

Pzstz de DIENGE

Anexo ao Memo 082/DEGEC/84

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

CDEM -

*Secret
Confidencial*

ESTUDO PRELIMINAR DE LAVRA E APROVEITAMENTO
INDUSTRIAL DO SAL-GEMA DOS DOMOS SALINOS DA
PLATAFORMA MARÍTIMA DO ESTADO DO ESPÍRITO
SANTO

EDWARD PINTO DE LIMA
Engº de Minas e Metalurgista

Em 1 de Fevereiro de 1984

CP de - DIDOTE
1430
I
Phl 00944g

DEGEC/DIENGE

I N D I C E

	Página
1. GENERALIDADES	01
2. HISTÓRICO	04
3. MÉTODOS DE LAVRA	06
3.1 - Mineração por Dissolução	06
3.1.1 - Sistemas de Extração através de Poços Isolados	08
3.1.1.1 - Injeção pelo Topo (Circulação Inversa)	08
3.1.1.2 - Injeção pela Base (Circulação Indireta)	09
3.1.1.3 - Método Trump	10
3.1.1.4 - Injeção pela Base (Anular)	11
3.1.1.5 - Circulação Mista	12
3.2 - Produção de Salmoura em Galeria	12
3.2.1 - Coalescência de Poços	12
3.2.2 - Galerias entre Poços	13
3.3 - Perfuração Direcional	16
4. MECANISMO DA DISSOLUÇÃO DO SAL	18
4.1 - Análise Matemática	18
5. SELEÇÃO DO MÉTODO DE LAVRA	20
5.1 - Características dos Domos Salinos de Plataforma Continental do Espírito Santo	23
5.1.1 - Área de Abrolhos do Norte	23
5.1.2 - Área de Mucuri	23
5.1.3 - Área de Barra Nova	23
5.2 - Reservas	24
5.3 - Teor	25
5.4 - Método de Lavra	26
5.4.1 - Descrição de um Programa de Per	26

furação	26
5.4.2 - Produção	28
5.4.2.1 - Dimensão da Cavidade Final	29
5.4.2.2 - Densidade do Sal e da Salmoura - Grau de Solubilidade	30
5.4.2.3 - Produção por Poço	30
5.4.2.4 - Vida Útil de cada Poço. Coeficiente de Recuperação	31
5.4.2.5 - Água e Energia	32
5.4.2.6 - Transporte de Salmoura e Água	33
5.4.2.7 - Tratamento da Salmoura	34
5.5 - Processo de Recuperação e Refino da Salmoura	34
5.5.1 - Do Mar	34
5.5.2 - Dos Depósitos Geológicos	36
6. OBTENÇÃO DE SAL POR EVAPORAÇÃO DA SALMOURA	38
6.1 - Purificação da Salmoura	38
6.2 - Evaporação	39
6.2.1 - Evaporação Solar	39
6.2.2 - Evaporação por Múltiplo-Efeito	40
6.2.3 - Evaporação por Termo-Compressão	41
7. CUSTOS DE EXTRAÇÃO DO SAL-GEMA	43
A. Mineração	43
B. Refino	43
C. Despesas de Início de Operações	44
D. Custo Total de Capital	44
8. SODA CÁUSTICA E SUA OBTENÇÃO	47
8.1 - Célula de Mercúrio	47
8.2 - Célula de Diafragma	48
8.3 - Tratamento e Usos dos Produtos Obtidos na Eletrolise do Sal	49
Cloro	
Hidrogênio	
Solução Cáustica	

9. INVESTIMENTO E CUSTO DE PRODUÇÃO	52
9.1 - Investimento na Extração da Salmoura	52
9.1.1 - Custo Unitário	52
9.2 - Investimentos e Custos Unitários na Usina de Purificação e Evaporação do Sal	53
9.2.1 - Investimentos Comparativos de Evaporadores de Múltiplo-Efeito (4) <u>Ver</u> sus Termo-Compressão	54
9.2.2 - Estimativa do Custo Anual	55
10. CUSTO FINAL DO SAL EVAPORADO	57

RECOMENDAÇÃO

FIGURAS

1. Injeção pelo Topo
2. Injeção pela Base
3. Método Trump
4. Injeção pela Base (Anular)
5. Coalescência entre Poços
6. Extração de Salmoura por Galerias
7. Gráfico de Pressão
8. Perfuração Direcional
9. Sugestão de Programa de Perfuração
10. Evaporador de Múltiplo-Efeito
11. Evaporador com Termo-Compressão

BIBLIOGRAFIA

ESTUDO PRELIMINAR DE LAVRA E APRO-
VEITAMENTO INDUSTRIAL DO SAL-GEMA DOS DO
MOS SALINOS DA PLATAFORMA MARÍTIMA DO ESPÍRITO SANTO

1. GENERALIDADES

Todos os dias nós estamos em contato com a substância básica de cloreto de sódio - direta ou indiretamente. A extensão deste contato vai depender dos hábitos de alimentação do indivíduo e do trabalho que ele faz. A ordem dos contatos possíveis é extremamente variável, estendendo o sal de mesa à área dos plásticos - razão de sua crescente importância nos dias atuais, demandando um consumo sempre crescente.

Apesar da importância do sal como elemento essencial à vida animal, procuramos, neste estudo de pré-viabilidade, enfatizar o seu uso com vistas à fabricação de soda cáustica, cloro e barrilha, para atender principalmente às indústrias de alumínio e petroquímica.

O consumo aparente de sal, no Brasil, (sal marinho e sal-gema) no período de 1971/72, apresentou um crescimento de 11,1% a.a. e a oferta interna vem crescendo a uma taxa anual de 5,4%, caindo em 1977 para cerca de 4% e hoje, face a recessão mundial e nacional, teve seu crescimento reduzido para menos de 1%.

O sal tem um emprego bastante diversificado: como alimento humano, pecuário e correlatos, indústria química, indústria de aplicação (salgas e alimentícias), indústria de conservação (matadouros e frigoríficos), indústria de fabricação de borraça e indústria farmacêutica.

Segundo levantamento realizado em 1977 (RDEP), foi

a seguinte a participação de cada setor no total consumido (sal marinho):

Setores Consumidores	%
Pecuária e Correlatos	34,3
Soda Cáustica	20,8
Alimentação Humana	17,6
Barrilha	11,6
Indústria de Aplicação, salgas e alimentícias	7,5
Indústria de Conservação, matadouros e frigoríficos	4,4
Fabricação de Gelo Industrial	2,0
Ind. de Fabricação de Borracha Sintética e Farmacéutica	1,3
Outros	0,5

A produção de sal-gema no Brasil foi iniciada em 1977 pelos dois únicos produtores ainda existentes: Salgema S. A. e Dow Química, cuja evolução produtiva está no quadro abaixo:

EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO BRASILEIRA DE SAL-GEMA
(Em toneladas)

Ano	Produtos	Sal-gema S.A. Maceió, Alagoas	Dow Química Salvador, Bahia	TOTAL
1977		121.808	161.717	283.525
1978		276.237	292.427	568.665
1979		298.586	391.167	689.753
1980		320.745	477.031	797.776
1981		360.697	478.181	838.878
1982		366.309	479.853	846.162

Fonte: Comissão Executiva do Sal

A produção mundial de sal se situa em torno de 180 milhões de toneladas por ano e os Estados Unidos já atingem a 46 milhões de toneladas, sendo 53% usado pela indústria química na obtenção de soda cáustica e carbonato de sódio (barrilha). A relação estequiométrica teórica nos dá que é necessário 1 tonelada de sal para produzir 684 kg de soda cáustica.

A produção brasileira é da ordem de 3,7 milhões de toneladas de sal marinho e sal-gema. Todo o sal-gema brasileiro produzido vem sendo consumido pela indústria petroquímica.

2. HISTÓRICO

O sal-gema é muito difundido no mundo, seus jazimentos se apresentam em escala estratigráfica desde o Infracambriano (Australia - Oriente Médio) até ao Pleistoceno (Califórnia, Israel, etc.). Ele se apresenta em leitos estratificados ou em domos, podendo ser encontrado em profundidades muito variáveis.

Os jazimentos se apresentam tanto em leitos estratificados não tectonizados (La Bresse e Valentinóis na França, são bons exemplos) como nos leitos tectonizados mas sem extravazamento (Manosque) ou ainda sob a forma diapírica, como na Aquetânia.

A facilidade de extração de sal por dissolução através de uma simples circulação d'água a partir de um furo ou poço é a primeira razão de sua atratividade econômica.

Em virtude desta atratividade econômica, aliada ao princípio de que o sal-gema em profundidade constitui-se em um meio elástico-plástico, notavelmente na vedação de líquido ou gás, e ainda que é físico-quimicamente inerte em presença dos hidrocarbonetos líquidos ou gasosos e muito solúvel n'água, é que se pensou na abertura de cavernas para estocagem de hidrocarbonetos.

As vantagens desta utilização, além do custo da estocagem dos hidrocarbonetos que é US\$1,50/barril, enquanto nos tanques na superfície custa quatro vezes mais, vem a segurança patrimonial/estratégica e a proteção ambiental.

Aliando-se, principalmente, aos critérios de ordem econômica na produção das cavidades, a extração de sal, quando próxima às indústrias utilitárias, pode produzir cloreto de sódio, cloro, carbonato de sódio, soda cáustica ou mesmo a produção de sal cristalizado pela evaporação solar ou térmica.

Nos Estados Unidos 54% da produção doméstica de sal

provêm da dissolução subterrânea, 32% por mineração convencional e 14% por evaporação solar. No Brasil a dissolução subterrânea responde por 29% do sal produzido, sendo o restante obtido nas salinas.

A dissolução subterrânea foi iniciada pelos idos de 1882, quando se usava o sistema de "ar lift" em Saltville, New York. De lá até hoje as técnicas de mineração vêm evoluindo grandemente.

3. MÉTODOS DE LAVRA

A abertura de cavidade no sub-solo para extração de sal-gema ou para cavidades para estocagem de líquidos tem se utilizado dos métodos mineiros clássicos de extração como poços, galerias, câmara-e-pilar, etc. Mas, é a técnica de dissolução que, quase sempre, se apresenta como a mais econômica.

A dissolução pode ser vista segundo duas técnicas: dissolução vertical e dissolução horizontal.

A dissolução vertical é a mais utilizada. Faz-se um furo clássico, tipo sondagem de petróleo, cujo programa deve ser adaptado às características geológicas (profundidade e espessura do sal notadamente) mas também aos imperativos impostos pela dissolução e extração.

Já a dissolução horizontal é utilizada quando o depósito se apresenta com algumas dezenas de metros de espessura. O método consiste em perfurar vários poços na formação, colocar os poços vizinhos em comunicação um com outro, por fraturamento hidráulico segundo o plano de estratificação do sal. O fraturamento geralmente segue um plano de contato, por exemplo argila-sal. A seguir passaremos a descrever as várias técnicas de mineração por solução.

3.1 - Mineração por Dissolução

As técnicas de mineração por solução oferecem meios de extração de minérios solúveis, particularmente minerais tais como sal-gema e potássio, de horizontes que não são acessíveis para a mineração convencional. A dissolução do produto a ser extraído pode ser completa ou parcial, busca-se, quase sempre, a dissol

lução completa. Mas mesmo que se consiga o intento desejado, pode haver instâncias em que haja algum material insolúvel presente por uma grande extensão, como partículas granulares ou como camadas insolúveis.

O processo requer, portanto, para a obtenção do produto desejado, a abertura de poços de acesso a camada ou domo salino, suprimento suficiente d'água para alcançar os objetivos de produção e o desenvolvimento de uma cavidade subterrânea. O processo de mineração por solução, portanto, depende em grande parte de três fatores:

- 1) - disponibilidade de um extrato ou formação relativamente pura de sal a ser minerado;
- 2) - poço ou poços de acesso; e
- 3) - controle adequado do processo de dissolução, tal que o alargamento das cavidades subterrâneas possa ser bem delineado.

O método é empregado para extração de um ou mais mineral solúvel, através da introdução de um solvente conveniente no depósito mineral com o objetivo de se obter a solução resultante. Usualmente é utilizado a água como solvente na temperatura ambiente ou aquecida para aumentar a sua solubilidade.

O método de lavra por dissolução subterrânea, hoje apresenta resultados surpreendentes em face de possibilitar mineração jazidas de sal-gema situadas a grandes profundidades, minimizando os custos de produção por tonelada de sal extraído. Comparativamente pode-se afirmar que tais custos são bastantes inferiores aos que se obtém nos demais processos de extração, além de proporcionar a obtenção de uma ampla quantidade de sal de alta pureza.

A mineração por dissolução do sal pode ser feita por

poços isolados ou por poços conjugados/interligados.

3.1.1 - Sistemas de Extração Através de Poço Isolado

A água é injetada, a alta pressão, através do poço ou poços tubulares profundos que têm acesso ao depósito mineral. Por diferencial de pressão a solução saturada ou próxima da saturação em sal retorna pelo mesmo poço e atinge a superfície.

Os sistemas de poço único para produção de salmoura são apresentados em tipos, em função da maneira como é injetado o solvente (água quase sempre), como segue:

- 1 - Injeção pelo topo (anular)
- 2 - Injeção pela base
- 3 - Método Trump
- 4 - Injeção pela base (anular)
- 5 - Injeção Mista (Topo e Base)

3.1.1.1 - Injeção pelo Topo (Circulação Inversa)

Esta aproximação envolve a instalação de um tubo condutor ou de superfície através do capeamento inconsolidado até a rocha subjacente por meio de uma sonda a cabo ou rotativa. Quando adequadamente instalado, este tubo condutor é cimentado na rocha pelo pressionamento de uma polpa de cimento para baixo e por fora do revestimento. Um tampão seguidor, acionado por meios mecânicos ou hidráulicos, força o cimento a subir no anular forçado pelo tubo condutor e o furo aberto. Depois que o cimento tenha sido curado, a perfuração do furo é continuada até ao topo da camada superior do sal onde para a perfuração e desce o revestimento principal, cimentando até a superfície numa maneira similar àquela usada no assentamento do tubo condutor.

Uma vez assentada a tubulação principal, a perfuração é continuada até a base da camada de halita, com diâmetro reduzido de acordo com o do diâmetro do furo revestido. Depois desta etapa desce no furo uma tubulação anular, estendendo da superfície até próximo da base do sal ou até a profundidade determinada para início da mineração (Conforme Representação Esquemática - Fig. 1).

Alguns operadores criam um fosso na base do topo para coleta dos resíduos insolúveis, muito comuns nestes tipos de depósitos.

