

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

AVALIAÇÃO DO ESTOQUE ESTRATÉGICO
DO CARVÃO DE CHARQUEADAS - RS

RELATÓRIO FINAL

Eng^o TELMO SÜFFERT

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

1986

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO E HISTÓRICO	1
2. O RELATÓRIO PRELIMINAR	1
3. MÉTODO DE TRABALHO	2
4. RESULTADOS OBTIDOS	6
4.1 - Precisão dos Resultados	7
4.1.1 - Cota do Topo dos Canteiros	7
4.1.2 - Cota de Base dos Canteiros	8
4.1.3 - Área dos Canteiros	10
4.1.4 - Peso Específico	10
4.1.5 - Massa do Depósito	12
4.1.6 - Avaliação de Qualidade	12
5. CONCLUSÕES	15

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Dados Topográficos
- Tabela 2 - Dados Quantitativos
- Tabela 3 - Dados Analíticos

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Esquema dos Canteiros
- Figura 2 - Efeito da Compressão dos Canteiros no Terreno
- Figura 3 - Fórmula de Cálculo do Volume dos Canteiros
- Figura 4 - Comparação de Análises 1977/1986

AVALIAÇÃO DO ESTOQUE ESTRATÉGICO DO
CARVÃO DE CHARQUEADAS - RS

RELATÓRIO FINAL

1. APRESENTAÇÃO E HISTÓRICO

Este Relatório fornece os resultados da avaliação quanti e qualitativa do Estoque Estratégico do Carvão de Charqueadas. O estoque foi depositado sob os cuidados das Centrais Elétricas do Sul do Brasil SA - ELETROSUL, entre os anos de 1974 e 1977. O carvão é originário da mina de Charqueadas, estando britado à bitola nominal de 3 polegadas.

O depósito situa-se cerca de 3 km, em linha reta, a sudeste da cidade de Charqueadas, à margem esquerda do Arroio dos Ratos e ao sul da rodovia estadual RS-401.

O estoque compõe-se de 12 canteiros, denominados se_qüencialmente de A até L. Em cada canteiro, após a construção de uma base de refugio compactado, o carvão foi depositado e compactado mecanicamente, formando pilhas achatadas com superfície média próxima de 1 hectare e altura média próxima de 2 m.

Os serviços de avaliação foram executados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, através do Contrato de Prestação de Serviços Nº 008/PR/86.

2. O RELATÓRIO PRELIMINAR

No planejamento dos trabalhos, verificou-se de imediato o aspecto crítico da avaliação: uma estimativa quanti

e qualitativamente precisa necessitaria de grande quantidade de poços de amostragem para:

- Medir, por nivelamento, as irregularidades da base.
- Executar quantidade suficientemente representativa de determinações de peso específico.
- Coletar quantidade suficientemente representativa de amostras para análise.

Sob o aspecto de qualidade, a Norma Brasileira NBR 8291/1983 prevê, para depósito com 500.000 t de carvão ROM na bitola em estudo, a coleta de no mínimo 783 incrementos, homogeneamente distribuídos.

Pela dificuldade e elevado custo em seguir as condições ideais de avaliação, optou-se pelo exame prévio da heterogeneidade dos canteiros, mediante a comparação mútua de cotas de base, pesos específicos e análises coletados em 5 poços abertos no canteiro "C" e um em cada um dos canteiros restantes. Executadas essas tarefas, com os resultados obtidos a CPRM preparou um Relatório Preliminar, enviado à CAEEB dia 22/04/86. À vista do mesmo, a CAEEB optou pela complementação do trabalho com os resultados de campo disponíveis.

3. MÉTODO DE TRABALHO

A partir de dois marcos de amarração, foi executado levantamento topográfico de quatro linhas-base, somando 1845 metros lineares, como mostra a Figura 1. A planilha de cálculos partiu de uma direção N-S arbitrária; as poligonais compensadas estão na Tabela 1. Foram marcadas seções a cada 15 metros e, nestas, locados pontos para nivelamento a cada 10 metros. Foram também locados pontos, com espaçamentos médios de 10 m a 15 m, acompanhando os contornos irregulares dos can

teiros, bem como dos aterros de acesso entre os mesmos.

