ida-volta) recomendado pelos técnicos e manuais de equipamentos.

Estimativas dos custos operacionais do transporte por caminhões

Os caminhões vão percorrer um ciclo de 18 km ida e vinda, entre o local de extração (mina) e a unidade atual de pré-tratamento ou lavagem.

Sendo que a produção requerida é de 2.000.000 t anuais , então deve-se trazer de Tobene oeste até a unidade de pré-tratamento a tonelagem anual como segue :

$(2.000.000/2,30)*6,07*1,6 = 8.445.217,39 \text{ t/ano}$ ou $5.278.260,87 \text{ m}^3/\text{ano}$

onde:

- 2,30 = tonelagem por m^2
- 6,07 = camada útil (m)
- 1,6 = densidade do minério (t/m^3)

De acordo com COSTA E SILVA (1994), o número de unidades necessárias para transportar o minério¹² pode ser dimensionado como segue:

N – o número de ciclos por hora de cada caminhão: **60/20,34**

20,34 min é o tempo ideal medido *in situ* de cada ciclo de caminhão;

E – fator de eficiência; (no caso, será adotado **85%**)

C – capacidade da caçamba do caminhão (t ou m^3) no caso: **Caterpillar 777B; 86,2 t**

FE – fator de enchimento da caçamba do caminhão: **100%**

OC – fator de operação conjugada: geralmente adota-se **85%**

HP – horas programadas por ano: **7000 h**

DM – disponibilidade mecânica do equipamento: (adotado como **85%**)

U – fator de utilização do equipamento: **85%**

Produção anual de cada unidade de transporte:

$$PA = N * E * C * FE * OC * HP * DM * U$$

$$PA = 60/20,34 * 0,85 * 86,2 * 1 * 0,85 * 7000 * 0,85 * 0,85 = 929.140,33 \text{ t/ano}$$

Número de caminhões necessários:

¹² O mesmo método de dimensionamento de frota pode ser aplicado para o transporte do estéril.

$$NU = 8.445.217,39/929.140,33 = 9,08 \text{ ou } 9 \text{ caminhões}$$

Quilômetros percorridos anualmente pelas unidades de transporte:

$$\text{km/ano} = 9 \cdot 60/20,34 \cdot 7000 \cdot 18 = 3.345.132,74 \text{ km/ano}$$

Custo anual de transporte do minério, sabendo que o custo por km é avaliado pela Caterpillar a 0,6765 US\$/km:

$$Cu/\text{ano} = 3.345.132,74 \cdot 0,6765 = \text{US\$ } 2.262.982,30$$

Vida útil de Tobene Oeste:

Serão removidos **308.062.630 m³** de material, em Tobene Oeste. Tendo em vista que devem ser removidos anualmente **38,9.10⁶ m³/ano**, a vida útil de Tobene oeste será:

$$\text{VU} = 8 \text{ anos}$$

III.5.4.2 ALTERNATIVA PRELIMINAR MARGINAL (Tcap).

É importante esclarecer que essa alternativa também não fará objeto de comparação, já que não estão especificados os equipamentos de apoio que devem ser conjugados com este método de transporte.

O transporte por cápsulas é uma das tecnologias mais recentes para o transporte de minérios, cujo emprego se iniciou nos anos 80.

No caso do projeto de Tobene, não será necessária a construção de uma nova unidade de pré-tratamento, de tal modo que o ROM poderá ser levado diretamente até a usina de beneficiamento pelas cápsulas.

A redução por tamanho é simples, já que as cápsulas carregam minérios com tamanhos variados, que podem ser superior a 150 mm de diâmetro.

Condições do minério fosfático de Tobene

Densidade: 1,6 t/m³.

Tamanho máximo: 150 mm.

Horas de trabalho: 24h/dia * 300 dia/ano = 7.200 h/ano¹³.

Disponibilidade: 90%.

Capacidade requerida: 1.058 t/h.

Distância de transporte: 8km.

Custos de energia: 0,04 US\$/kwh.

Mão de obra: 18.000 US\$/pessoa/ano.

Dimensionamento¹⁴:

Diâmetro do conduto: 1,2m (dual).

Comboio de cápsulas : 3 cápsulas.

Peso: 7,8 t/comboio.

Capacidade: 15,6 t/comboio.

Velocidade média: 10 m/s.

Intervalo de lançamento: 53 s/t.

Linha de transporte: 1.040 m³/min * 0,75 kg/cm².

Linha de retorno: 840 m³/min * 0,31 kg/cm².

Consumo de energia: 2.120 kw (0,25 kwh/tkm).

Estimativas de custos:

Número de comboios por conduto: $8.000(m)/10(m/s)/53(s/t) = 15$
comboios

Total de comboios (com as reservas): $(15*2)+9+2= 41$ comboios

Preço dos comboios: $51.500*41=2.111.500$ US\$

Investimentos

Conduto: 6.270.000

Comboios: 2.110.000

Estação de carregamento: 7.520.000

Estação de descarga: 6.210.000

¹³ No caso do transporte por cápsulas, precisa-se de 7200 horas de trabalho por ano no lugar de 7000h/ano, por necessidade técnica específica do método de transporte.

¹⁴ Os parâmetros foram constituídos com a orientação de S. KOSUGI.

Engenharia de projeto:	2.250.000
TOTAL:	25.000.000 US\$

Custos operacionais

Energia elétrica:	610.000.000
Mão-de-obra:	130.000.000
Manutenção:	200.000.000
TOTAL:	940.000.000 US\$

III.5.4.3 ALTERNATIVA PRELIMINAR 1 (Tmin).