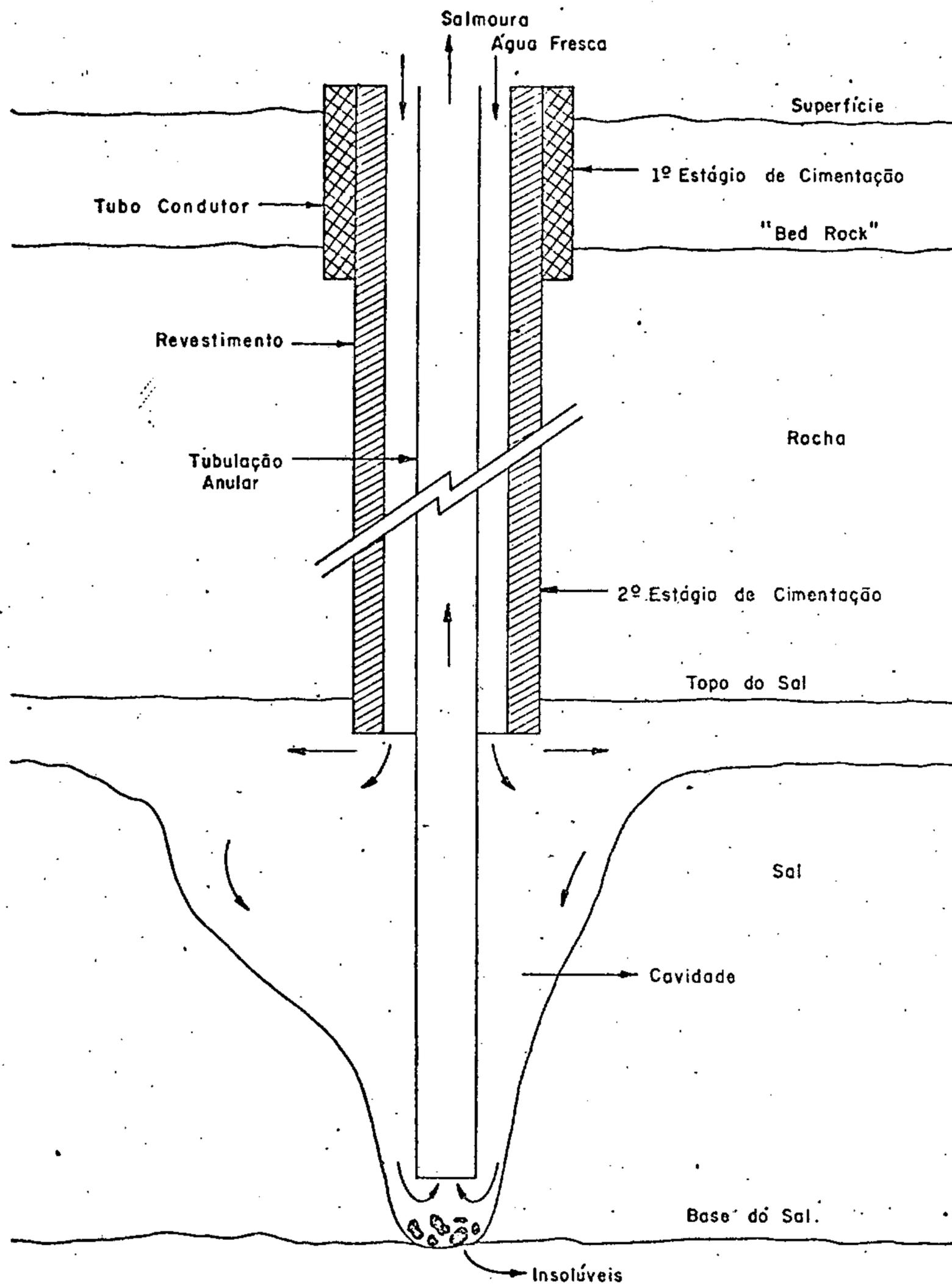
A vantagem principal deste sistema é a simplicidade da operação do poço.

As desvantagens são:

- 1) - A coleta de insolúveis em torno da base do poço de produção;
- 2) - A rápida exposição de grandes áreas de rocha do tipo do sal, o que pode levar a posições insustentáveis, causando o colapso de tais camadas, ou até levando-as a subsidência, resultando no dobramento ou mesmo destruição da tubulação de produção;
- 3) - Dissolução da parte superior da camada de sal com recobrimento subsequente da porção inferior da lâmina inferior de salmoura por materiais insolúveis;
- 4) - Baixa percentagem de extração; e
- 5) - Geralmente baixas razões de produção (menos do que 100 galões por minuto).

3.1.1.2 - Injeção pela Base (Circulação Direta)

Fig.1 - INJEÇÃO PELO TOPO



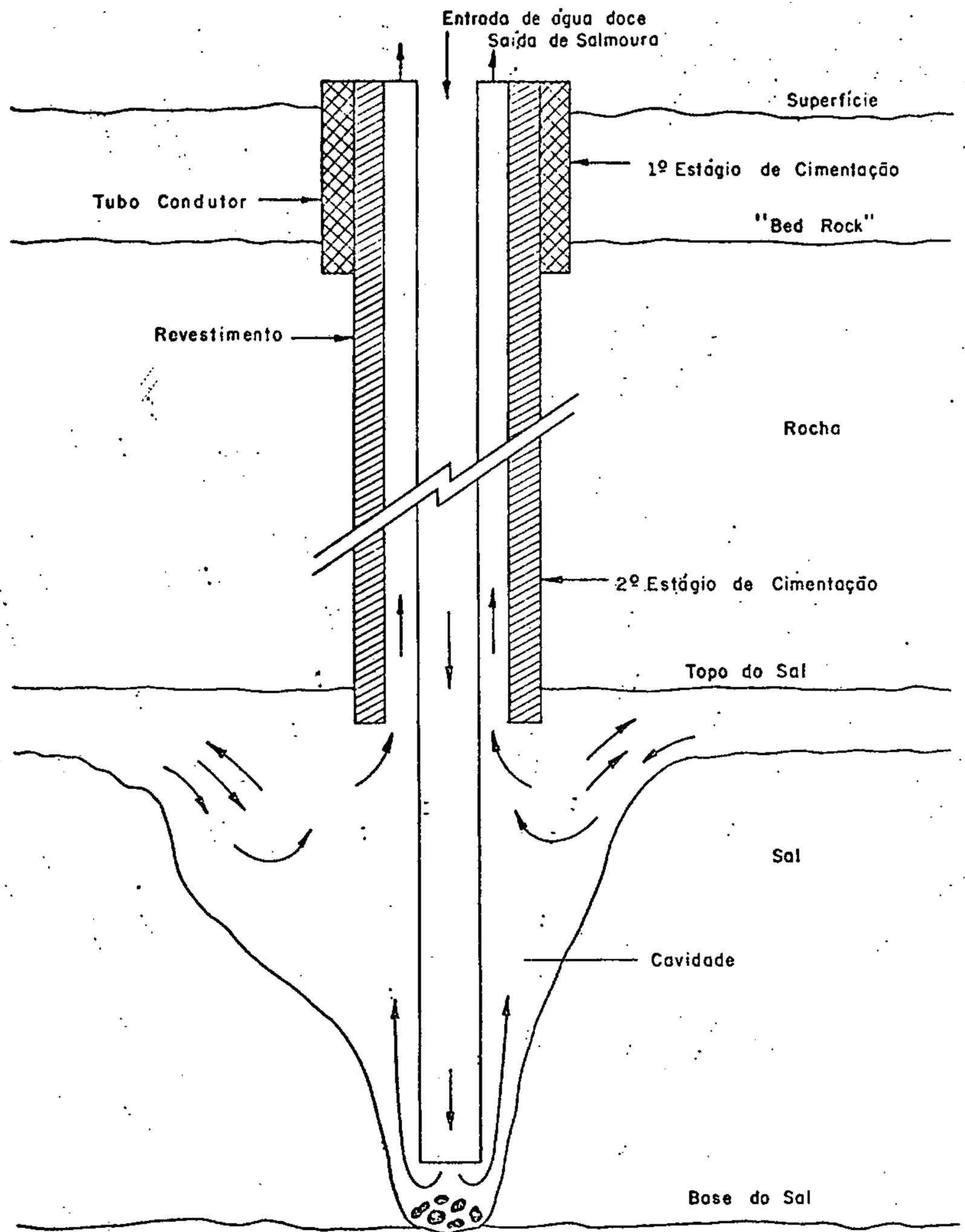
CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Fig.1

Escala : Sem Escala

Fig.2 - INJEÇÃO PELA BASE (Circulação Direta)



CPRM
PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Fig.2

Escala : Sem Escala

Este sistema envolve a operação de um poço, similar em construção a um poço de injeção pelo topo, onde a água é internamente injetada na tubulação. Em geral, o método de injeção pela base produz uma salmoura saturada com uma razão mais baixa de fluxo (15 a 20 galões por minuto) (Ver fig. 2).

As vantagens reivindicadas para este sistema são:

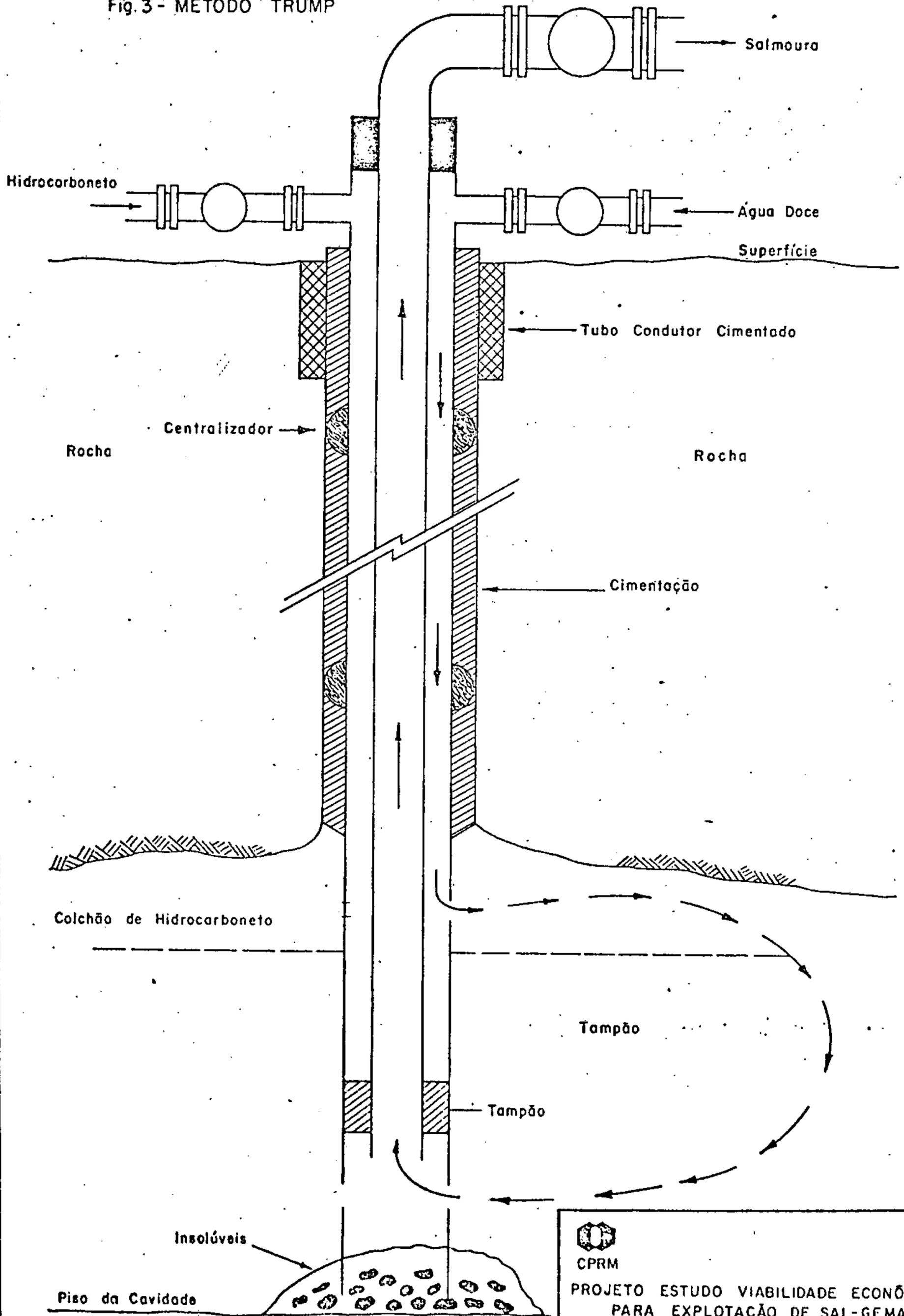
- 1) - uma forma de cavidade mais uniforme;
- 2) - menos manutenção e reparo, devido a maior área do fosso para materiais insolúveis e outros detritos;
- 3) - menos bloqueamento ou tamponamento da tubulação pelos materiais insolúveis; e
- 4) - maior percentagem de extração.

A circulação direta minimiza o efeito da dissolução na parte inferior da cavidade, pois o tubo central se prolonga até a base da cavidade onde ocorre a injeção d'água. Assim o poder de dissolução na parte basal é bem maior e, ao sair a solução pela parte superior, a mesma já se encontra bastante saturada reduzindo o poder de remoção do sal naquela região. A configuração da cavidade deverá ser similar a um cone, sendo bastante estável. Possibilita ainda grande estabilidade por tonelada de sal renovado e maior recuperação por poço, pois a cavidade poderá atingir maior volume espacial com reflexos sobre a sua vida útil. Evitam-se possíveis entupimentos no tubo central bem como no anular, onde é feita a captação da salmoura. Em contrapartida o volume de salmoura saturada (m^3/h) por poço, é menor.

3.1.1.3 - Método Trump

Este termo geralmente é aplicado a mineração por so-

Fig. 3 - MÉTODO TRUMP



CPRM
PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Fig. 3

Escala : Sem Escala

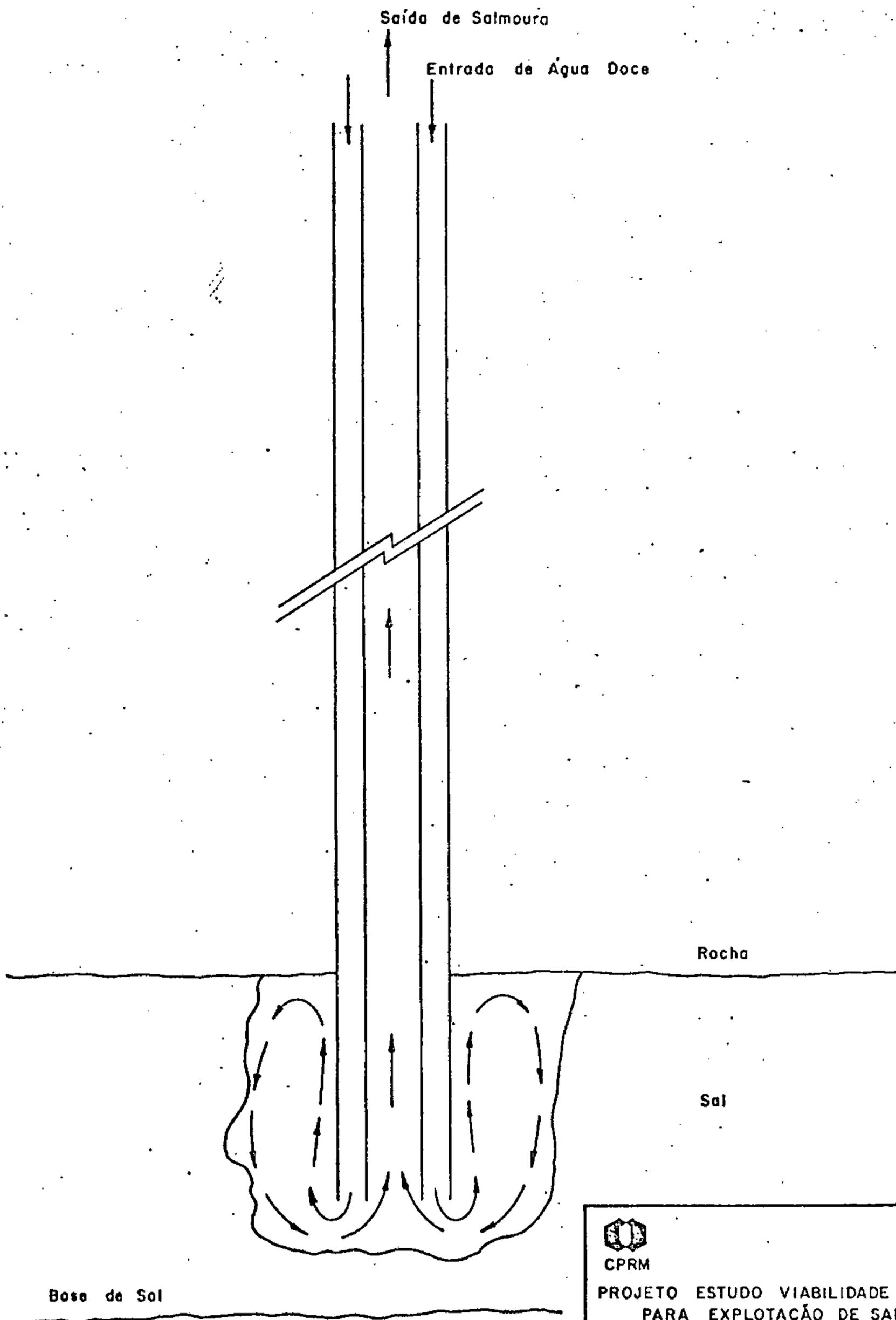
lução onde uma lâmina pneumática ou de hidrocarboneto é usada para controlar o nível em que a solução de sal deve ocorrer. Este colchão fica entre as camadas superiores de sal e a porção da camada mais inferior, que é usualmente a primeira a ser minerada. A aplicação simples do princípio de Trump clama pela instalação de duas tubulações, uma interna a outra com um espaço anular entre elas dentro do revestimento. Vários meios são usados para calcular a localização e manutenção da interface do solvente-colchão. Por injeção pelo topo ou pela base, ou outras combinações (exemplo, o ponto intermediário pode ser usado pelo sistema (Ver Fig. 3)). A injeção pelo topo é a preferida por muitos operadores que usam o sistema de poço único. Primordialmente esta seleção é devida aos maiores fluxos de salmoura saturada que este sistema pode desenvolver. Adicionalmente, considerando que o colchão controla a forma da cavidade resultante, a principal vantagem da injeção pela base das duas tubulações concêntricas é uma função (1) do grau de saturação necessário (2) do volume da salmoura requerida e (3) da área do sal exposta e/ou a maturidade da cavidade.