O volume dos canteiros foi, assim, avaliado através de 1684 pontos topográficos, sendo 1.230 na superfície superior dos canteiros, 398 na base dos contornos, 40 no topo e base dos acessos e 16 nos contatos entre o carvão e o substrato dos poços de amostragem.

A principal dificuldade na avaliação correta do volume dos canteiros foi determinar as cotas médias das bases.

O depósito foi construído sobre terreno alagadiço e compressível. No decurso dos trabalhos de topografia, verificou-se a ocorrência de consideráveis variações na cota do perímetro dos canteiros. Essas cotas, com frequência, estão bastante acima da altura da várzea circundante; concluiu-se que ocorreram movimentos laterais devido à compressão do substrato, de modo semelhante ao que ocorre em aterros rodoviários sobre áreas pantanosas. As figuras 2A e 2B mostram o fenômeno.

Devido a esses movimentos de materiais, a média das cotas da base de um canteiro, ao longo do perímetro, não representa com imparcialidade e precisão a cota média da base do mesmo. É mais correto, portanto, considerar como cota de base a média de cotas obtidas em poços de amostragem.

O volume de cada canteiro foi calculado pela fórmula do tronco de pirâmide, conforme esboço e símbolos indicados na figura 3:

$$V = \frac{h}{3} (S + s + \sqrt{Ss})$$

A partir de desenho em escala 1:500 de cada canteiro, as respectivas superfícies superior e inferior (s e S) foram avaliadas por meio de um planímetro eletrônico Numonics modelo 1210-1.

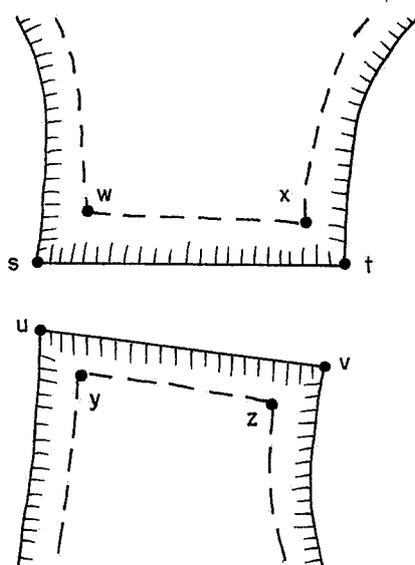
A cota média da superfície superior (H_s) foi calculada, em cada canteiro, pela média das cotas superiores, ponderadas proporcionalmente às respectivas áreas de influência. Se fosse usada a simples média aritmética, os pontos de contorno (que geralmente têm cotas de 5 cm a 20 cm mais baixas que os do interior dos canteiros), com menores áreas de influência, teriam influência desproporcional, e o cálculo de volumes sofreria sub-avaliação sistemática de 1% a 2%.

A cota média da superfície inferior (H_i) foi avaliada, no canteiro "C", pela média aritmética das cotas obtidas nos 5 poços de amostragem; nos onze canteiros restantes, foi utilizada a cota do canteiro central. As alturas médias (h) foram calculadas pelas diferenças entre H_s e H_i .

Foram executados, no poço de amostragem de cada canteiro, duas determinações de peso específico; tomou-se a média desses dois resultados como representativo do canteiro. No caso do canteiro "C" tomou-se a média das dez determinações executadas nos cinco poços.

O processo utilizado foi o seguinte: à meia altura de cada poço, foi executada regularização e horizontalização de superfície com mínimo de 1 m². Aí foram abertas duas escavações tronco-piramidais com volume unitário próximo de 40 dm³. Foram colocadas folhas plásticas flexíveis e impermeáveis nas escavações, avaliando-se os volumes pelo preenchimento com água por meio de uma proveta graduada. Os pesos específicos foram calculados dividindo-se as massas extraídas pelos volumes escavados.

As massas dos canteiros foram calculadas pelos produtos dos volumes pelos pesos específicos: $M = V \cdot \delta$.