Nas áreas já lavradas e/ou em curso de lavra (Ndomor Diop e KMF), o mineroduto foi o método de transporte utilizado pela ICS entre a estação de pré-tratamento e a usina de beneficiamento. No caso da escolha desse método para Tobene, a distância de transporte passa a ser de no mínimo 6 km e no máximo 8 km (em KMF, o comprimento do mineroduto entre a estação de pré-tratamento e a usina de beneficiamento é de 2 km). Com isso será necessária a construção de uma nova estação de pré-tratamento que não poderá aproveitar os equipamentos existentes. Os investimentos e custo operacional anuais estimados são apresentados a seguir (**Tabelas III.5 e III.6**).

Pode-se observar que os equipamentos, os trabalhos ligados engenharia civil e a montagem representam aproximadamente 70% dos investimentos.

Um fluxo de caixa aproximado da alternativa mineroduto encontra-se no **Anexo 4**. Os parâmetros financeiros para a elaboração do FC encontram-se nas tabelas III.5 e III.6 e no item III.5.6.

O mineroduto não dispensa o uso de caminhões. O minério deverá ser transportado da mina até a nova estação de pré-tratamento. Em seguida, o minério será transportado pelas tubulações da estação de pré-tratamento até a usina de beneficiamento sobre os 6 km, pelas tubulações.

Tabela III.5- Investimentos previstos no transporte por mineroduto em Tobene

Itens	Valor (US\$)
Alimentadores	4.133.000
Estação de pré-tratamento	16.281.000
Mineroduto	6.816.000
Linha de deslamagem (ciclonagem)	2.408.000
Espessador de lamas	6.937.180
Total	36.575.180
Custo operacional anual	2.500.000

Tabela III.6- Distribuição dos Investimentos

Itens	Valor total (US\$)	Porcentagem (%)
Equipamentos	8.514.090,02	23,3
Montagem	1.470.058,71	4,0
Engenharia civil	11.500.000,00	31,4
Eletricidade	1.329.941,29	3,6
Montagem eletricidade	932.093,93	2,5
Regulação	606.849,31	1,7
Montagem regulação	506.066,54	1,4
Fluidos + montagem	4.182.191,78	11,4
Pintura	211.937,38	0,6
Engenharia	3.670.645,79	10,0
Adicionais	3.657.338,55	10,0
Total	36.575.180,00	100,0

III.5.4.4 ALTERNATIVA PRELIMINAR 2 (Tc).

Neste caso, não será necessária a construção de uma nova estação de pré-tratamento, pois o minério será transportado diretamente até a usina de beneficiamento numa distância de 6 a 8 km dependendo do ponto de localização da estação primária de redução por tamanho. Entretanto, o transporte por correia implica que o ROM seja reduzido a uma granulometria inferior a 300/400 mm por britagem ou por peneiramento.

Devido às características do minério de fosfato da região, principalmente pela sua umidade e seu aspecto argiloso, o peneiramento tem poucas chances de

equacionar o problema. Então, a solução mais correta tecnicamente é o uso do britador. Na usina de beneficiamento, mantêm-se as mesmas mudanças observadas na alternativa 1.

O minério de Tobene se apresenta argiloso, plástico, com endurecimentos lateríticos e com presença de sílex. Tendo em vista essas características do minério, deve-se evitar a realização de estoques, principalmente nos equipamentos. A **Tabela III.7** apresenta os investimentos e custo operacional anual estimados para o transporte por correia. No **Anexo 5** encontra-se um fluxo de caixa aproximado relacionado a esta última alternativa preliminar. Os parâmetros financeiros p/ a elaboração do FC encontram-se na tabela III.5 e no item III.5.6.

Tabela III.7: Estimativas de investimentos para o Tc em Tobene

Equipamento	Número	Investimento (US\$)	Custo operacional (US\$) anual
Britador de impacto	2	3.661.000	33.000
Correia transportadora (8000m)	1	22.804.000	3.490.000
Lavador - Sistema de correias	1	44.689.000	26.250
Pilha de estocagem	1	1.093.000	-
Total		72.247.000	3.550.000

A **tabela III.8** faz uma síntese dos investimentos e custos operacionais anuais em Tobene para as duas últimas alternativas.

III. 5.5 CUSTO DOS ESTUDOS

Tendo em vista o volume e a importância dessas alternativas estima-se que

a análise técnico-econômica desse porte atingiria um custo da ordem de **US\$ 7.280.000**.

Tabela III.8: Síntese dos custos e investimentos das principais alternativas preliminares

($\times 10^5$) US\$	T _{min}	T _c
Investimento	36.575	72.247
Custo operacional anual	2.500	3.550

III.5.6 SÍNTESE DOS PARÂMETROS FINANCEIROS DAS ALTERNATIVAS COMPARADAS

Neste parágrafo apresenta-se os pressupostos econômicos utilizados para a montagem dos fluxos de caixa.

Observa-se que o “tributo sobre faturamento” e o imposto de renda (IR) respectivamente 0,41% e 0,1% tem pouca representatividade. O tributo s/ faturamento neste trabalho é constituído pelas taxas portuárias de exportação do fosfato segundo a orientação da ICS. O custo operacional total é composto dos custos operacionais e das *redevances minières* (1,3% do custo operacional total), o que representa no Senegal, pagamentos em prazos fixos efetuados pela ICS. Os custos de importação de insumos estão incluídos dentro do custo operacional total.