O uso de colchões de hidrocarbonetos é mais prevalente do que o pneumático, além do aspecto combinado salmourização-estocagem. Os hidrocarbonetos, mesmo com instalação mais cara, são de baixo custo de manutenção. Além disso, as pressões de operação são inferiores pelo uso do colchão de hidrocarbonetos, em face do peso de sua coluna ser bem maior do que uma similar de gás.

3.1.1.4 - Injeção pela Base (Anular)

Esta é a aproximação menos usada, devido à baixa capacidade de produção de salmoura inerente ao sistema. As modificações do sistema que dão ao solvente injetado uma componente horizontal são preferíveis, mas a exposição das tubulações concêntri

Fig.4 - INJEÇÃO PELA BASE (Anular)



CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Fig.4

Escala : Sem Escala

cas, as ameaças de desmoramento do teto, a movimentação de rocha e o tamponamento dos tubos, tornam este sistema um dos menos atrativo e mais caro do ponto de vista de manutenção (Ver Fig. 4).

3.1.1.5 - Circulação Mista

Prepara-se o poço de maneira que se possa utilizar os dois sistemas, dependendo dos objetivos propostos, além de arenizar e melhor controlar o topo da cavidade. As posições dos tubos central e intermediário poderão ser alteradas de maneira a possibilitar maiores volumes de produção de salmoura e dar configurações desejadas às cavidades, principalmente quando se pretende a utilização futura das cavidades para outros fins ou para corrigir a má formação.

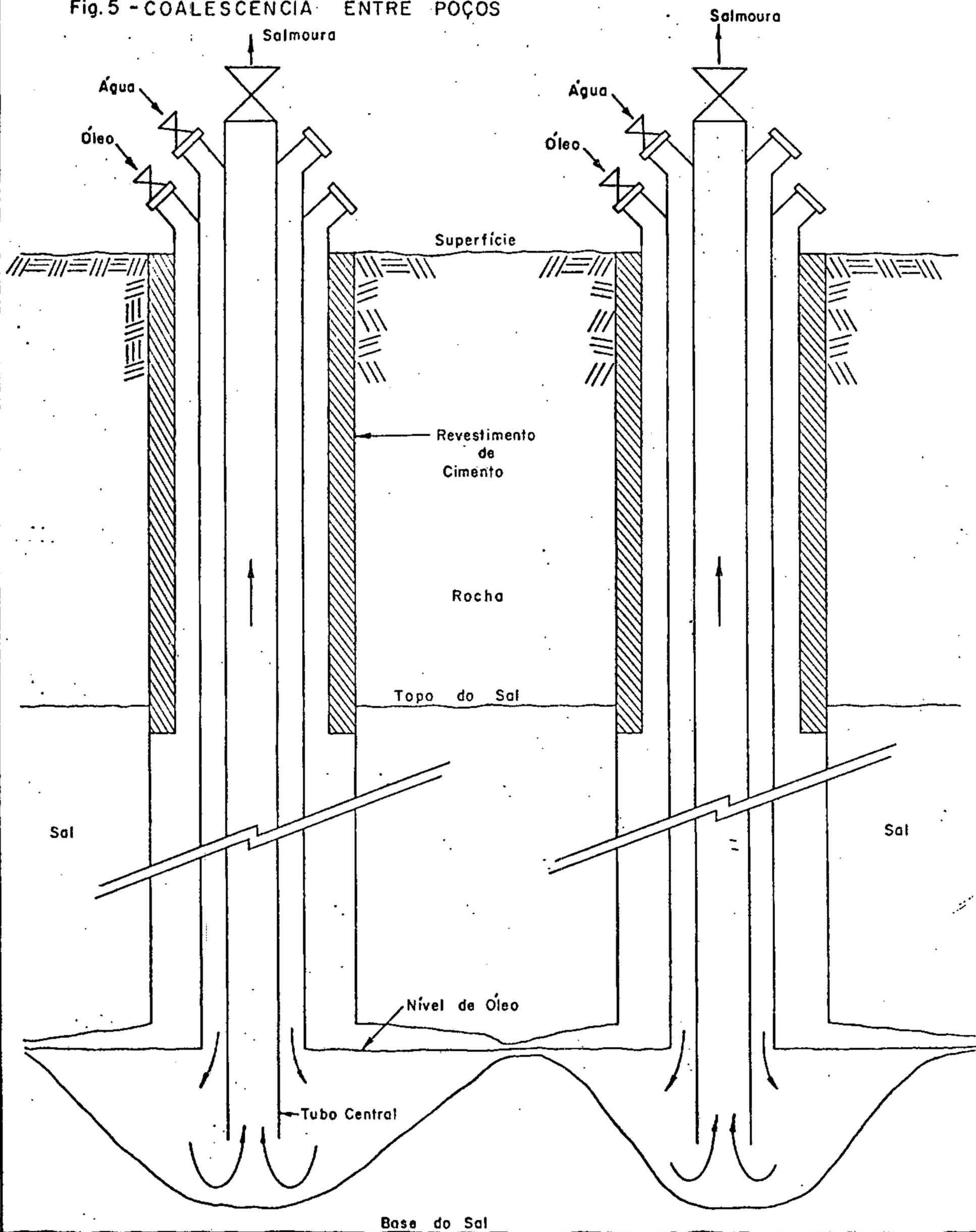
3.2 - Produção de Salmoura em Galeria

Este processo permite a produção de salmoura concentrada, pela injeção de água por um poço, dissolução do sal no horizonte de sal-gema, e extração de solução saturada por outro poço, intercomunicado com o primeiro por uma galeria desenvolvida a partir de fraturamento, ou mesmo a junção da cavidade de um poço com a de outro e/ou outros.

3.2.1 - Coalescência de Poços

Neste sistema, procura-se colocar os poços adequadamente espaçados (100 m, por exemplo) e começa-se a trabalhar cada poço individualmente. Após algum tempo de operação e atuando-se para que as cavidades se desenvolvam lateralmente até que uma cavidade se interligue com outra ou outras, pode-se unir dois ou mais

Fig. 5 - COALESCENCIA ENTRE POÇOS



CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Fig. 5

Escola : Sem Escola

poços num mesmo sistema. Quando isto ocorrer, a injeção pode ser feita através de um poço e a recuperação da salmoura por um segundo. A este processo se dá o nome de coalescência de poços e quando isto acontece temos uma maior produção de salmoura, assim também como uma maior recuperação de jazimento (Ver Fig. 5).

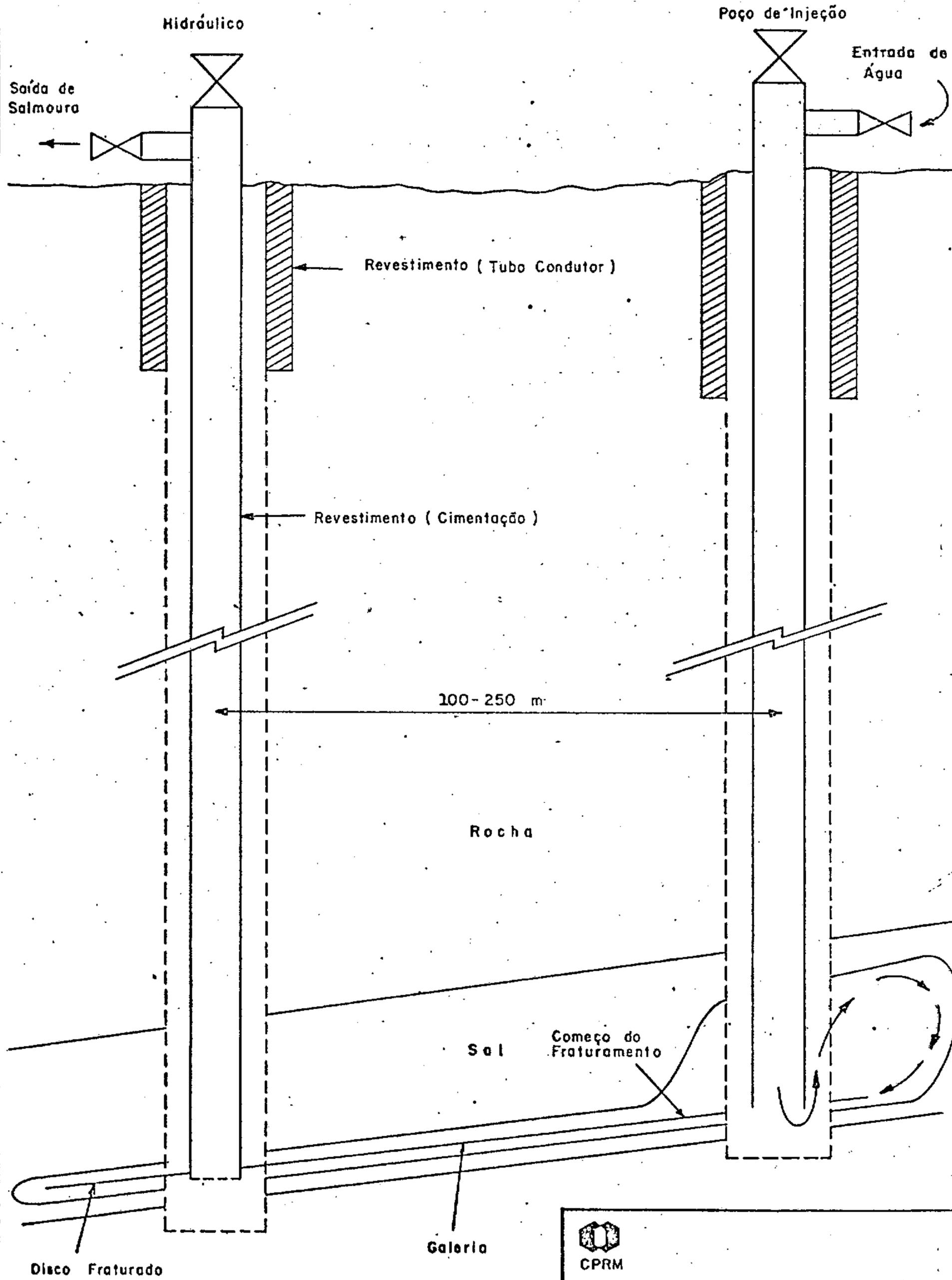
Com esta técnica procura-se fazer com que o desenvolvimento da cavidade cresça, adquirindo a configuração de um cone invertido, até que a cavidade de um poço se encontre com a do outro. Em alguns lugares está se conseguindo alcançar bons resultados num período de 18 meses, em poços afastados um do outro de 90 metros. Faz-se o desenvolvimento dos poços simultaneamente através da circulação inversa e quando interligados, os poços, que originalmente eram operados isoladamente, passam a constituir um poço de injeção e outro de produção, com as seguintes vantagens:

- 1 - Tem-se produção contínua com poucas paradas para manutenção e reparos;
- 2 - Maior recuperação das reservas de sal, ou seja, maior recuperação por poço, reduzindo o custo unitário por tonelada de sal extraído;
- 3 - A configuração da cavidade é mais facilmente controlada;
- 4 - Menor tempo de desenvolvimento para se obter volumes de salmoura saturada;
- 5 - Menor possibilidade de ocorrência de subsidência, pois a interligação se faz a partir da camada mais profunda do depósito.

Esta técnica é normalmente mais adequada para jazidas das camadas.

3.2.2 - Galerias entre Poços

Fig. 6 -- EXTRAÇÃO DE SALMOURA POR GALERIA — FRATURAMENTO



CPRM
PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Fig. 6

Escola : Sem Escala

Este sistema é grandemente empregado em jazidas dispostas em camadas e que apresentam pequena espessura, mas com grandes reservas em extensão horizontal, porque a lavra de depósitos em tais condições por poços isolados faz com que a relação de investimento por tonelada de sal recuperável torne-se muito grande, inviabilizando o empreendimento.

Este sistema utiliza-se do fraturamento hidráulico, que é uma tecnologia muito aplicada pela indústria de petróleo.

Cada poço é perfurado até uma profundidade que ultrapasse um pouco a base do sal ou aquele horizonte escolhido para o fraturamento (Ver fig. 6). Antes de revestir o poço, o nível da hidrofratura é cuidadosamente escolhido, por meio de perfis geofísicos, coincidindo, normalmente, com um plano de xistosidade indetectável em ambos os poços.

O revestimento é descido a seguir e cimentado às encaixantes, com todos os cuidados possíveis para assegurar uma ligação hermética do tubo com as paredes do furo. Novamente deve ser verificada a posição do nível de fraturamento, desta vez com auxílio das diagrfias nucleares. Feito isto, cada revestimento é perfurado no nível de fraturamento empregando-se canhões especiais.

Após cimentar os poços perfura-se os revestimentos no nível da fratura e instala-se as válvulas de controle e começa-se a operação de fraturamento, injetando salmoura no poço mais fundo, chamado poço de extração. Pressões suficientemente elevadas são usadas para forçar a penetração do líquido do horizonte escolhido (xisto, argila-sal ou outra qualquer estrutura que apresente xistosidade ou ponto de fraqueza), de modo a formar como que um disco de solução em torno do poço. A válvula é em seguida

fechada, para manter a pressão da salmoura injetada. Com esta operação, a salmoura de fraturamento que virá do poço de injeção, que está em nível mais alto, terá como alvo, não um tubo de diâmetro de menos de 30 cm, mas um disco de 20 ou 30 m de diâmetro. Isto é o fraturamento hidráulico.