Como se vê na Figura 1, existem dez "acessos" de ligação entre os canteiros, também medidos no levantamento plani-altimétrico. Pelo volume reduzido (menos que 1% do total), a massa de carvão contida nesses acessos foi calculada simpli-
ficadamente, considerando, em cada um deles:

- O comprimento como a média das distâncias \overline{st} , \overline{uv} , \overline{wx} e \overline{yz} medidas com escala nos desenhos dos canteiros.
- A largura como a média das distâncias \overline{su} , \overline{wy} , \overline{xz} e \overline{tv} medidas do mesmo modo.
- A altura como a diferença média das cotas $\frac{1}{4} (h_s + h_t + h_u + h_v + h_w - h_x - h_y - h_z)$.
- Peso específico de $1,438 \text{ t/m}^3$, igual à média do depósito.

Os resultados estão na Tabela 2 - Dados Quantitativos.

Em cada um dos 16 poços foi coletada uma amostra de canal representativa de toda a altura, com peso entre 200 kg e 300 kg. Com o objetivo de evitar alteração no teor de umidade, cada amostra foi imediatamente preparada, com as seguintes operações:

- Homogeneização em pilhas, sobre piso de cimento.
- Britagem a 1" (25,4 mm).

- Nova homogeneização.
- Dois quarteamentos sucessivos.
- Britagem a 3/8" (9,5 mm).
- Nova homogeneização.
- Um ou dois quarteamentos, com obtenção da amostra final de peso mínimo 20 kg.
- Embalagem em sacos plásticos impermeáveis.

As análises estiveram a cargo do Laboratório Central de Análises Mineraias da CPRM (LAMIN). Além das determinações de umidade total e umidade higroscópica, foram determinados, tanto em base úmida como em base seca, o poder calorífico superior, o teor de cinzas, o teor de matérias voláteis, o teor de carbono fixo e o teor de enxofre.

Os resultados estão na Tabela 3 ---Dados Analíticos.

4. RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 2 - Dados Quantitativos mostra, discriminados, os dados de cotas, áreas, volumes, pesos específicos e massas dos doze canteiros. Os valores individuais variam entre 19.615 t e 50.565 t. A quantidade total de carvão, incluindo os acessos, soma 446.448 t. O peso específico médio do carvão, incluída a umidade, é de 1,438 t/m³.

A Tabela 3 - Dados Analíticos mostra, discriminados, os resultados laboratoriais das 16 amostras analisadas. Para o conjunto do depósito, as médias, ponderadas proporcionalmente à massa de cada canteiro, são:

	ANÁLISE	
Umidade Total	11,59 %	
	Base Úmida	Base Seca
Umidade Higroscópica	2,07 %	-
Matérias Voláteis	17,91 %	18,29 %
Cinzas	58,83 %	60,07 %
Carbono Fixo	21,18 %	21,64 %
Enxofre	0,653 %	0,666 %
Poder Calorífico Superior	2539 cal/g	2593 cal/g

4.1 - Precisão dos Resultados

A precisão dos resultados obtidos foi avaliada com a mesma metodologia utilizada no Relatório Preliminar; apenas a base de informações foi ampliada com os novos dados topográficos e analíticos.

4.1.1 - Cota do Topo dos Canteiros

No Relatório Preliminar foram apresentados os dados do canteiro "C"; o desvio padrão dos 116 pontos da superfície superior do mesmo foi de 0,167 m.

Vários dos 11 canteiros restantes, devido a superfícies irregulares, apresentaram variações de cotas consideráveis; os desvios padrões (em relação aos valores médios de cada canteiro) variaram entre 0,112 m e 0,465 m. Usando como fatores de ponderação as massas dos canteiros, foram obtidos os seguintes valores para o conjunto do depósito:

- Desvio padrão das cotas de superfície em relação à média de cada canteiro: 0,268 m.
- Altura média dos canteiros: 2,266 m.

Portanto, a precisão da avaliação, calculada com probabilidade de ocorrência $\geq 95\%$, ou seja, duas vezes o desvio padrão, será:

- Cota do topo: $\frac{2 \cdot 0,268 \text{ m}}{\sqrt{1230 \text{ pontos}}} = 0,0153 \text{ m}.$

- Influência do erro no volume: $\frac{0,0153 \text{ m}}{2,266 \text{ m}} = 0,68 \%$
em volume.