PARÂMETROS FINANCEIROS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DOS FC DAS ALTERNATIVAS

Produção esperada:	2.000.000 t. P ₂ O ₅
Teor médio:	37,00 % P ₂ O ₅
Receita bruta:	66.000.000 US\$

Preço de venda para o mercado externo:	40,00 US\$/t ¹⁵
Preço de venda para o mercado interno:	26,00 US\$/t ¹⁶
Depreciação:	33,00 %
Tributo sobre faturamento:	0,41%
Imposto de renda:	0,1%
Custos operacionais totais:	41.200.000 US\$
Investimento nos estudos:	7.280.000 US\$
Investimento na lavra:	1.213.000 US\$
Acréscimo nos custos de beneficiamento:	2.740.000 US\$
VA (valor atual):	10%
Vida útil do empreendimento:	
25 anos	

A **Tabela III.9** mostra uma comparação das alternativas de transporte analisadas para Tobene. Algumas observações importantes devem ser feitas:

- a operação otimizada do Tc necessita uma redução prévia da granulometria do R.O.M., por britagem ou peneiramento e a localização ideal da estação de redução granulométrica. É interessante lembrar que a vida útil do Tc alcança 20 anos.

- a operação do Tmin necessita que uma nova estação de pré-tratamento do R.O.M seja construída e também a localização ideal da estação de pré-tratamento. Deve-se ressaltar que a vida útil do Tmin pode-se situar em torno de 40 anos.

III.5.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Como ocorre em qualquer análise de sensibilidade, com a variação da taxa de desconto de 10% a 27% observa-se um decréscimo do Valor Atual (VA) dos projetos dentro de um intervalo de 62 a 65%. As duas últimas colunas da direita da **tabela III.10** indicam o comportamento da variação entre os VA dos projetos que oscila dentro de um intervalo de 7 a 18%.

¹⁵ Representado pela expressão “preço 2” no fluxo de caixa.

TABELA III.9 - Resumo das alternativas preliminares comparativas de transporte em Tobene

	Tc	Tmin
Investimento total(US\$)	80.742.600	45.068.780
Investimento(US\$/t)	40,37	22,53
Custo anual de Transporte(US\$)	3.550.000	2.500.000
Custo anual de transporte unitário(US\$/t)	1,80	1,25
Custo anual total(US\$)	57.698.000	40.633.000
Custo anual total unitário(US\$/t)	28,85	20,31
TIR	29%	53%
VA (10%)(US\$)	213.000.000	217.000.000
VA (US\$/t)	106,5	108,5

TABELA III.10 - Comportamento do VA em função da variação da taxa

	Tc	Tmin	$\Delta(Tc)$	$\Delta(Tmin)$
VA(10%)(US\$)	212.778.579,65	217.052.905,57		
VA(12%)(US\$)	183.854.207,64	187.547.497,07	13,59%	13,70%
VA(15%)(US\$)	151.506.942,36	154.550.873,25	17,62%	17,70%
VA(16%)(US\$)	142.903.843,47	145.774.931,27	5,70%	5,80%
VA(18%)(US\$)	128.133.522,00	130.707.856,75	10,33%	10,34%
VA(20%)(US\$)	115.961.709,97	118.291.500,45	9,50%	9,54%
VA(22%)(US\$)	105.812.979,91	107.938.566,08	8,62%	8,75%
VA(25%)(US\$)	93.411.387,18	95.287.848,39	11,72%	11,80%
VA(27%)(US\$)	86.599.461,88	88.339.084,17	7,29%	7,40%

¹⁶ Representado pela expressão “preço 2” no fluxo de caixa.

Na **figura III.2**, pode se observar que a TIR do T_{min} é mais atraente que aquela do T_c. Para um mesmo intervalo de variação de preço as diferenças entre as TIR's tendem a crescer mais favoravelmente para o T_{min}. A TIR apresenta um valor nulo para um preço de 17,5 US\$/t para o T_{min}, enquanto para o T_c é de 19,5US\$/t. Observa-se também que o comportamento dos valores atuais é muito próximo embora o VA_{T_{min}} se mostra mais elevado. Tal fato é mais pronunciado quando os preços situam-se abaixo de 38,00 US\$/t e acima de 40,00 US\$/t.

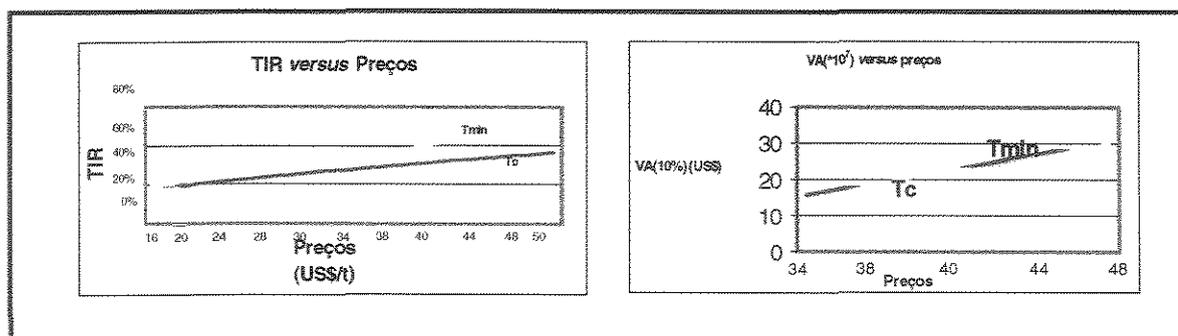


Figura III.2: Comportamento da TIR (T_{min}, T_c) e do VA (T_{min}, T_c) em função da variação do preço

Variando-se os investimentos conforme à **figura III.3** observa-se que a TIR do T_{min} decresce num intervalo de 39% a 22% enquanto o T_c decresce num intervalo de 71 a 42%, os VA's do T_{min} e do T_c decrescem respectivamente num intervalo de 0,62% e de 1,03% quando os investimentos diminuem até -25%, e decrescem num intervalo de 2,47% e de 4,90% quando os investimentos aumentam até +25%.