Cuidados a serem tomados:

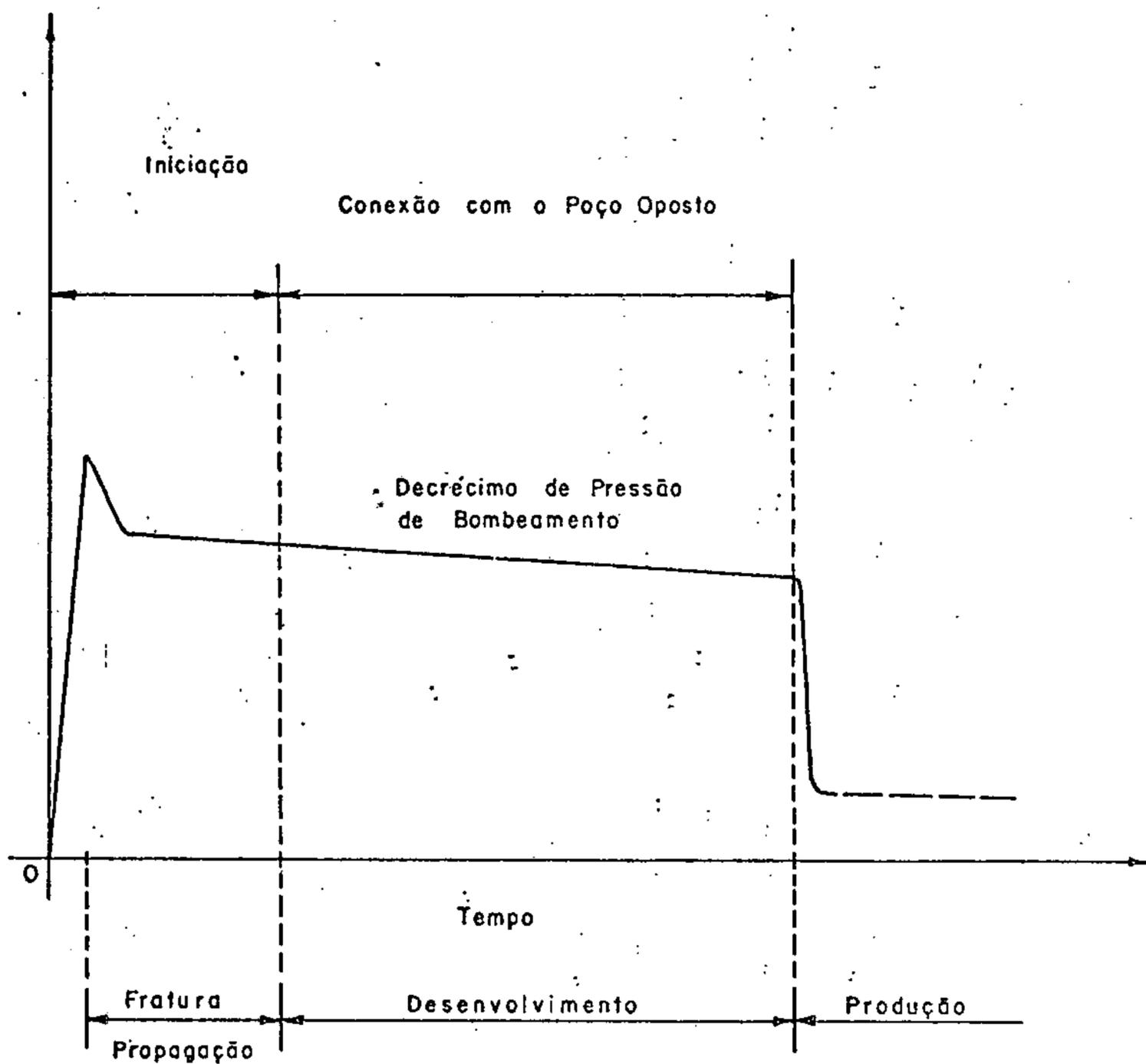
Na extração de salmoura por galeria, sempre a água entra pelo poço de nível mais alto, por que a medida que a solução vai se tornando mais concentrada ela também vai ficando mais densa, tendendo a vir para o fundo, de modo que, na galeria de intercomunicação, ela se desloca no sentido do poço mais profundo, que é o de extração.

Após feito o fraturamento, começa-se a bombear a salmoura pelo poço de injeção, em pressões que determinem sua penetração ao longo da xistosidade do horizonte selecionado, até chegar ao disco fraturado no poço de extração. A ligação dos poços é caracterizada por uma queda de pressão. Deve-se manter sob pressão a salmoura que enche a fratura, para que esta não se feche novamente, sendo todavia substituída por água doce no bombeamento para dissolver uma camada de interconexão. Somente após a abertura desta galeria e assegurada a ligação permanente dos dois poços, é que pode ser aliviada a pressão para de operação normal.

Na Fig. 7 é apresentado um gráfico de pressão de uma operação típica de fraturamento. São usadas bombas especiais para o fraturamento, cujas pressões variam de 2.000 a 4.000 psig, de acordo com a estrutura.

É muito importante que os poços sejam alinhados segundo a linha de mergulho para assegurar a simetria da cavidade com relação a este eixo, pois a água é alimentada pelo poço de in

Fig.7 - GRÁFICO DE PRESSÃO DE UMA OPERAÇÃO TÍPICA DE FRATURAMENTO HIDRÁULICO.



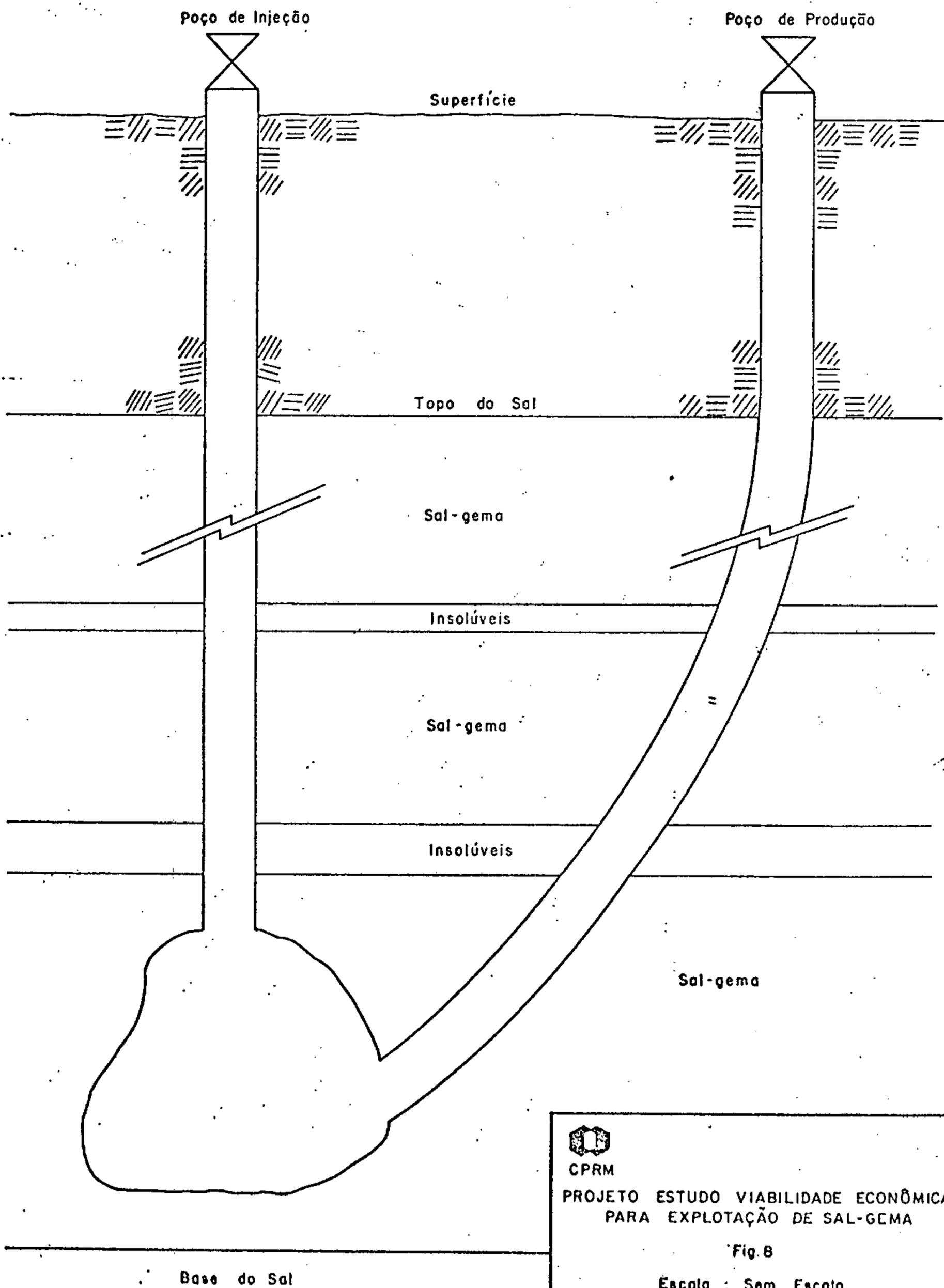
CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Fig.7

Escola : Sem Escala

Fig. 8 - PERFURAÇÃO DIRECIONAL



CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Fig. 8

Escala : Sem Escala

jeção e quase a totalidade da dissolução do sal se processa na área de influência deste poço. No poço de extração, a salmoura já chega praticamente saturada de modo que há pouca dissolução e a cavidade pouco se desenvolve nesta região.

Formato das Cavidades e Distância entre Poços

O formato da cavidade guarda grande relação com o mergulho das camadas. Com mergulho baixo a cavidade se assemelha a um elipsóide, com o eixo maior paralelo a ele, tanto mais alongado quanto maior o mergulho.

A distância entre os poços de um par varia de 100 até 250 metros. A literatura cita casos de arranjo triangular de poços, porém o binário, segundo o mergulho é, sem dúvida, o melhor sob o ponto de vista de estabilidade das cavidades.

3.3 - Perfuração Direcional

Em função do avanço tecnológico na perfuração de poços de petróleo vem aumentando o interesse de alguns industriais na utilização da perfuração direcional para ligações com poços para produção de salmoura. É um processo de tecnologia de alto custo que só deve ter sua utilização cogitada, na produção de salmoura, no caso em que qualquer um dos processos descritos anteriormente não se apresente eficaz na interligação de poços. Na Fig. 8 é apresentada uma esquematização da perfuração direcional.

Em todo e qualquer dos processos descritos acima deve-se usar a injeção, no poço, de um produto de densidade menor do que a salmoura e imiscível nela, para fazer com que a cavidade se propague lateralmente e evitar o desmoramento de blocos de tamanhos que possam danificar os encanamentos e mesmo proteger o to-

po do sal.

Também deve-se levar em consideração que nas formações, quase sempre, há intercalações de camadas insolúveis que possibilitam turbulências e mudanças de direção do fluxo, gerando grandes variações na forma da cavidade. Além disso, com a dissolução do sal, essas camadas tendem a desmoronar provocando entupimentos nas cavidades, empenos, prisões e ruturas do tubo central. E quando isto acontece, o poço tem de ser paralizado para substituição de tubulações e reparos, podendo mesmo chegar a perda total do poço, conforme a dimensão do desmoronamento.

A mineração por solução para produção de salmoura, mesmo vindo dos primórdios de 1882, somente bem mais recentemente vem se desenvolvendo largamente, face ao grande avanço nas técnicas empregadas para perfuração de poços de petróleo, com o desenvolvimento da perfuração rotativa, novas técnicas de cimentação e perfilagem de poços, novos tipos de revestimentos, perfuração direcional, fluídos especiais, fraturamento hidráulico, "Sonar Coli-per" para controle do formato das cavidades, etc.

Em função destas novas e sofisticadas tecnologias a lavra por dissolução subterrânea vem possibilitar jazidas de sal-gema a grandes profundidades, minimizando os custos de produção por tonelada de sal extraído. Comparativamente pode-se afirmar que tais custos são bastante inferiores aos que se obtém com os demais processos de extração, além de propiciar a obtenção de uma ampla quantidade de sal de alta pureza.

4. MECANISMO DA DISSOLUÇÃO DO SAL

A relação com que a água doce que é injetada numa cavidade afeta a sua forma e a relação com que o sal é removido. Isto pode ser atribuído ao perfil de salinidade existente e não diretamente à velocidade do fluxo dentro da cavidade. Se uma cavidade for enchida com água doce e a razão de injeção for muito pequena, a água não deve carrear o sal tão rapidamente quanto ele é dissolvido. A salinidade na cavidade deve começar a aumentar e então a razão em que o sal é dissolvido deve ir diminuindo até que algum equilíbrio seja estabelecido.

4.1 - Análise Matemática

Os efeitos de convecção são de importância capital na análise da dissolução controlada do sal. A água em contato com uma superfície de sal aumentará em densidade quando o sal for dissolvido e se moverá para baixo por convecção natural. A velocidade deste fluxo da camada limitante é uma função da diferença de densidade entre tal camada e o volume d'água, assim como das forças de tensão da viscosidade que tendem a retardar o fluxo.

Da analogia do problema de convecção do calor o perfil de concentração é admitido ser parabólico e o perfil de velocidade aproximadamente paralelo à camada de sal.

Os perfis de concentração e velocidade são determinados pelas equações seguintes:

$$C = C_s \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2$$

$$U = U_1 \frac{y}{\delta} \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2$$

Onde: C_B = é a diferença entre a concentração do sal na água em contato imediato com a superfície do sal e a concentração do volume d'água.

y = superfície do sal.

δ = a largura da camada limitante.

U_1 = é uma constante desconhecida a ser determinada.

A seguir enumeramos vários fatores que influenciam a mineração por dissolução, sem contudo descrevê-los e quantificá-los:

1) - Equação de Momento

As forças atuantes nas camadas limitantes são equacionadas para obter uma equação de momento.

2) - Transferência de Sal

A razão de transferência do sal por dissolução n'água é determinada pelo gradiente de concentração e a constante de fusibilidade.

3) - Convecção Natural.

4) - Influência das Feições da Superfície.

5) - Efeito do Ângulo de Inclinação.

6) - Efeitos de Superfície.

7) - Inclusões Insolúveis.

8) - Turbulência da Camada Limitante.

9) - Efeito da Camada Limitante na Convecção Livre do Sal.

10) - Efeito do Perfil de Velocidade.

11) - Efeito do Mecanismo do Fluxo no Fluido Global.

5. SELEÇÃO DO MÉTODO DE LAVRA

A lavra por solução de minerais evaporíticos é hoje um processo difundido e usado na produção de salmoura de sal-gema. Entretanto, não se conhece até hoje qualquer lavra para sal-gema em domos salinos na plataforma continental, talvez, por causa da grande complexidade e custos elevados que adviriam da aplicação de quaisquer dos sistemas e métodos de extração, como de finidos no parágrafo anterior, para produzir salmoura de sal-gema que, apesar de muito útil à humanidade, é um produto relativamente barato em comparação a outros bens minerais.

A semelhança dos procedimentos que se aplicam a localização e construção de um campo de salmoura em terra, alinharemos a seguir a sequência dos conhecimentos que se fazem necessários à preparação de um projeto de aproveitamento industrial das salmouras de sal-gema:

I - Considerações Preliminares:

A - Requisitos da Planta:

1. Quantidade de salmoura
2. Qualidade da salmoura
3. Grau de saturação requerido

B - Fatores de Subsuperfície

1. Geologia
2. Mecânica das Rochas
3. Hidrologia
4. Operações extrativas anteriores e ambiente

C - Fatores de Superfície

1. Ambiente

2. Topografia
3. Limites de Propriedades
4. Relação Campo de Salmoura-Planta

D - Estudo de Pré-Viabilidade

1. Traçado preliminar do campo de salmoura
2. Investimento de capital
3. Custo de capital
4. Custos de operação
5. Custos do tratamento da salmoura
6. Impostos e incentivos
7. Retorno sobre o investimento

II - Engenharia Preliminar

A - Propriedade

1. Aquisição

- a) - Opção dos direitos da superfície e do mineral
- b) - Direitos do local do poço
- c) - Direitos de entrada e saída
- d) - Direitos do caminho para estradas, tubulações e linha de força

B - Suprimento d'água

1. Considerações Ambientais

- a) - Nível de água no solo
- b) - Transgressão água-sal
- c) - Efeito sobre a agricultura local, indústria e uso doméstico

2. Características de Suprimento

- a) - Volume (continuidade e variações cíclicas)
- b) - Qualidade

C - Suprimento de Sal

1. Exploração

a) - Levantamentos geofísicos

1. Sísmica
2. Gravidade

b) - Poços Perfurados

1. Testemunhos
2. Perfis geofísicos
3. Testes hidrológicos

III - Projeto e Análise de Custo

A - Traçado e Custo de Campo de Salmoura

1. Projeto e custo dos poços de salmoura
2. Esquema do sistema subsidência
3. Estrada e locais dos poços
4. Tubulações e linhas de força
5. Proteção catódica
6. Bomba e facilidade de bomba
7. Planta de tratamento d'água de alimentação
8. Reservatórios e aeração
9. Segurança
10. Programa de execução

IV - Construção

A - Planos e Especificações para Licitação

1. Estradas de acesso, locais de perfuração e tanques de salmoura
2. Tubulações, bombas e estação de bomba
3. Perfuração
4. Tubos e suprimentos
5. Proteção catódica

6. Tratamento e aeração d'água de alimentação

7. Segurança

B - Pagamento das Licitações

C - Supervisão geológica e de engenharia

D - Colocação em marcha

V - Operações

A - Controle de quantidade

B - Controle de qualidade

C - Controle ambiental

1. Subsidência

2. Reciclagem das soluções não saturadas

3. Amostragem da água do solo

D - Observação do crescimento da cavidade

E - Programa de manutenção preventiva

F - Manutenção

1. Poços

2. Tubulações e bombas

3. Medições

4. Estradas ou vias de transporte

5. Proteção catódica

6. Segurança

5.1 - Características dos Domos Salinos da Plataforma Continental do Espírito Santo

Segundo estudos sísmicos e outros realizados pela PETROBRÁS, foram detectados na Plataforma Continental do Espírito Santo 21 domos salinos, distribuídos por áreas, e alguns chegando mesmo a ter nomenclaturas especiais, conforme mapa Fig. - Posicionamento de Domos de Sal, e sumariamente descritos a seguir:

5.1.1 - Área de Abrolhos do Norte

Esta área apresenta 3 domos, com as seguintes características:

- Distância da costa: 60 a 70 km
- Topo do sal: aproximadamente 300m nos três domos
- Lâminas d'água: entre 20 e 35 m
- Litologia: predominância calcário

5.1.2 - Área de Mucuri

Apresenta 4 domos, com as seguintes características:

- Distância da costa: 25 a 40 km
- Topo do sal: variando de quase aflorante a 800 m de profundidade
- Lâmina d'água: entre 20 a 25 m
- Litologia predominante: calcário e areia

5.1.3 - Área de Farra Nova

Com 7 domos, com as características seguintes:

- Distância da costa: 25 a 50 km
- Topo do sal: variando de aparentemente aflorante a 900 m de profundidade
- Lâmina d'água: de 32 a 57 m
- Litologia: predominância de areia

5.2 - Reservas

As reservas são incomensuráveis, sabe-se que em al

guns poços a profundidade do domo salino vai a mais de 4.000 m com seções transversais variando de 3 km a mais de 5 km. (Ver quadro de Reserva).

5.3 - Teor

Há vários poços perfurados nas áreas salíferas, feitos pela PETROBRÁS, mas somente o 9-CPRM-1-ESS foi perfurado com a finalidade de detectar enxôfre e sal-gema, executado pela CPRM.

Este poço está nas coordenadas: latitude $19^{\circ}00'59''$ e longitude $39^{\circ}11'33''$, foi perfurado pela Sonda Vinegarroon e operado pela Zapata de 27/03 a 05/04/71. Este furo apresentou uma lâmina d'água de 39m e mais 67,5m de rochas clásticas, com o topo do sal a 123,5m, sendo perfurado até esta profundidade com diâmetro 30" onde recebeu tubo condutor, depois foi perfurado até 1.016 m de profundidade com 12 1/4". Foi testemunhado em 4 intervalos e, após terminada perfuração, foram ocorridos os seguintes perfis: LL, BSL (integrado), FDC, RG, SNP.

Dos testemunhos deste furo foram preparadas 10 amostras para diversos tipos de estudo, entre eles análises químicas que apresentaram os teores conforme quadro abaixo:

TEORES MÉDIOS EM PERCENTAGENS DE SAIS, DOS INTERVALOS TESTEMUNHADOS, NO POÇO 9-CPRM-1-ESS

TESTE MUNHO	INTERVALO (m)	ESPES- SURA (m)	ANÁLISE QUÍMICA (%)				TOTAL
			H ₂ O	RI	CaSO ₄	NaCl	
1 - 2	326/344,54	18,54	0,33	5,68	3,70	89,70	99,41
3	630/639	9,00	0,06	1,31	1,56	96,52	94,45
4	1.000/1.016	16,00	0,61	3,86	2,32	92,91	99,70

A halita estudada neste poço apresenta-se, de modo geral, com cor cinza médio a escuro, com cristais grossos a muito grossos, com material argoso preto intersticial, também com inclusões, com pedaços argilosos de folhelho preto, laminado, localmente calcífero, muito localmente gradando para siltito de cor acastanhado, argoso. As amostras se apresentaram alongadas segundo o eixo do testemunho. Salienta-se que em intervalos, relativamente grandes, a halita se apresenta quase pura, sem qualquer intercalações ou intrusões de impurezas.

5.4 - O Método de Lavra

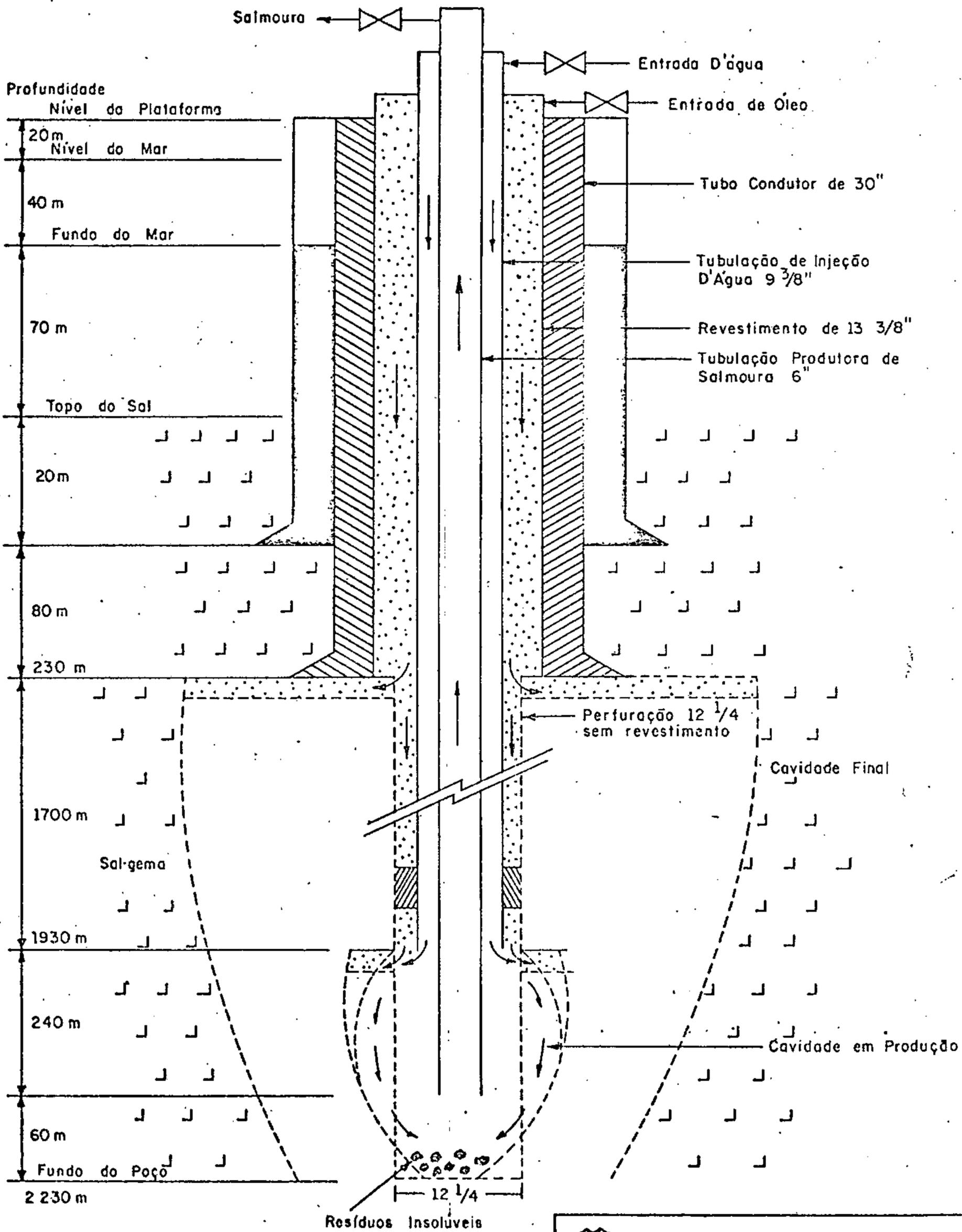
Em função das características estruturais e estratigráficas dos domos salinos da costa do Espírito Santo e levando-se em consideração as grandes espessuras daqueles domos salinos (mais de 4.000 metros) e não intercalações de materiais insolúveis (folhelhos, argilas e outros) e ainda devido à busca de maiores fluxos de salmoura próximo da saturação, optamos pelos sistemas de injeção de água pelo topo. A sua simplicidade e maior produção de salmoura saturada ditam a sua escolha. Além disso, aquelas desvantagens apresentadas na descrição do sistema, acreditamos não existirem na operação daqueles domos salinos, ou pelo menos, se existirem, serão bem minimizadas.

Salientamos que a nossa escolha está fundamentada em dados ainda bastante preliminares.

5.4.1 - Descrição de um Programa de Perfuração

O programa de perfuração, sugerido em caráter preliminar, é o seguinte, supondo as condições do poço 9-CPM-1-ESS, conforme indicado na Fig. 9:

Fig.9 SUGESTÃO DE PROGRAMA DE PERFURAÇÃO



CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Extração de Salmoura por Cavidade

Fig. 9

Escala : Sem Escala

- a) - Preparar a locação para uma plataforma submarina, ou mesmo aproveitar a locação do furo acima, aproveitando os 1.016 m, perfurados em diâmetro de 12 1/4", com tubo condutor de 30" já assentado, caso contrário fazer um novo furo conforme especificações abaixo:
- b) - Instalar equipamento de sondagem capaz de perfurar até 2.230m, ou melhor, de manusear 1.930 m de revestimentos de 9 5/8";
- c) - Assentar tubo condutor de 30";
- d) - Perfurar até 230 m de profundidade com broca de 17 1/2", descer revestimento de 13 3/8", circular e condicionar lama, mudando a base da lama próximo do topo do sal, para permitir a juntada de 350 kg de sal por metro cúbico ou mesmo usar lama a base de óleo para evitar a dissolução do sal do domo, antes do assentamento de toda a tubulação;
- e) - Descer broca de 12 1/4" e perfurar até 2.130 m;
- f) - Circular e perfilar (indução, gama e sônico) em intervalos de 150 m até o fundo do poço. Procurar manter o poço o mais verticalmente possível;
- g) - O poço estará pronto para receber as tubulações de desenvolvimento e de produção, constantes de um tubo de 9 5/8" descido até 1.930 m, abaixo do nível do mar e outro concêntrico de 6" até 2.170 m de profundidade do nível do mar.

Para completar o poço é necessário instalar sua cabeça, que consta dos seguintes equipamentos:

- a) - Válvulas de 6" nos tubos de 6" e 9 5/8";
- b) - Válvulas de 6" para reversão do fluxo do poço;
- c) - Válvulas de segurança na tubulação de injeção d'água;
- d) - Instrumentação com registro gráfico contínuo de vazão, tempo

ratura, pressão e densidade;

- e) - Caso haja necessidade ou mesmo que se queira fazer que a cavidade se prolongue mais na horizontal, poder-se-á colocar uma válvula de 2" para injeção de óleo entre o revestimento de 13 3/8" e a tubulação de 9 5/8". A altura do lençol pode ser controlada revertendo o fluxo de salmoura, ou seja, bombeando água pelo tubo de 6" e extraindo salmoura pelo anular entre este e o de 9 5/8". Começa-se então a injetar óleo pelo anel externo até que sua presença seja denotada na descarga de salmoura.

As tubulações de 6" e 9 5/8" serão arquitetadas de maneira que possam ser suspensas, conforme o avanço da dissolução do sal. A de 6" será suspensa quando o acúmulo de resíduos começa a impedir a circulação plena de salmoura saturada, e a outra quando a dimensão da cavidade seja tal que indique a sua suspensão, para que água de dissolução vá abrindo a cavidade vertical até o nível desejado para produção de salmoura.

5.4.2 - Produção

A produção de um poço por mineração por dissolução dependerá, além de seu diâmetro, de muitos outros fatores, como aqueles citados no item 4.1. Estes fatores são difíceis de calcular matematicamente, pois as variáveis que influenciam os seus cálculos são dependentes e sofrem variações de poço para poço..

Assim sendo, avaliar exatamente a produção de um determinado poço é tarefa para ser executada experimentalmente.

Ao colocar um poço em operação faz-se a instalação de instrumentações adequadas para fazer as medições de vazão, temperatura e percentagem de cloreto de sódio na entrada e saída de

cada poço de extração de salmoura, assim como de pressões ao longo dos circuitos de circulação, o que permite, a cada instante, fazer o balanço da dissolução e conhecer o volume de sal em dissolução. Esta instrumentação permite também prever e detectar eventuais acidentes e providenciar as medidas corretivas necessárias.

O desenvolvimento da cavidade no poço de dissolução é acompanhado pela deterioração progressiva, ao longo do tempo, do revestimento. No interior da caverna, com a subida progressiva do tubo, os tubos ficam suspensos livremente e podem se quebrar. Para evitar uma rutura precoce dos tubos, é necessário controlar a velocidade de dissolução do teto, as custas do alargamento da cavidade, tendo sempre como referência os orifícios abertos no revestimento por canhoneio, o que se consegue por conveniente escolha do regime de vazão.

O desenvolvimento das cavidades é acompanhado por ecologs realizados com um aparelho de sonar que, além de dar os elementos necessários para o levantamento topográfico da cavidade, permite acompanhar a evolução dos seguintes parâmetros:

- a subida do teto;
- o desenvolvimento em todas as direções;
- as dimensões das cavidades; e
- a acumulação de desmoramento do teto e de insolúveis derivados da dissolução do sal.

Sabe-se, por literatura, que já foram obtidas cavidades de mais de 100 m de diâmetro na horizontal e até 700 m na vertical, com um formato elipsoidal, com boa garantia de estabilidade.

5.4.2.1 - Dimensão da Cavidade Final

Para efeito de cálculo e com base nos dados geológicos dos domos salinos da Plataforma Continental do Espírito Santo, vamos estimar, conservadoramente, um diâmetro horizontal de caverna por poço de 100 m, minerando uma altura de 2.000 m, deixando 100 m de sal no topo do domo.

5.4.2.2 - Densidade do Sal e da Salmoura-Grau de Solubilidade

Vamos considerar a densidade do sal como sendo 2,16 e da salmoura como 1,20.

O grau de solubilidade de um sal em água varia com a temperatura. Teoricamente, a 0°C a água terá saturação máxima de 35,7% de NaCl e a 100°C 39,8%. Vê-se que a variação do grau de solubilidade máximo do sal em água é relativamente pequena. Na temperatura de 50°C este grau de saturação máximo chega a 37,0%, mas na prática de mineração por dissolução a salmoura que se obtém está em torno de 25%, que é o dado que tomaremos para efeito de cálculo (Salgema S.A. - 24,81%).

5.4.2.3 - Produção por Poço

Um poço com as dimensões do que foi exposto no item 5.4.1, com a profundidade final alcançando 2.230 m no sal, deverá produzir, conservadoramente, 350 t/dia de sal-gema. Este será o número para as bases de cálculo do custo de produção.

Para se produzir 350 t de sal-gema por dia, necessita-se produzir cerca de 50 m³/hora de salmoura com 25% de sal-gema, com densidade de 1,20 (por cálculo 48,6 m³/hora de salmoura).

Produção Anual: 114.750 t de cloreto de sódio quase puro (ano de 365 dias).

Produção Anual: 438.000 m³ de salmoura com 25% de sal-gema contidos. Estima-se, no caso dos domos salinos, que esta concentração chegue a mais de 30 por cento.

5.4.2.4 - Vida Útil de Cada Poço. Coeficiente de Recuperação

Cada poço terá como reserva "in situ", se tomarmos uma área de influência com 100 m de raio, o seguinte valor:

$$\pi R^2 \times h \times d = \pi \times 100^2 \times 2000 \times 2.16 = 67.824.000 \text{ t de sal}$$

Esta é a reserva do poço e não a reserva do sal "in situ", pois estamos desprezando 100 m de sal no topo do domo, para segurança de subsidência e desmoramento do teto, assim também como todo o sal que está abaixo dos 2.100 m de sal.

Levamos em consideração que cada poço abrirá uma cavidade de 50 m de raio na horizontal e 200 m na extensão vertical, e que poderá produzir cerca de 33.912.000 t de salgema. Ainda, considerando uma produção anual de 114.750 t de cloreto de sódio, a vida útil de cada poço seria de 296 anos, com um coeficiente de recuperação de 50%.

Para efeito de cálculo de pré-viabilidade tomaremos a vida útil de cada poço como sendo 20 anos.