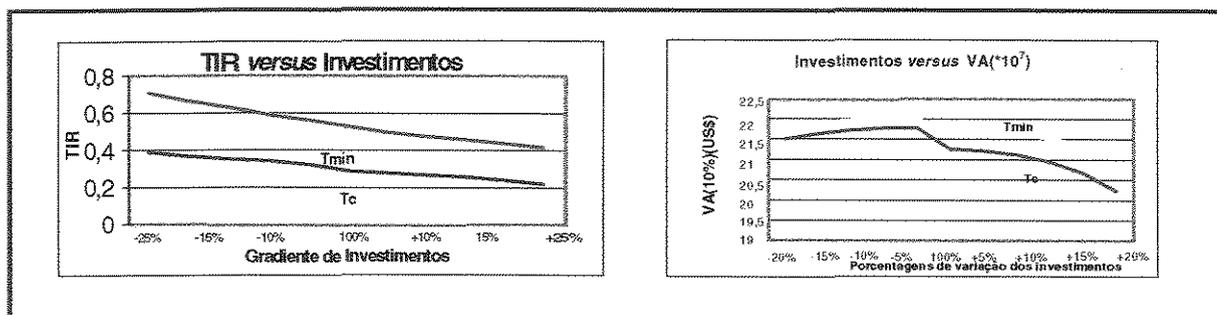


Figura III.3: Comportamento da TIR e do VA dos projetos em função do gradiente de investimentos.

A **figura III.4**, mostra também uma superioridade do T_{min} em termos de TIR e VA. Na figura do lado direito as curvas do T_{min} e do T_c apresentam um comportamento idêntico apesar de existir uma certa preponderância do T_{min} sobre o T_c.

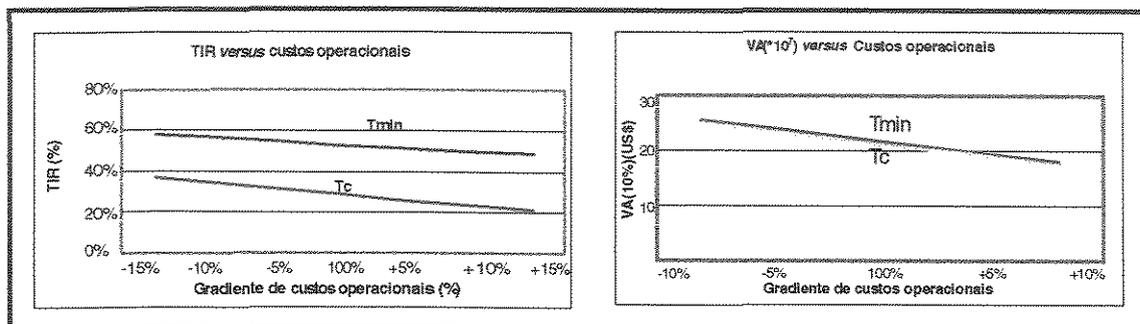


Figura III.4: Comportamento da TIR e do VA em função da variação dos custos operacionais

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A viabilidade da exploração de Tobene depende da viabilidade técnica e econômica do sistema de transporte “mina – usina de beneficiamento”. Para facilitar a comparação dos fluxos de caixa das duas alternativas preliminares, os custos operacionais destas foram considerados constantes, pois o maior investimento corresponde ao maior custo operacional e inversamente, o menor investimento possui o menor custo.

O transporte por caminhões (Tcam) não foi objeto de comparação, pois ele não pode ser considerado como uma alternativa definitiva. Após a exploração de Tobene-oeste, será inviável técnica e economicamente o uso de caminhões, devido ao aumento considerável da distância do trajeto ida e volta, que chegaria a 31 km. Além disto é importante lembrar que as distâncias de deslocamento atuais dos caminhões 18km, já estão acima do aconselhado 10 km, considerando-se um ciclo completo.

A alternativa marginal preliminar de transporte por cápsulas também não foi confrontada com as demais, pois não se dispõe de informações suficientes sobre os equipamentos que devem necessariamente operar em conjunto com tal método de transporte.

Os resultados obtidos indicam que os custos operacionais de transporte por correia (Tc) são superiores ao transporte por mineroduto (Tmin). Um dos motivos deve-se ao “material rolante”, como são chamados tecnicamente os equipamentos de correias, pois necessitam de uma manutenção bem mais complexa. Além disto, os custos operacionais por Tc seriam ainda mais elevados considerando-se um ROM úmido e argiloso como aquele que se terá em Tobene, a uma distância de 8 km, e a presença constante de ventos que comprometem os custos de operação. O estudo mostrou que no caso da exploração de Tobene, o Tmin, se apresenta mais rentável econômica e tecnicamente que o Tc, pois a TIR do Tc é de 29%, enquanto que o Tmin apresenta, uma TIR de 52% . Deve-se ressaltar que o Tmin apresenta investimento e custos operacionais menores que no caso do Tc. O Tcap merece uma atenção particular por parte de ICS. É uma tecnologia nova e

relativamente barata. Além disto apresenta várias vantagens, conforme mostrado nesse trabalho.

A análise de sensibilidade apresentada no último item do capítulo III permite obter uma visão mais aprofundada do ponto de vista econômico dos principais projetos confrontados.

Caso a ICS deseje alcançar uma produção superior ou igual 2.000.000 t de P_2O_5 , o mais rapidamente possível, é necessário iniciar a exploração de Tobene, utilizando os caminhões que já estão à disposição. Entretanto alguns aspectos deverão ser considerados neste processo.

1. Observando a alternativa preliminar do Tc, observa-se que o custo do lavador (*paddle mill*) e o do seu sistema de correias atingem US\$ 44.689.000, o que representa mais de 60% do investimento global da correia. Dependendo dos equipamentos que a ICS já possui na usina de beneficiamento, poderia-se dispensar o lavador, tornando o investimento para o Tc equivalente a US\$ 27.550.000, sendo inferior ao do transporte hidráulico (US\$ 36.550.000). A visita relativamente rápida efetuada na usina de beneficiamento de ICS não permite tomar tal decisão. Cabe à empresa então, possuindo um certo número de trabalhos à disposição, escolher a alternativa que mais se adapta às suas necessidades e realidades.

2. A jazida fosfática de KMF encontra-se em fase de exaustão, e devido às ocorrências consideráveis de rochas carbonatíticas que enriquecem o concentrado fosfático em calcita (CaO) material de difícil aceitação no mercado internacional. A falta de previsão de tais ocorrências pode ser atribuído a uma inadequada caracterização geológica e tecnológica do material, conduzindo a um planejamento deficiente da lavra. Um planejamento otimizado permitiria ter um conhecimento mais preciso das áreas de lavra de tal maneira que minérios mais pobres e contaminados possam ser misturados com minérios de melhor qualidade para se adequarem às especificações do mercado. Tal prática evita a lavra ambiciosa proporcionando custos menores a médio ou longo prazo e um tempo de vida maior à jazida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, G.A.S.C.. *A produção de fosfato no Brasil: uma apreciação histórica das condicionantes envolvidas*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1996. 130p..
- AQUINO, J. A. *et Al.* *Flotação em coluna aplicada a minério de fosfato*. In: FLOTAÇÃO: FUNDAMENTOS, PRÁTICA E MEIO AMBIENTE, 1992, Belo Horizonte. Anais do III Encontro do Hemisfério Sul sobre a Tecnologia Mineral/XV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, São Lourenço, Minas Gerais, Brasil, ABTM, 1992, p.422-434.
- ATGER, M.. *Données sur la géologie du gisement de phosphates de Taïba et sur les gisements d'origine sédimentaire marine*. Rapport interne C.S.P.T. 70/AT/06, 1970. 14p..
- BENCHEKROUN, A.. *Prospect for Phosphate Demand and Available Supply by The Year 2000*. In: WORLD PHOSPHATE INSTITUTE, TSI SYMPOSIUM ON SULFUR MARKETS TODAY AND TOMORROW, 1994, Washington D.C.. Washington D.C., p.1-19.
- BOUJO, A.. *Contribution à l'étude géologique du gisement de phosphate Crétacé-Eocène des Ganntour (Maroc Occidental)*, Sci. Geol. Mem., No. 43, 227p., 1976.
- B.R.G.M. *Plan minéral de la république du Sénégal*. Dakar: Services des mines et de la géologie, vol1, 1984.
- BRITISH SULPHUR CONSULTANTS. *Phosphate rock – 1995-2000*. London, CRU Int. Ltd., 1996b. (Five Years Outlook Study: February)
- CHRONIQUE DE LA RECHERCHE MINIERE, numéro spécial "phosphates". Orleans (France): BRGM, n. 156. 1988.
- COSTA E SILVA, V.. *Curso de carregamento e transporte de rochas*. Ouro Preto: Departamento de Mineração/UFOP/Escola de Minas/Fundação Gorceix. 1994. (Apostila).
- DE KUN, N.. *Mineral economics of Africa*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1987. 345p.
- FERNANDEZ, A. & DAMASCENO. P. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*, São Paulo, p. 10, BT/PMI/067, 1997.

- FLICOTEAUX, R.. *Genèse des phosphates alumineux du Sénégal occidental. Etapes et guides de l'altération.* França: Sci. Geol. Mem., 1980. 230 p.. (Sci. Geol. Mem., 67).
- FLICOTEAUX, R., HAMEH, P.M.. The aluminous phosphate deposit of Thiès, western *Senegal*. In: Notholt, A., Sheldon, R., Davidson, D., (eds), *Phosphate deposits of the world*. Cambridge: University Press. 1989. p. 273-276. (Phosphate Rock Ressources 2).
- FLICOTEAUX, R., LUCAS, J.. Weathering of Phosphate Minerals. In: Moore, P., Nriagu, J., (eds). *Phosphates Minerals*. Heidelberg: Springer-Verlag, 1984. p. 292-317.
- FLICOTEAUX, R. & LAPPARTIENT, J.R.. *Existence d'une lacune entre les termes marins du Paléogène et du Néogène du Sénégal méridional démontrée par les microfaunes et les microflores*. Marseille: [s.l.p.], 1980. 29p.. (Trav. Lab. Sci. Terre St Jérôme, Marseille, Série A, n. 12).
- GENTRY, D.W., & O'NEIL, T.J.. *Mine investment analysis*. New York: American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, 1984. 502p.
- GINET, HELENE. *Fertilizer product consumption forecast: series 1973/74 to 1989/90, post-estimate 1990-91, forecast to 1995/96 (1992/93)*. Paris: IFA, 1991. 272p.
- GINET, HELENE. *World fertilizer consumption statistics*. 22. Ed. Paris: IFA, 1990. 194p.
- GUEYE, K.. *Etude des phosphates féraeux dans les panneaux II et IV du secteur de Keur Mor Fall (Taïba): caractérisation et mécanismes de répartition*. Dakar. 1993. p. tese de Doutorado em Ciências da Terra, I.S.T. de Dakar.
- HARBEN, W. P., BATES, L. R.. *Industrial Minerals Geology and World Deposits*. United Kingdom: Industrial Minerals Division, Metal Bulletin Plc, 1990. 312p.
- HARTMAN, L. H.. *Introductory Mining Engeneering*. Canada: John Wiley & Sons, 1987. 633p.
- ISHERWOOD, K. F. *Fertilizer consumption report december 1990*. Paris: IFA, 1990. 68p.
- KOSUGI, S.. *A capsule pipeline system for limestone transportation*. In: Paper presented at the 7th International Symposium on Freight Pipelines, 1992. Mining Magazine. 1993.