A viabilidade do processo sugerido neste estudo se assegura pela alta produtividade e baixo custo operacional, além de se obter uma salmoura de extrema pureza e elevada concentração, requisitos principais para o emprego na indústria química.

A baixa recuperação (em relação a reserva total) em

jazidas dispostas em camadas horizontais, onde se emprega dissolução subterrânea através de poços isolados é quase sempre inferior a 30%, mas as condições excepcionais dos domos salinos em estudo pode levar esta recuperação a mais de 50%.

Ainda, como cada domo apresenta uma superfície aplainada no topo, com cerca de 5 km de diâmetro, pode-se prever a abertura de vários poços que, quando em plena produção e espaçamento adequado, poderão ser interligados, formando uma coalescência de poços, o que aumentará o coeficiente de recuperação e a produção, assim também como a produtividade.

5.4.2.5 - Água e Energia

São dois insumos de grande importância na produção de salmoura.

As necessidades d'água são de, aproximadamente, 50 m³/hora, quando o poço estiver operando em capacidade de pleno funcionamento, ou seja 1.200 m³ por dia, 36.000 m³ por mês ou cerca de 400.000 m³ por ano.

A água ideal para produção de salmoura é uma água pura, com pH próximo do neutro.

Mas para obtenção de uma tal água estudos teriam que ser feitos em terra e rios, com abertura de poços, e esta água teria de ser transportada para o local do poço por aquaduto de 70 a 100 km de extensão ou por navios tanques, o que, em princípio, inviabilizaria o processo.

Sabendo-se que, em mineração por solução, a maioria dos insólúveis e outras impurezas contidas na estrutura do sal quando em dissolução se precipita, ficando no fundo do poço, extraindo-se uma salmoura quase pura em cloreto de sódio e sabendo-

se também que a água do mar, em condições normais, apresenta uma salinidade em torno de 33.000 p.p.m., referidos a um perfil percentual, segundo Brochert, que são os seguintes:

MgCl ₂	-	9,4
KCl	-	2,6
MgS ₄	-	5,7
NaCl	-	78,0
CaSO ₄	-	3,6
CaCO ₃ + CaMg (CO ₃) ²	-	0,4

Sugerimos a aplicação da água do mar para dissolução do sal dos domos salinos, afirmando que tal solução abaixará drasticamente os custos de utilização deste insumo, sem acarretar problemas à pureza do sal. Entretanto, salientamos que a aplicação desta solução necessitará de um estudo laboratorial e experimental futuro.

Estima-se que a pressão da água injetada no poço, estará na ordem de 800 a 1000 psi.

O consumo de energia num sistema de produção de salmoura na escala aqui proposta é estimado em 20 kwh, ou 0,687 kwh/t de salgema.

5.4.2.6 - Transporte de Salmoura e Água

Caso seja necessário utilizar água doce é preciso definir de onde ela vai ser extraída, como vai ser transportada até o poço, por navio tanque, por aquaduto? E quaisquer destas soluções vão necessitar de infra-estrutura de superfície, como local de reservatório, utilização de porto, estação de tratamento, estação de bombeamento, etc.

No caso do transporte da salmoura é preciso definir para onde vai a salmoura? Qual será sua utilização? Ela será transportada e utilizada na forma de salmoura ou de sal-gema cristalizado? Será transportada por "salmouroduto" ou por navio tanque?

O item transporte é de suma importância num estudo de viabilidade. É um dos itens mais onerosos na composição do custo de qualquer produto que se utilize de sal produzido de domos salinos a cerca de 60 km da costa terrestre.

5.4.2.7 - Tratamento da Salmoura

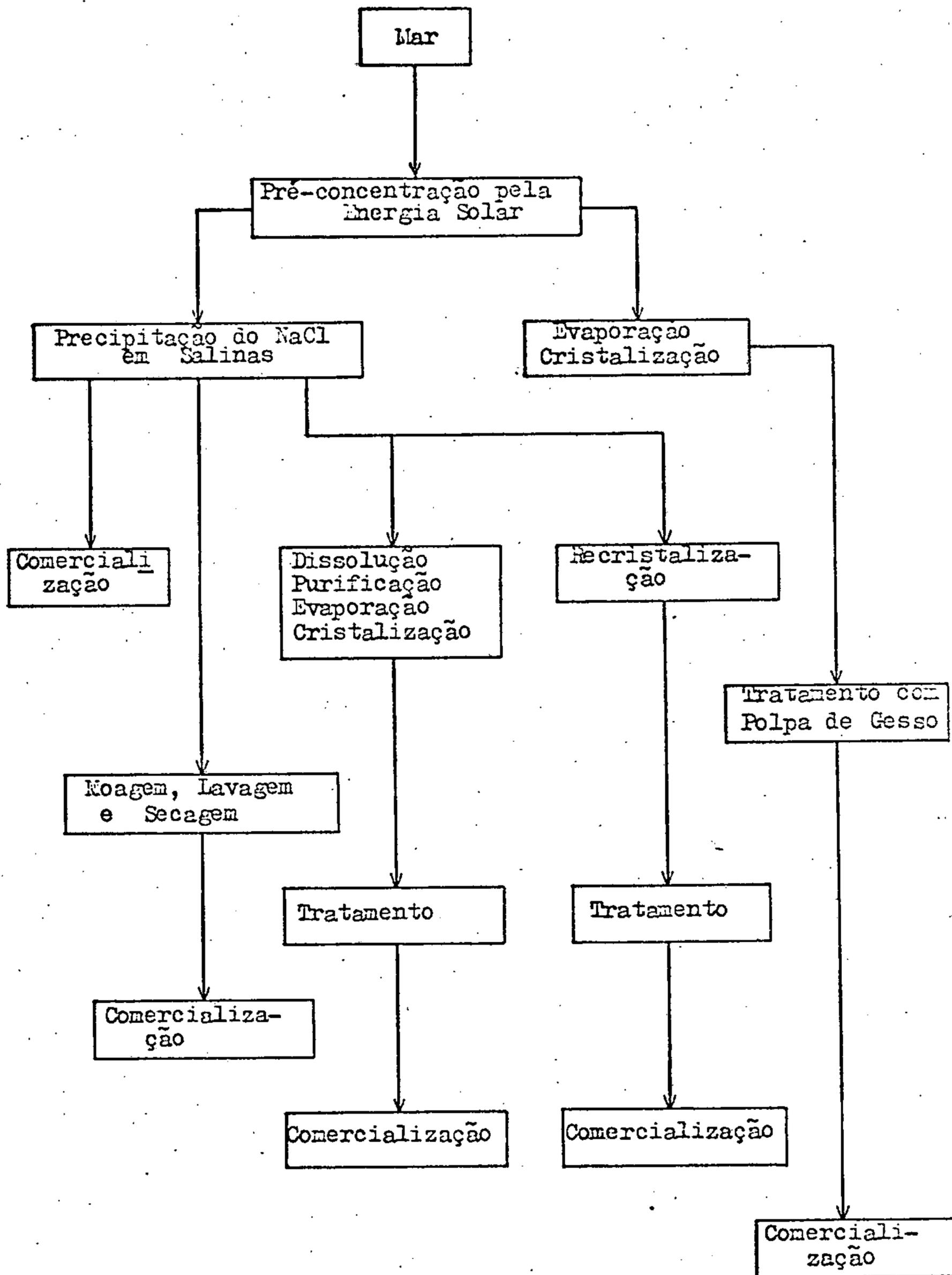
Qualquer que seja a aplicação da salmoura ela necessitará de purificação e evaporação.

5.5 - Processo de Recuperação e Refino da Salmoura

A produção de cloreto de sódio vem de duas fontes: do mar e dos depósitos geológicos.

5.5.1 - Do Mar

Sendo a água do mar a matéria prima para produção de cloreto de sódio, vários processos de recuperação e refino são apresentados conforme esquematização a seguir:



A recuperação pelas rotas acima está confinada, principalmente, a certas zonas climáticas.. Na maioria dos casos surgem em regiões tecnicamente menos avançadas. As capacidades unitárias variam, como uma regra, entre 30 a 200 t de sal diariamente, equivalentes a plantas de porte pequeno a médio.

5.5.2 - Dos Depósitos Geológicos

Para a recuperação do Cloreto de Sódio dos depósitos geológicos há a escolha de um dos dois processos essencialmente: mineração convencional e extração de salmoura.

Com a mineração convencional são aplicados os tratamentos mecânicos clássicos, podendo os constituintes finos e de qualidade pobre serem submetidos a posterior processamento termal nas plantas de recristalização.

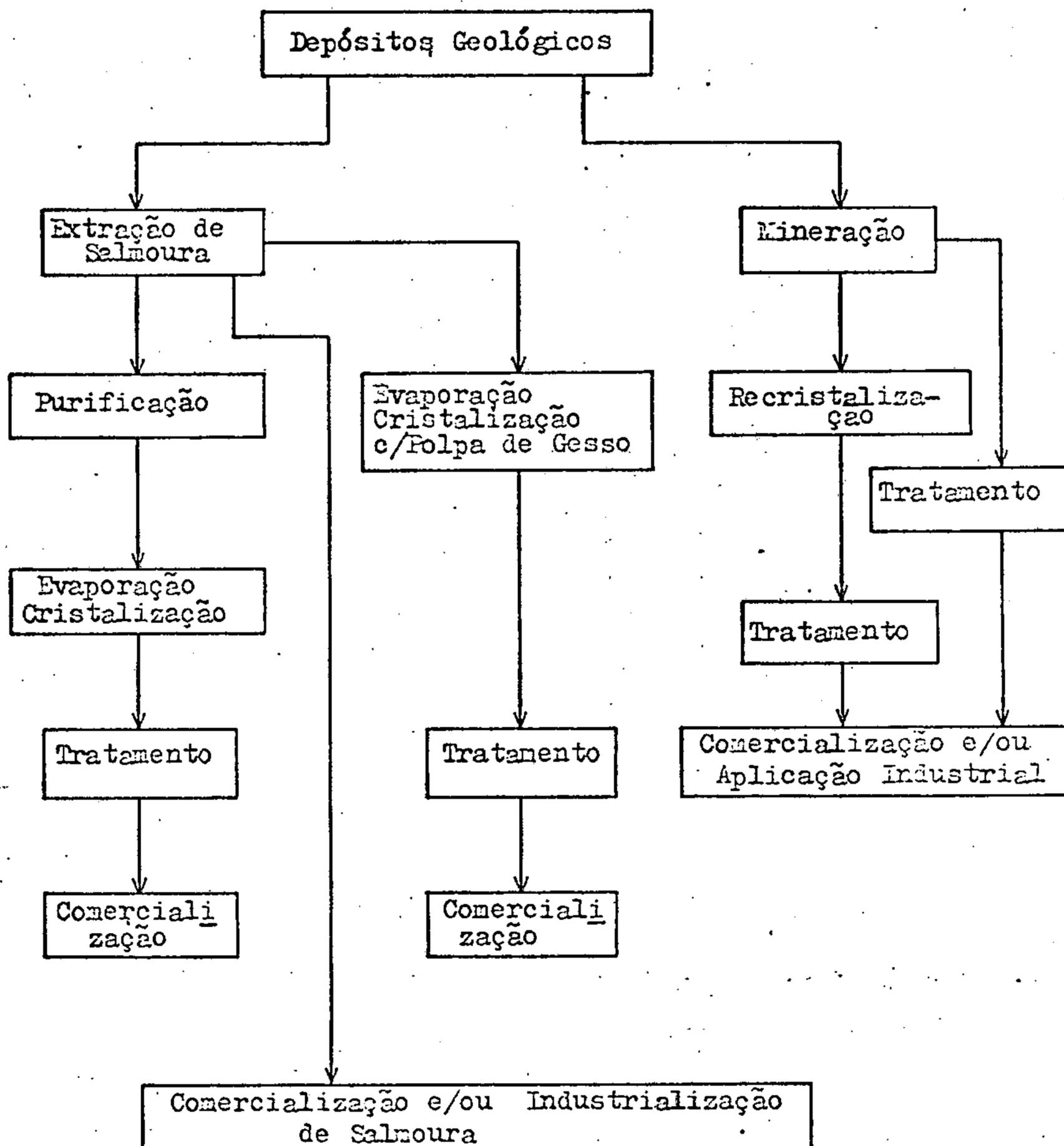
Onde os depósitos são trabalhados para extração de salmoura, um processo termal de recuperação é indispensável. No decorrer dos anos, dois processos termais têm-se imposto:

1. Purificação da salmoura primária, seguida por evaporação e cristalização do NaCl;
2. Evaporação direta da salmoura usando o processo de polpa de gesso para evitar incrustação nas câmaras de aquecimento, associada com a cristalização de NaCl.

A escolha do processo a ser adotado vai depender do uso pretendido para o produto e a pureza demandada pelo usuário principal.

Em geral, as plantas de evaporação realmente grandes, de hoje, cobrem uma ordem de produção de 1.000 a 4.000 t diariamente.

Para melhor visualização dos vários processos utilizados na recuperação do NaCl dos depósitos geológicos, apresenta-se a seguir sua esquematização:



6. OBTENÇÃO DE SAL POR EVAPORAÇÃO DA SALMOURA

Qualquer que seja a utilização da salmoura haverá necessidade de purificá-la antes de sua evaporação, com a finalidade de remover os sulfatos e compostos de cálcio e magnésio.

6.1 - Purificação de Salmoura

Na purificação, precipita-se o sulfato contido na salmoura com carbonato de bário, o cálcio com carbonato de sódio e o magnésio com hidróxido de sódio.

As quantidades de reagentes são variáveis de acordo com a quantidade daquelas impurezas contidas na salmoura. Segundo informação verbal de técnicos da Salgema Mineração Ltda a salmoura requer quantidades ínfimas de reagentes purificadores, pois a salmoura produzida lá tem um elevado grau de pureza, o que sem dúvida ocorrerá com a salgema dos domos salinos do Espírito Santo, pois o grau de pureza do sal-gema dos domos é muito mais elevado do que aquele do sal-gema de Alagoas.

Partindo de um sal definido como Tipo II pela Comissão Executiva do Sal, o tratamento da salmoura consome as quantidades de reagentes seguintes:

Sal Tipo II (Conteúdo)		Reagentes	kg/t - sal-gema
Ca	- 0,140%	BaCO ₃	8,62
Mg	- 0,080%	NaCO ₃	3,71
SO ₄	- 0,420%	NaOH	10,70
		HCl	8,00

As quantidades de soda e de ácido clorídrico incluem as necessidades para o controle do pH para precipitação e para neutralização da salmoura.

Esta purificação, normalmente, é realizada em tanques decantadores.

6.2 - Evaporação

Em virtude dos custos crescentes dos combustíveis, da disponibilidade de água de resfriamento e lavagem, das regulamentações governamentais para controle da poluição ambiental, os parâmetros decisivos para escolha do sistema a ser adotado nos complexos industriais da evaporação têm conotação diferente do que se fez no passado.

Hoje, na tecnologia de evaporação dois processos estão em evidência: a evaporação por múltiplo-efeito e a por termo-compressão. O processo de múltiplo-efeito é o mais difundido, talvez, pelo seu custo de investimento menor, mas nos dias atuais o de termo-compressão o vem substituindo por várias razões como exposto adiante, havendo casos de adaptações para combinações dos dois processos.

Além dos processos acima mencionados e suas combinações, há também fábricas que usam evaporação solar, evaporação de efeito simples, evaporação "flash" de múltiplo-efeito e outros processos especiais. Faremos a seguir uma sucinta descrição da evaporação solar, de múltiplo-efeito e termo-compressão.

6.2.1 - Evaporação Solar

É um método que se utiliza da evaporação solar e de

cantação ou precipitação dos sais solúveis. É um método que, quando passível de aplicação, torna-se o mais barato. Entretanto, para a sua utilização econômica é necessário levar em consideração que a região possua as seguintes características: estações seca e quente bem definidas, trechos planos em cotas convenientes, solo impermeável ou facilmente impermeabilizável, alto coeficiente de evaporação, precipitação pluvial restrita e limitada em determinadas épocas do ano, para que seja possível fazer a evaporação econômica sob o aspecto de economicidade. Em síntese, a evaporação é determinada por quatro parâmetros meteorológicos: ganho líquido de energia radiante, temperatura do ar, humidade e vento.