- KULAIF, Y.. *A nova configuração da Indústria de Fertilizantes Fosfatados no Brasil*. São Paulo. 1997. P. dissertação de mestrado em Engenharia Mineral, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- LAPPARTIENT, J.R.. *Le "Continental Ternal" et le Pleistocène ancien du bassin sénégal-mauritanien, stratigraphie, sédimentation, diagenèse, atération. Reconstitution des paléorivages au travers des cuirasses*. Marseille. 1985. p. tese de Doutorado em Ciências da Terra, Aix-Marseille III.
- LIMA, J. M. G. de. *Perfil analítico dos fertilizantes fosfatados*. Brasília: DNPM, 1976. 55p.. (Boletim, 39).
- LUCAS J., PREVOT, L.. *Les marges continentales pièges géochimiques; l'exemple de la marge atlantique de l'Afrique à la limite Crétacé-Terciaire*. Bull. Soc. Geol., França: [s.l.p.], v. 17, n. 4, p. 496-501, 1975.
- LUCAS, J.. *Some Studies on Phosphorite Deposits: A. Glance*. Sci. Geol., n. 32, p. 3-5, 1979.
- LUCAS, J., et al.. *Differents Aspects of Phosphorite Weathering. Marines Phosphorites*, SEPM Sp, França: [s.l.p.], n. 29, p. 41-51, 1980.
- MANUAL de britagem faço, Allis Mineral System. 5. Ed. São Paulo: 1994. 230p.
- MINING ANNUAL REVIEW. Londres (Inglaterra): Mining Journal Ltd, anual. 1997
- MONCIARDINI, C.. *La sédimentation éocène au Sénégal*. [s.l.p.]: B.R.G.M., 1966. 65p.. (Mém. B.R.G.M., 43).
- PANNATIER, Y.. *Gisement de phosphates de chaux de Taïba (Sénégal). Analyses géostatistiques, géochimiques, minéralogiques et sédimentologiques*. Lausanne. 1990. p. tese de Doutorado, Université de Lausanne.
- RELATÓRIO SOBRE O DESENVOLVIMENTO, Infra-estrutura para o desenvolvimento. São Paulo: Fundação Getulio Vargas, 1994.
- SLANSKY, M.. *Géologie des phosphates sédimentaires*. [s.l.p.]: B.R.G.M., 1980. 92p.. (Mém. B.R.G.M., 114).
- SLANSKY, M., LALLEMAND, A., E MILLOT, G.. *La Sédimentation et l'altération latéritique des formations phosphatées du gisement de Taïba (République du Sénégal)*. França: Alsaça, 1964. p. 311-324. (Bull. Serv. geol. Als. Lorr., v. 17, n. 4).
- SOUZA, P. A. de. *Avaliação Econômica de Projetos de Mineração-Análise de Sensibilidade e Análise de Risco*. Belo Horizonte: Khronos Comunicação, 1995. 247p.

STOWASSER, W.F.. *Bulletin. Bureau of Mines*, n.675, p. 579-594, 1985.
(Mineral Facts and Problems: 1985).

SUMÁRIO MINERAL. Brasília D.F.: DNPM, anual. 1993.

SUMÁRIO MINERAL. Brasília D.F.: DNPM, anual. 1994.

SUMÁRIO MINERAL. Brasília D.F.: DNPM, anual. 1995.

SUMÁRIO MINERAL. Brasília D.F.: DNPM, anual. 1996.

SUMÁRIO MINERAL. Brasília D.F.: DNPM, anual. 1997.

SUSTRAC, G., et al.. Phosphates in West and Central Africa – the problem of Neogene and Recent formations. BURNETT, W.C., & RIGGS, S.R. (eds). *Phosphate deposits of the world*. Cambridge. Cambridge University Press. 1990. p.127-142. v3.

SYLLA, M.. *Le "Féral" à Taïba: Identification des espèces minérales. Evaluation des possibilités de sélection au niveau de l' extraction. Evaluation des possibilités d'élimination par voie minéralurgique (flottation et autres procédés)*. Dakar. 1986. p. tese de Doutorado em Ciências da Terra, I.S.T. de Dakar.

TESSIER, F., et al.. *Réforme du concept de "Continental Termal" dans les bassins côtiers de l' Ouest africain*. Marseille: [s.l.p.], 1977. 122p.. (Trav. Lab. Sci.Terre St Jérôme, Marseille, Série a, n. 9).

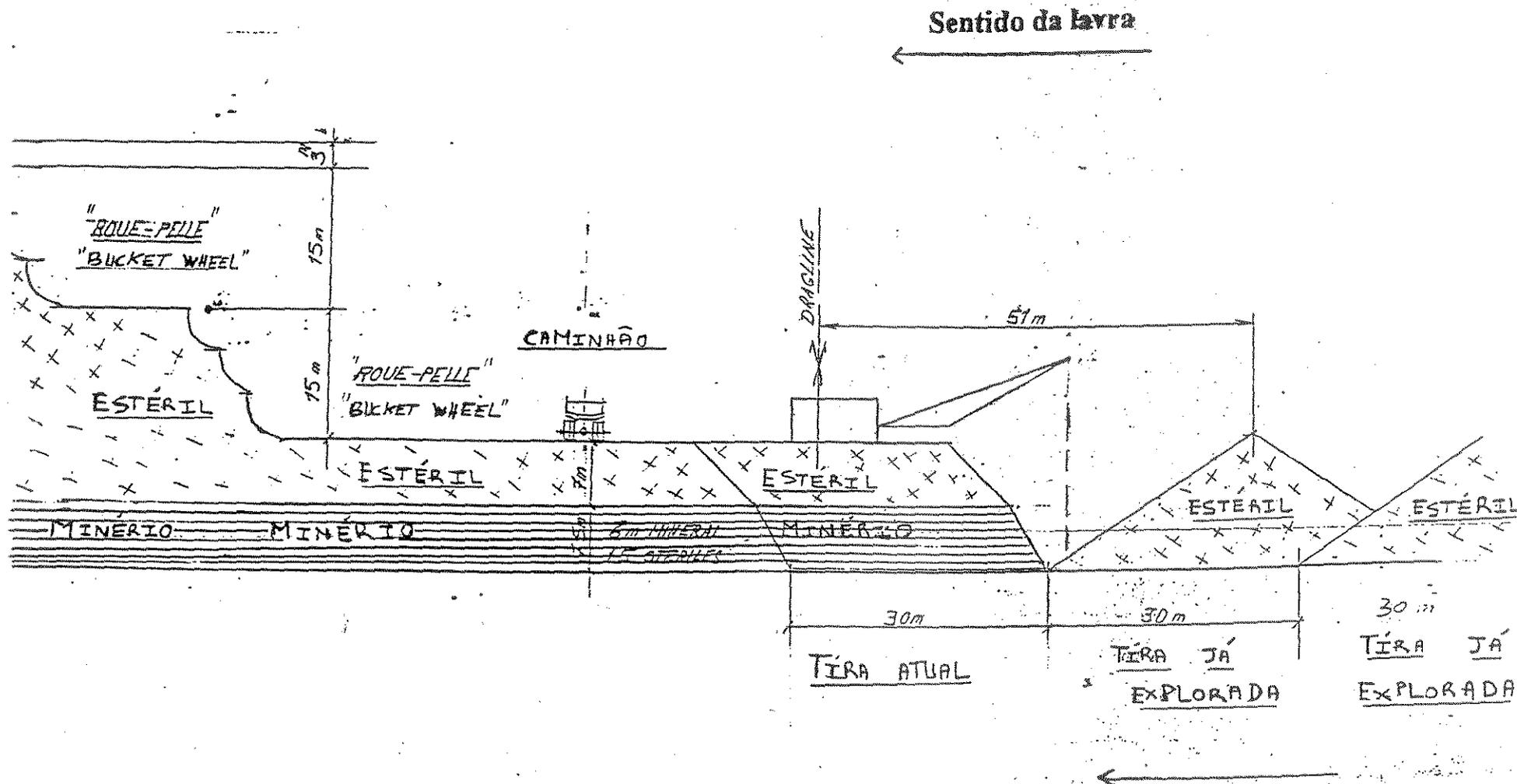
UNITED STATES BUREAU OF MINES. *Bureau of Mines Information Circular*. E.U.A.: U.S. Bureau of Mines, n. 9187. 1988.

INDUSTRIAL MINERALS. Londres: London Editorial Office, n. 352. 1997.

WORLD BANK. *World Development Report*. USA: Oxford University Press, 1995.