Acredita-se que estas características poderão existir n'algum lugar da costa do Espírito Santo, apenas carecendo de um estudo complementar e detalhado.

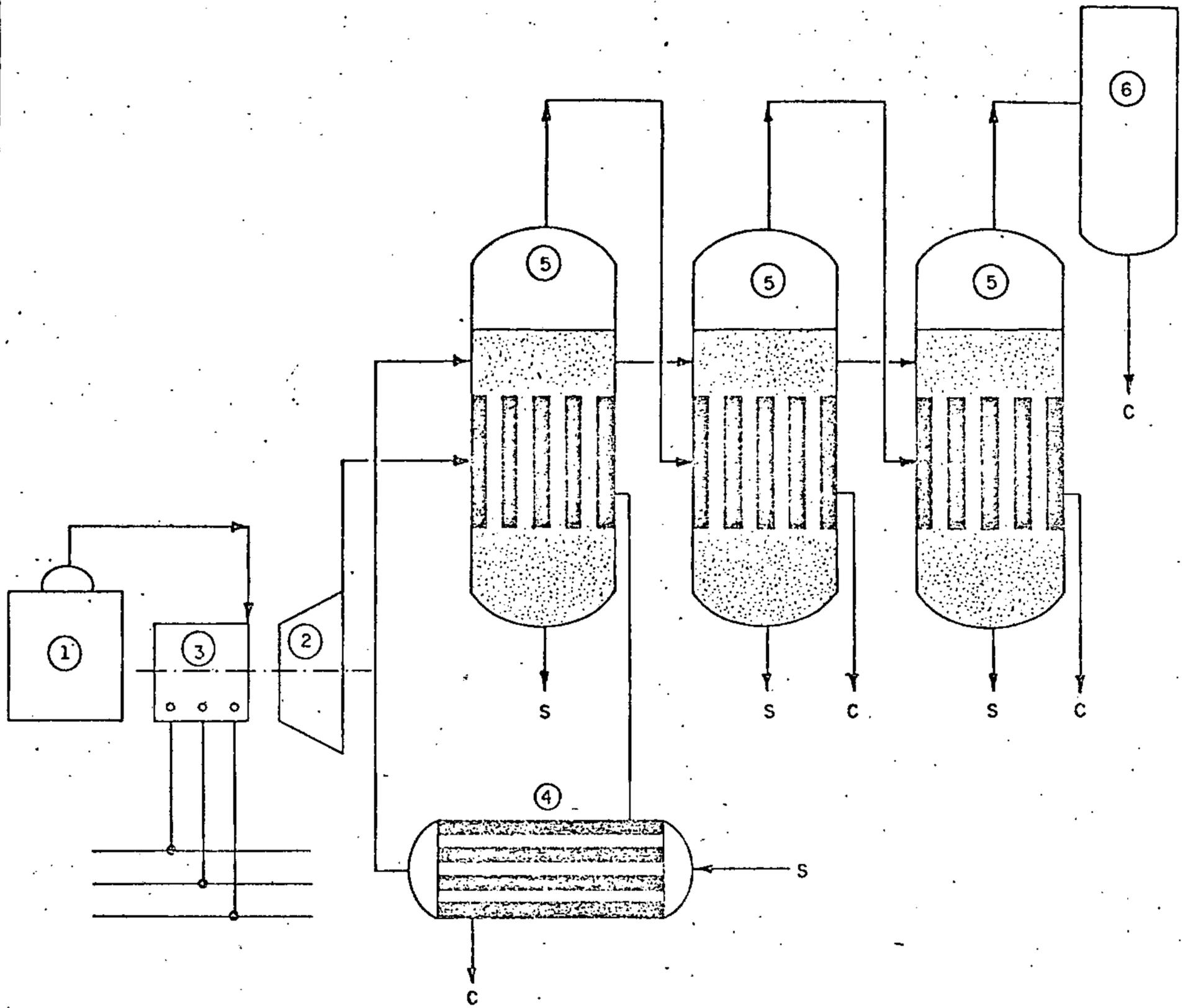
6.2.2 - Evaporação por Múltiplo-Efeito

O processo utiliza o vapor de alta pressão gerado por uma caldeira e passa por uma turbina, acoplado a um grupo gerador. O vapor de baixa pressão resultante é transferido para o trocador de calor do primeiro evaporador.

A salmoura, já purificada, passa pelo aquecedor e segue por bombeamento para o primeiro estágio, já em temperatura adequada à evaporação.

No primeiro evaporador há uma troca de calor entre o vapor de baixa pressão e a salmoura pré-aquecida. O vapor do gerador vai efetuar a troca de calor no estágio seguinte e assim sucessivamente até o último estágio. Neste se provoca um vácuo de aproximadamente $0,87 \text{ kg/cm}^2$, por meio de um ejetor a vapor, com a finalidade de fazer com que a ebulição ocorra a temperatura mais

Fig.10 EVAPORADOR DE MULTÍPLO EFEITO



S - Salmoura / Sal

C - Condensador

- ① Caldeira
- ② Turbina
- ③ Gerador
- ④ Pré-Aquecedor
- ⑤ Evaporizador
- ⑥ Condensador

Fonte : Escher Wyss



CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Fig.10

Escala : Sem Escala

baixa e de promover um melhor fluxo de vapor no sistema. (Ver Fig. 10).

Os coeficientes técnicos de consumo por tonelada de sal são:

- Vapor saturado a 3,5 bar - 900 kg
- Vapor saturado a 11 bar por ejetor - 25 kg
- Consumo de energia elétrica - 17 kWh
- Água para resfriamento - 20 m³

6.2.3 - Evaporação por Termo-Compressão

O evaporador com termo-compressor é composto, basicamente, dos seguintes equipamentos, conforme Fig. 11:

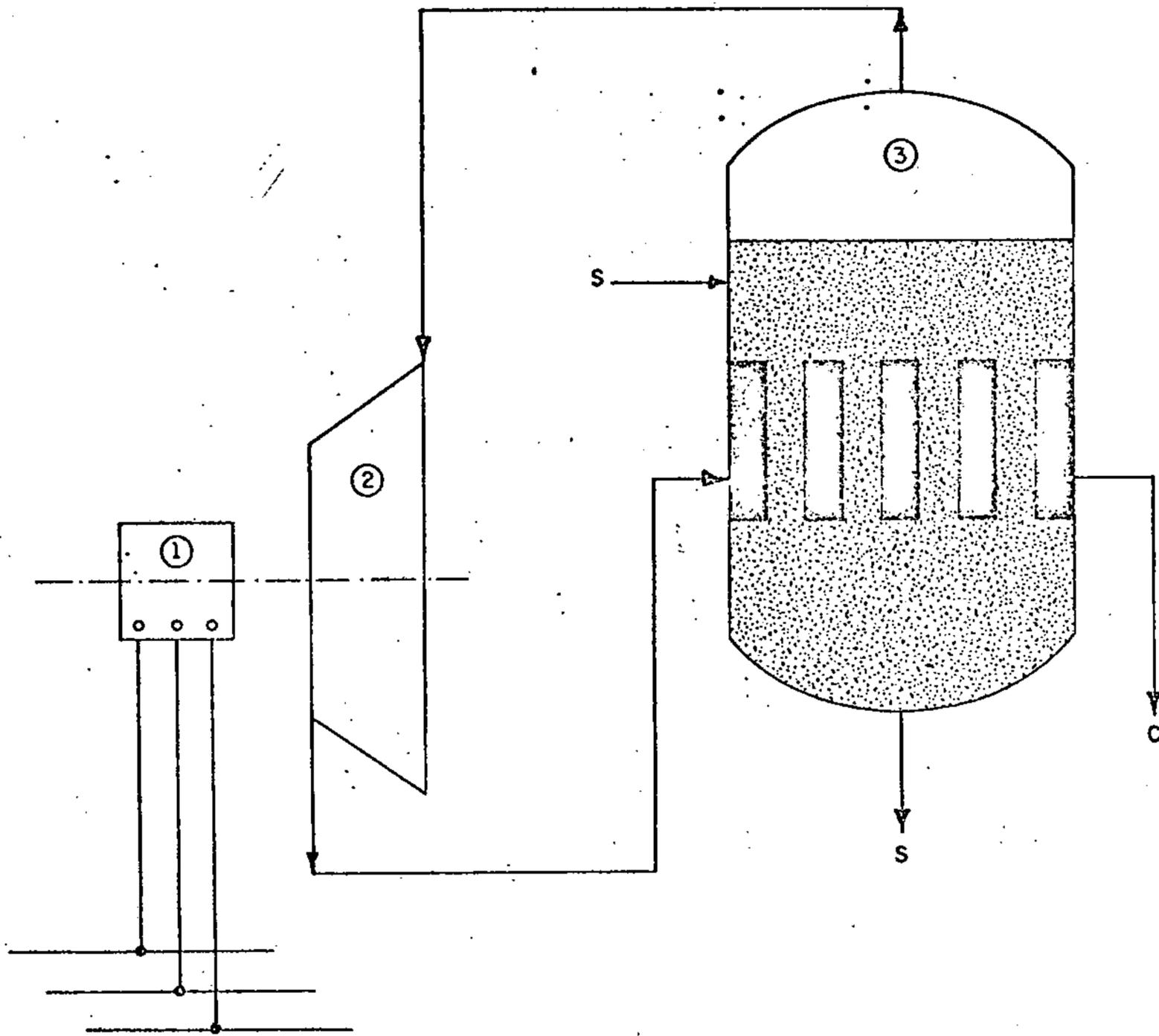
- Motor Elétrico
- Compressor
- Evaporador

O início do ciclo de operação é realizado por uma caldeira auxiliar, que fornece o vapor necessário e suficiente para se iniciar a troca de calor e conseqüentemente a evaporação da salmoura. Daí para diante corta-se o fornecimento do vapor da caldeira e entra em funcionamento o sistema de termo-compressão.

A taxa de compressão requerida é determinada pelos seguintes parâmetros:

- Queda de temperatura entre o vapor reaquecido e a salmoura a ser evaporada.
- Diferença entre o ponto de ebulição da salmoura e a temperatura de saturação do vapor gerado durante a troca de calor no evaporador.

Fig.11 - EVAPORADOR COM TERMO - COMPENSADOR



S- Salmoura / Sal

C- Condensador

① Motor Elétrico

② Compressor

③ Evaporador

Fonte : Escher Wyss



CPRM

PROJETO ESTUDO VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA EXPLOTAÇÃO DE SAL-GEMA

Fig. 11

Escala : Sem Escala

- Perdas de pressão no circuito de vapor.

Os coeficientes de consumo por tonelada de sal produzida são:

- consumo de energia elétrica, com máquinas radiais - 160 kwh
- consumo de energia elétrica, com máquinas axiais - 140 kwh
- consumo total de energia elétrica na planta - 185 kwh
- vapor a 3,5 bar - 0 a 40 kg
- água de resfriamento - 1 m³

Este processo apresenta a possibilidade de usar energia elétrica, não carece de instalações caras de caldeiras e manuseio de combustível e necessita de pouco volume de água de resfriamento.

Em alguns locais, já existem plantas que se utilizam dos dois processos combinados (múltiplo-efeito e termo-compressão), onde se realizam 30 a 40% da evaporação pelo sistema de termo-compressão e o restante pelo múltiplo efeito.

7. CUSTOS DE EXTRAÇÃO DO SAL-GEMA

O procedimento sequencial no escopo de uma análise de custo de um projeto do tipo que nos se apresenta é, normalmente, baseado nos balanços materiais e requerimentos utilitários em função da qualidade do minério em vários níveis de produção. Especifica-se os equipamentos e faz-se cotações de preço aos fornecedores dos mesmos. Todos os outros componentes de custos de capital são fixados sobre estimativas como percentagens equivalentes dos custos do equipamento, custos da planta física e direto. As despesas para "posto em marcha" são estimadas na base dos custos de produção prevista para cada caso e são adicionados aos custos fixos de capital para dar os custos totais do capital sobre os recursos financeiros do empreendimento, como se segue:

A. Mineração

1. Terra, arrendamento, compra, permissão: custos estimados.
2. Desenvolvimento de um poço para produção de salmoura; custos calculados na base do número de poços de salmoura requeridos inicialmente e o custo cotado da perfuração e completação de um poço.
3. Bombeamento: custos de bombeamento e facilidades de tubulação, calculados com base nas bombas requeridas para cada caso, dependendo da espessura da camada, teor do minério e razão de produção.
4. Total mina: soma dos itens 1, 2 e 3.

B. Refino (incluindo energia)

1. Custo do equipamento obtido das cotações (montado no local).
2. Tubulação em 20% do item 1.
3. Equipamento Elétrico: em 20% do item 1.
4. Instrumentação: em 6% do item 1.
5. Custo total do equipamento comprado no local: soma dos itens 1, 2, 3 e 4.
6. Preparação de local, fundações, edificações, isolamento e pintura: em 70% do item 5.
7. Custo físico da planta: soma dos itens 5 e 6.
8. Engenharia e construção: em 25% do item 7.
9. Custo direto da planta: soma dos itens 7 e 8.
10. Honorários da contratada e contingências: em 15% do item 9.
11. Total Refinaria: soma dos itens 9 e 10.

C. Despesas de Início de Operações, etc: estimadas com base nos custos de produção previstos

D. Custo Total de Capital: soma dos totais dos itens A, B e C

Os custos do produto também são calculados em função dos procedimentos de custo padrão, onde se estima a mão-de-obra e requisitos utilitários para cada caso, calculando os custos unitários para vários níveis de produção.

Os dados básicos e o procedimento para os cálculos são como se seguem:

Mineração

1. Mão-de-obra, a Cr\$ /hora

2. Supervisão, em 10% da mão-de-obra
3. Energia, no custo calculado para cada caso utilitário (Cr\$/kwh)
4. Água, em Cr\$/m³ ou Cr\$/1000 m³
5. Depreciação, em 10% do capital fixo por ano
6. Desenvolvimento do Poço de Salmoura, calculado com base no número de poços a serem desenvolvidos a cada ano e o preço por poço
7. Custos totais de mineração, soma dos itens 1, 2, 3, 4, 5 e 6

Refino (Evaporação e Purificação)

8. Mão-de-obra, em Cr\$/hora
9. Supervisão, em 10% da mão-de-obra
10. Manutenção, em 6% do custo de capital fixo por ano
11. Suprimento da planta, em 15% da manutenção
12. "Royalty", como uma percentagem do preço de venda
13. Energia, no custo calculado para cada caso utilitário (Cr\$/kwh)
14. Vapor, no custo calculado para cada caso utilitário
15. Custo direto de fabricação, soma dos itens 8 a 14
16. Folha de pagamento de "overhead", em 20% da mão-de-obra
17. "Overhead" da Planta, em 50% da mão-de-obra
18. Custo indireto de fabricação, soma dos itens 16 e 17
19. Depreciação, em 10% do custo do capital
20. Taxa de seguro e propriedade, em 1% do custo do capital
21. Custo Fixo de fabricação, soma dos itens 19 e 20

22. Custo de fabricação, soma dos itens 7, 15, 18 e 21
23. Despesas de Administração e Vendas, em 5% do item 22
24. Custo do produto, soma dos itens 22 e 23.

8. SODA CÁUSTICA E SUA OBTENÇÃO

Há vários processos de obtenção da soda cáustica, utilizando-se do sal extraído dos depósitos evaporíticos ou de sal da água do mar. Mas, em síntese, os processos consistem em decompor uma salmoura pela passagem de corrente elétrica, formando uma solução de soda cáustica, com liberação de hidrogênio no cátodo e cloro no ânodo como subprodutos.

Pode-se usar uma salmoura purificada ou dissolver o sal purificado em água, numa concentração adequada ao processo, neutralizando-a com ácido clorídrico, aquecendo-a e transferindo-a às células eletrolíticas.

Há vários tipos de células usadas para eletrólise do sal, mas as mais empregadas são: a de mercúrio e a de diafragma.

8.1 - Célula de Mercúrio

A célula de mercúrio é composta de dois compartimentos separados. Um compartimento constitui a célula propriamente dita, onde ocorre a eletrólise do cloreto de sódio com liberação do cloro no ânodo e de sódio metálico que é amalgamado pelo cátodo de mercúrio. O sódio amalgamado é então transferido para o outro compartimento, onde ocorre a sua decomposição pela ação da água, com formação de soda cáustica e liberação de hidrogênio. Este compartimento é normalmente acoplado a um sistema de refrigeração do hidrogênio, onde se realiza a condensação do mercúrio carregado pela corrente de hidrogênio, com consequente redução de seu teor no gás e recuperação do mercúrio.

A corrente elétrica flui através da salmoura e através da camada de mercúrio no mesmo sentido do escoamento da salmoura,

com os ânodos metálicos ou de grafite fixados próximos e paralelos à superfície do mercúrio. A eficiência de corrente é de aproximadamente 95% e a célula opera a uma temperatura entre 60 e 70°C.

A concentração da salmoura de alimentação é aproximadamente 26%, que é diminuída de uns 4% até a saída da célula. Acrescenta-se sal sólido para ressaturar a salmoura.

A descloração é obtida pela acidulação do ácido clorídrico num pH-3 e desgaseificação a vácuo ou por aeração. Os últimos traços de cloreto e cloro são eliminados pela adição de bisulfito de sódio. A salmoura é então neutralizada com soda cáustica, ressaturada em cloreto de sódio, purificada e reciclada.

A produção de soda cáustica pela célula de mercúrio é mais onerosa por causa do alto investimento inicial em mercúrio e pela alta voltagem requerida, mas fornece um produto de alto grau de pureza e alta concentração.

8.2 - Célula de Diafragma

A salmoura purificada (322 g/l a 65-75°C) flui pela célula pelo compartimento do ânodo, onde o cloro é liberado, passando em sequência pelo diafragma poroso para o compartimento do cátodo, onde se forma a soda cáustica, com liberação de hidrogênio.

A célula opera a 99,5°C, 30.000 A e diferença de potencial de 3,95 V entre os eletrodos, utilizando a energia mais eficientemente do que a célula de mercúrio (3,20 Mwh contra 3,75 Mwh) por tonelada de cloro. Em contrapartida a de mercúrio produz uma solução de maior concentração em soda cáustica.

A célula de diafragma consome menos energia, apresenta boa confiabilidade operacional e menor investimento, utiliza-se de construção simples e equipamento mais robusto, permite um arranjo compacto dos eletrodos podendo efetuar a eletrólise em temperaturas suficientemente elevadas, o que proporciona uma diminuição de custo pela diminuição da evaporação subsequente.

A solução que sai da célula contém 10-12% da soda cáustica e o excesso de sal não decomposto. A solução é evaporada até uma concentração de 50% em soda cáustica, havendo simultaneamente precipitação de cloreto de sódio, que tem sua concentração baixada para 1%. A polpa de sal é retirada continuamente, centrifugada e lavada. Este sal puro é utilizado na ressaturação da salmoura.

Mundialmente, o uso dos dois tipos de células é meio a meio, mas a célula de diafragma deverá avançar em relação a de mercúrio, em virtude do grande desenvolvimento que está surgindo na melhoria das características do diafragma e em virtude da poluição ambiental causada pelo uso do mercúrio.

Há, também células de membrana numa tecnologia nova mas já bem desenvolvida. O uso destas células implica na instalação da etapa de evaporação como nas outras células, mas os investimentos referentes a evaporação do NaOH serão reduzidas a aproximadamente à US\$ 1.100.000 contra US\$ 4.000.000 e baixa o consumo de vapor para 450 kg por tonelada de NaOH.

8.3 - Tratamento e Usos dos Produtos Obtidos na Eletrólise do Sal

Cloro

O tratamento visa à purificação e secagem do cloro gasoso. A purificação consiste na remoção de constituintes sólidos orgânicos e inorgânicos. A secagem é feita em colunas com bandejas.

O cloro purificado e seco pode ser comprimido e liquefeito, dependendo de sua utilização e comercialização.

Hidrogênio

O hidrogênio é lavado com água, seco e comprimido quando necessário. Quando obtido das células de mercúrio deve sofrer um tratamento de desmercurização.

O hidrogênio obtido é de alta pureza e pode ser empregado em processos de hidrogenação, podendo também ser usado como fonte geradora de calor para o processo.

Solução Cáustica

A solução obtida na célula de mercúrio é absolutamente limpa, mesmo assim é filtrada para eliminação dos traços de mercúrio em suspensão. Em seguida é evaporada até uma concentração de 50% ou 99%.

Já a solução obtida pela célula de diafragma é evaporada, comumente até uma concentração de 50% em soda cáustica, com cristalização simultânea do cloreto de sódio até uma concentração residual de mais ou menos 1%. A solução a 50% assim obtida é conhecida como licor cáustico "standard", e pode ser comercializado como tal, ou purificado e concentrado, ou ainda resfriado a 20°C e filtrado o sal cristalizado.

Características dos Produtos:

Produtos	Célula de Diafragma	Célula de Mercúrio
Hidrogênio	99,8 - 99,8% v/v	99,9% mínimo Hg: $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $10 \text{mg}/\text{m}^3$
Cloro	97,5% v/v mínimo $\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2$ 2,5% v/v	99,0% v/v mínimo CO_2 - 0,3 - 0,6% v/v H_2 - 0,1-0,2 v/v ar - 0,2% v/v
Soda Cáustica 50%	Na Cl - 1% w/w H_2O - 48,7% w/w $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaClO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NaCl - 30 ppm Na_2CO_3 - 200 ppm 0,3% w/w Fe - 2 ppm Hg - 0,1 - 0,3 mg/l

v/v = percentagem em volume

w/w = percentagem em peso

$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ = 1 micrograma por metro cúbico

$1 \text{mg}/\text{m}^3$ = 1 miligrama por metro cúbico

ppm = parte por milhão

Uma prática grandemente difundida é a combinação das células de mercúrio e diafragma. A célula de diafragma utiliza salmoura natural, já que é menos sensível a impurezas, e a célula de mercúrio processa salmoura feita com o sal cristalizado na evaporação da soda obtida na célula de diafragma, o que reduz o investimento e o custo de operação para tratamento do licor.

9. INVESTIMENTO E CUSTO DE PRODUÇÃO

9.1 - Investimento na Extração da Salmoura

Supondo-se uma unidade produtora independente de salmoura, suprimindo uma usina de produção de sal por evaporação, a partir de um único poço, pode-se considerar os seguintes investimentos, em US\$ americano de janeiro de 1984, para os parâmetros básicos:

Custo de um poço pronto para produção	US\$	2.330.000
Custo da Plataforma Fixa de Produção		3.100.000
Outros equipamentos (bombas, guindastes, etc.)		500.000
Capital de giro (10%)		593.000
Vida média do poço		20 anos
Produção anual de sal contido		120.000 t

Nota: Nos investimentos acima não foram incluídos aqueles referentes ao transporte de pessoal da terra aos domos salinos e vice-versa, assim também como os do transporte da salmoura até o local da evaporação, pois ainda não está definido o local da fábrica.

9.1.1 - Custo Unitário

A composição do custo unitário, usando os custos de insumos e fatores empíricos aceitos em avaliações deste tipo, é dado a seguir, em dólares por tonelada de cloreto de sódio, sem levarmos em consideração o custo do transporte da salmoura até o local de purificação e evaporação da mesma. Para efeito de cálculo, tomaremos 10% sobre o investimento para capital de giro. A amortização do investimento será feita fazendo com que seu montante de cresça linearmente do total até zero ao longo do período de amor

tização, que será de 20 anos, de modo que os juros totais a serem pagos, incidirão sobre a metade do investimento. O mesmo conceito vale para o capital de giro. A taxa de juros tomada será de 14% ao ano, sem levarmos em consideração a inflação.

Ainda, os índices adotados para avaliar despesas com manutenção, impostos e seguros são aqueles usados muito frequentemente em estimativas preliminares de custo do tipo presente.

O mesmo critério será utilizado na obtenção dos custos para a fábrica de soda cáustica.

Composição de Custo:

Depreciação (US\$5.930.000 : 20.120.000)	2,47
Juros sobre investimento (0,5x5.930.000x0,14:120.000)	3,46
Juros sobre o capital de giro (0,5x293.000x0,14:120.000)	0,34
Manutenção (0,05x5.930.000:120.000)	2,47
Taxas e Seguros (0,02x5.930.000:120.000)	0,98
Energia: US\$0,02 x 15 KWH	0,30
Pessoal	<u>0,59</u>
Total	US\$ 10,61

Cada tonelada de sal contido na salmoura custará US\$ 10,61, sem considerarmos o transporte.

9.2 - Investimentos e Custos Unitários de Usina de Purificação e Evaporação do Sal

Os dados técnicos e os custos aproximativos foram fornecidos pela firma Sulzer-Escher Wyss/Suíça.

Apresentaremos a seguir as várias alternativas e os investimentos necessários para a montagem da mesma.

Dados Básicos do Projeto:

- Refinaria de sal: capacidade 120.000 t/ano
- Tempo de operação: 24 horas x 330 dias/ano
- Produção diária: NaCl - aprox. 365 t (= 15 t/h)

9.2.1 - Investimentos Comparativos de Evaporadores de
Múltiplo-Efeito (4) Versus Termo-Compressão
(em US\$)

	Múltiplo-Efeito	Termo-Compressão
1. Equipamentos:		
- Instalação Tratamento	889.000	889.000
- Evaporação	4.000.000	4.222.000
2. Tubulações (20% ítem 1)	997.800	1.022.200
3. Equipamento Elétrico (20% ítem 1)	997.800	1.022.200
4. Instrumentação (6% ítem 1)	293.240	300.670
5. Custo Total do Equipa- mento	7.157.840	7.456.070
6. Preparação do local, fun- dações, edificações, iso- lamentos pinturas (70% do ítem 5)	5.009.490	5.219.250
7. Custo Físico da Planta (so- ma ítem 5 e 6)	12.167.330	12.675.320
8. Engenharia e Construção. (25% ítem 7)	3.041.330	3.168.830
9. Custo direto da Planta (soma ítems 7 e 8)	15.208.660	15.844.150
10. Honorários e Contingên- cias (15% ítem 9)	2.281.300	2.376.620

	Múltiplo-Efeito	Termo-Compressão
11. Total Usina (soma itens 9 e 10)	17.489.960	18.220.770
12. Capital de giro (10% item 11)	1.748.000	1.882.080
13. Custo total do capital (14% sobre metade da soma dos itens 11 e 12)	2.693.480	2.814.400
Vida Útil do Empreendimento	20 anos	20 anos

Nota: Saliênta-se que nos cálculos acima não foram levados em consideração a aquisição de jazida, equipamentos para transporte de pessoal e da salmoura, obras portuárias ou terminais marítimos, núcleo residencial, a depender da localização do complexo industrial, aquisição de terra, "royalty" e despesas de início de operação.

9.2.2 - Estimativa do Custo de Produção Anual (Comparativo de Evaporadores de Múltiplo-Efeito (4) e Termo-Compressão (Evaporação e Purificação) em US\$)

	Múltiplo-Efeito	Termo-Compressão
1. Mão-de-obra (Estimado)	850.000	750.000
2. Supervisão (10% de 1)	85.000	75.000
3. Manutenção (6% do custo de capital)	1.616.100	1.688.640
4. Suprimento da usina (15% do item 2)	242.420	253.300
5. Energia (US\$0,02/KWH)	58.000	384.000
6. Vapor (US\$5,55/t)	732.600	99.340
7. Água de refrigeração (US\$0,01/m)	180.000	3.600
8. Custo direto de fabricação (soma de 1 a 6)	3.764.120	3.253.880

	Múltiplo-Efeito	Termo-Compressão
9. Pagamento do "overhead" (20% de 1)	170.000	150.000
10. "Overhead" da Usina (50% de 1)	425.000	375.000
11. Custo indireto de fabricação (soma de 8 e 9)	595.000	525.000
12. Depreciação, em 10% do custo do capital	269.440	281.440
13. Seguro e Propriedade (1% do custo do capital)	26.940	28.150
14. Custo fixo de fabricação (soma de 11 e 12)	296.380	309.590
15. Custo de fabricação (soma dos itens 7, 10 e 13)	4.655.500	4.088.470
16. Despesas de Administração e Vendas, (5% do item 14)	232.770	204.420
17. Custo da Produção (soma dos itens 14 e 15)	4.888.270	4.292.890
Custo Anual	US\$ 4.888.270	4.292.890
Custo por Tonelada de Sal	US\$ 4,735	US\$ 35,774

10. CUSTO FINAL DO SAL EVAPORADO

A produção de uma tonelada, considerando que as perdas no beneficiamento sejam desprezíveis e na purificação da salmoura sejam mínimas ou desprezíveis, terá a seguinte composição, por tonelada de sal:

a) Mineração, sem transporte	US\$ 10,610
b) Purificação, evaporação	US\$ 35,777*
Custo Final	US\$ 46,387

* Usando o processo de Termo-compressão, pois, apesar do investimento inicial ser um pouco mais elevado ele apresenta-se com grandes melhorias tecnológicas sobre o processo de múltiplo-efeito.

RECOMENDAÇÃO

Os aumentos crescentes dos custos de combustíveis, dificuldades na obtenção d'água para tratamento da salmoura e resfriamento do processo e intrínsecas regulamentações governamentais para o controle ambiental mais restritivas são fatores que tendem a onerar o custo final do(s) produto(s).

Por outro lado, existe na região disponibilidade de gás dos poços da Petrobrás, calcário nos concheiros marítimos próximo da região de Guarapari, além de jazida do mesmo tipo em terra, o que dá possibilidade para a produção de barrilha.

Para eventuais restrições do mercado nacional devem ser consideradas alternativas de produtos mais elaborados, como soda cáustica, dicloreto e barrilha. Para o caso de uma economia futura sem recessão ou abertura de mercados internacionais, principalmente na América do Sul, com novos investimentos poder-se-ia aumentar a produção.

Face ao exposto acima, antes de qualquer decisão de envergadura maior, recomenda-se:

1. Fazer um estudo dos problemas portuários em Vitória e do transporte da salmoura até o complexo industrial (se por navio tanque com terminal marítimo, ou a implantação de um salduto, poço-terminal ou poço-fábrica);
2. Fazer um estudo das condições climáticas e disponibilidade de energia para o complexo industrial;
3. Com base nos estudos acima definir a localização do complexo industrial; e
4. Também estudar a viabilidade de um complexo industrial utilizando a salmoura para a produção de soda-cloro, dicloreto e barrilha.

As reservas dos domos salinos são descomunais e o aumento a produção de 120.000 t de cloreto de sódio é somente uma questão de custo de mercado e de capital de investimento.

A produção do poço sugerido será de, no mínimo, 120.000 t/ano de cloreto de sódio e este sal poderá suprir uma fábrica com capacidade de 80.000 t anuais de soda cáustica e, paralelamente, 71.000 t de cloro e 2.000 t de hidrogênio. Este cloro poderá ser utilizado para a produção de diocloreto por reação com o etileno derivado do álcool. Há uma diferença entre o custo do sal evaporado e do sal de rocha na aplicação considerada. Com a utilização do sal de rocha purificado evita-se a dispendiosa operação de evaporação para cristalização. No processo de produção de soda cáustica líquida, essa operação é, em parte, dispensada, trazendo grande economia nos gastos com energia. Pode-se, por outro lado, diversificar a produção de cloreto de sódio e, usá-lo, parte para fabricação de soda cáustica e parte para a produção de barrilha ou ainda aumentar a produção e produzir ambos os produtos, com seus subprodutos.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- First and Second Symposium on Salt (1963 e 1966) The Northern in Ohio Geological Society, Inc. Cleveland, Ohio
- Specialized Underground Extraction Systems. In: CUMMINS, Arthur B., ed. SME Mining Engineering Handbook, New York, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Society of Mining Engineers, 1973 v.2 p 21-1/118
- CABRAL DE MELO, P.R., SAL-GEMA (Trabalho apresentado pela Sal gema Mineração S.A. - 1983)
- PINTO DE LIMA, E - Perfil Analítico do Potássio - 1966 - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- PIPER, T.F. Hydraulics Fracturing Applied to Solution Mining. Woodstock, Il. SMRI, 1980. 15p.