ANEXOS

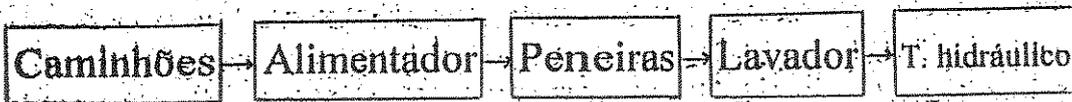
ESBOÇO DA LAVRA POR TIRAS: CORTE TRANSVERSAL



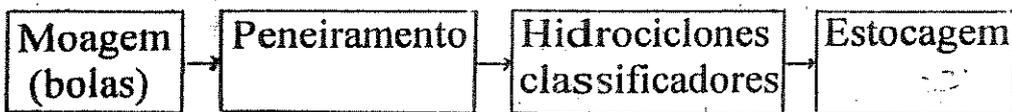
FUXOGRAMA SIMPLIFICADO DA USINA DA ICS



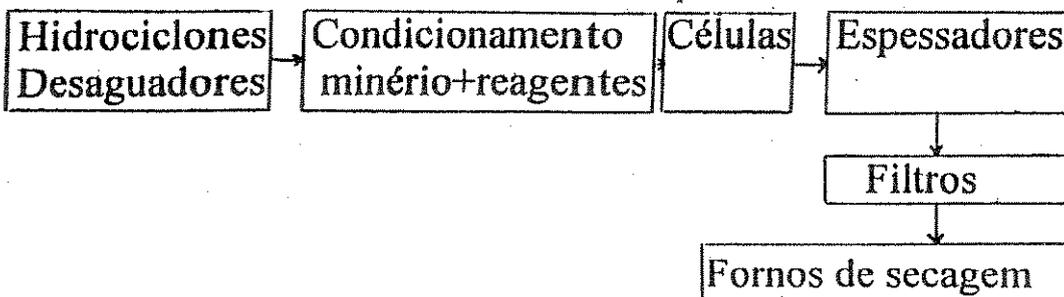
1. ESTAÇÃO DE PRETRATAMENTO



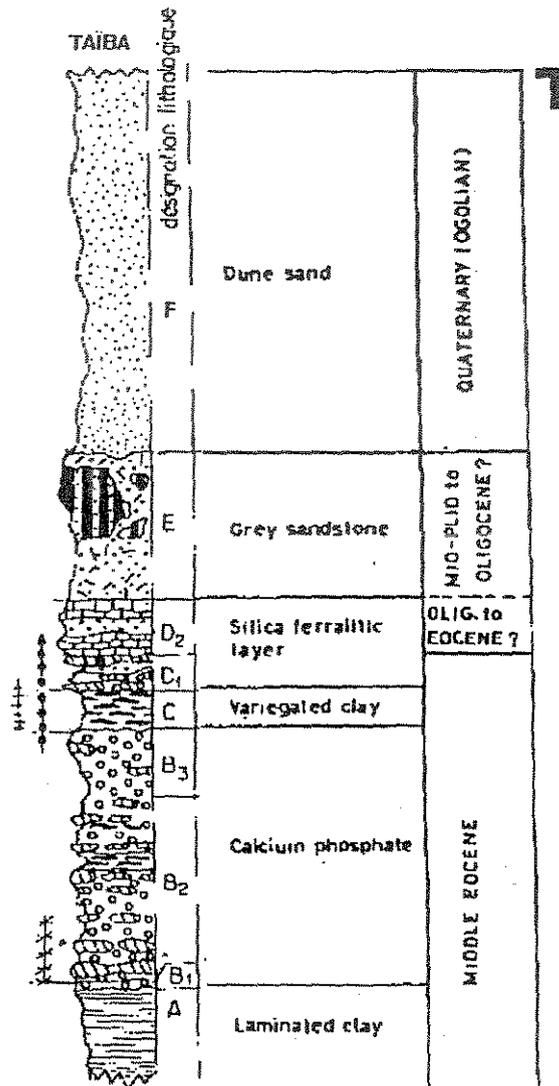
2. ESTAÇÃO DE PREPARAÇÃO



3. FLOTAÇÃO



ANEXO 3



- | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------|-------------------|
| Fine-grained sand | Alumino-phosphatic sandstone | Indurated clay | Sandstone |
| Ferruginous nodules | Bedded alumina phosphate | Variegated clay | Calcium phosphate |
| Ferruginous / cuirasse sandstones | Silica phosphatic breccia | Laminated clay | Flint |

Mammulites gizohensis
 Daucina eamiana
 Particulasphaera mexicana
 ← Microfaunae : Upper Eocene / Lower Oligocene

Estratigrafia da região de Taiba

LICOTEAUX R., 1971, in *Chronique de la recherche minière*-"numéro spécial phosphates",

ANEXO 4

Transporte por mineroduto

Teor médio	37%						
Recuperação usina	75%						
Preço 1; Preço 2	26	40					
Custo unit. Total	20,13						
Prod anual de minério	8.362.263						
Prod. De P2O5	2.000.000						
Anos	0	1	2	3	4.....23	24	25
Investimento total	-45.068.780,00						
Receita operacional		66.000.000	66.000.000	66.000.000	66.000.000	66.000.000	66.000.000
Tributo s/ faturamento		274.000,00	274.000,00	274.000,00	274.000,00	274.000,00	274.000,00
Receita op. Líquida		65.726.000,00	65.726.000,00	65.726.000,00	65.726.000,00	65.726.000,00	65.726.000,00
Custo op. Total		41.200.000	41.200.000	41.200.000	41.200.000	41.200.000	41.200.000
Lucro antes do IR		24.526.000,00	24.526.000,00	24.526.000,00	24.526.000,00	24.526.000,00	24.526.000,00
Depreciação (33%)		594.907,90	594.907,90	594.907,90	594.907,90	594.907,90	594.907,90
Lucro tributável		23.931.092,10	23.931.092,10	23.931.092,10	23.931.092,10	23.931.092,10	23.931.092,10
IR		22.504,89	22.504,89	22.504,89	22.504,89	22.504,89	22.504,89
Lucro após IR		23.908.587,21	23.908.587,21	23.908.587,21	23.908.587,21	23.908.587,21	23.908.587,21
Fc após IR	-45.068.780,00	23.908.587,21	23.908.587,21	23.908.587,21	23.908.587,21	23.908.587,21	23.908.587,21
TIR	53%						
VA (10%)(US\$)	R\$217.019.202,88						

ANEXO 5

Transporte por correia

Teor médio	37%					
Rec. Na usina	75%					
Preço 1;Preço 2	26	40				
Custo unitário	20,13					
Prod. De minério	8.362.262,97					
Prod. De P2O5	2.000.000					
Tributo s/ fatur.	274.000					
custo total	41.200.000					
Anos	0	1	2	3 4.....23	24	25
Investimento Tot.	-80.742.589,90					
Receita total		66.000.000	66.000.000	66.000.000	66.000.000	66.000.000
Tributo s/ fatur.		274.000,00	274.000,00	274.000,00	274.000,00	274.000,00
Receita op. Líquida		65.726.000,00	65.726.000,00	65.726.000,00	65.726.000,00	65.726.000,00
Custo op. Total		41.200.000	41.200.000	41.200.000	41.200.000	41.200.000
Lucro antes do IR		24.526.000,00	24.526.000,00	24.526.000,00	24.526.000,00	24.526.000,00
Depreciação(33%)		1.065.802,19	1.065.802,19	1.065.802,19	1.065.802,19	1.065.802,19
Lucro tributável		23.460.197,81	23.460.197,81	23.460.197,81	23.460.197,81	23.460.197,81
IR		23.460,20	23.460,20	23.460,20	23.460,20	23.460,20
Lucro após IR		23.436.737,62	23.436.737,62	23.436.737,62	23.436.737,62	23.436.737,62
FC após IR	-80.742.589,90	23.436.737,62	23.436.737,62	23.436.737,62	23.436.737,62	23.436.737,62
VA(10%) (US\$)	212.736.205,23					
TIR	29%					