Como foi citado no Relatório Preliminar, os métodos geoestatísticos poderiam reduzir consideravelmente essa margem de incerteza; entretanto, esse erro tem pequena influência no erro total. Se, na fórmula de composição de erros aleatórios exposta mais adiante, o erro de volume fosse reduzido de $0,68 \%$ para 0% , o erro aleatório total baixaria de $4,72 \%$ para $4,67 \%$. Assim, tratamento matemático mais sofisticado traria repercussão mínima no erro de avaliação global.

4.1.2 - Cota de Base dos Canteiros

A principal dificuldade na avaliação correta do volume dos canteiros é determinar as cotas médias das bases.

O depósito foi construído sobre terreno alagadiço e compressível. No decurso dos trabalhos de topografia verificou-se a ocorrência de consideráveis variações na cota do perímetro dos canteiros. Essas cotas, com freqüência, estão bastante acima da altura da várzea circundante; conclui-se que ocorreram movimentos laterais devido à compressão do substrato, de modo semelhante ao que ocorre em aterros sobre áreas com baixa capacidade suporte. As figuras 2A e 2B mostram o fenômeno.

Devido a esses movimentos de materiais, a média das cotas da base de um canteiro, ao longo do perímetro, não representa com imparcialidade e precisão a cota média da base do mesmo. É mais correto, portanto, considerar como cota de base a média das cotas obtidas nos poços de amostragem. Entre

tanto, as superfícies de contato entre o carvão e o substrato são, quase certamente, bastante irregulares, o que conduz necessariamente a duas possibilidades de erro: aleatório e sistemático.

O erro aleatório é inversamente proporcional ao quadrado do número de determinações, segundo a fórmula:

$$\sigma_m = \sigma \sqrt{\frac{1}{n}}, \text{ sendo:}$$

σ = desvio-padrão das medidas individuais em relação à média.

σ_m = desvio-padrão da média.

n = quantidade de observações.

As 5 medidas do canteiro "C" forneceram $\sigma = 0,117$ m. Avaliando o depósito com um poço por canteiro e não considerando o efeito das desigualdades de tamanho entre os canteiros, ter-se-á a seguinte precisão, calculada com probabilidade $\geq 95\%$, ou seja, duas vezes o desvio-padrão:

$$2 \sigma_m = 2 \cdot \frac{\text{erro unitário}}{\text{altura média} \cdot \sqrt{\text{quantidade de canteiros}}}$$

$$\text{ou: } 2 \sigma_m = 2 \cdot \frac{0,117 \text{ m}}{2,266 \text{ m} \cdot \sqrt{12}} = 2,98 \%$$

Pode ocorrer erro sistemático se o contato carvão/substrato estiver, nos poços de amostragem executados, sistematicamente acima ou abaixo da cota média da base dos canteiros. É possível que o substrato, sob a parte central dos canteiros, tenha sofrido maior compactação que na faixa próxima às bordas.

Note-se que o canteiro A, que é o de maior altura média, e, ao mesmo tempo, aquele pelo qual ocorreu maior trá-

fego de caminhões, apresenta a maior diferença entre a cota no poço de amostragem (9,459 m) e a média aritmética das cotas do perímetro (10,062 m).

A quantificação objetiva desse erro só poderia ser realizada pela comparação de cotas de maior quantidade de poços. Entretanto, as observações colhidas durante os trabalhos levaram à avaliação subjetiva de que, na hipótese de ocorrência desse erro sistemático, a importância do fenômeno dificilmente ultrapassará 0,10 m para o conjunto do depósito. Considerando a altura média de 2,266 m, esse erro corresponde a cerca de 4,5% da massa do depósito. Deve-se observar que, para os erros sistemáticos, o erro percentual de avaliação de todo o depósito é igual ao erro percentual de avaliação de um canteiro.

4.1.3 - Área dos Canteiros

O método utilizado na avaliação das áreas, tanto da superfície do topo como do contorno da base, é bastante preciso, oferecendo segurança de erro médio de avaliação (no conceito de 2σ) certamente inferior a 1%, o que resulta em erro inferior a 0,3% para o conjunto do depósito. Pela sua pequena magnitude, esse erro tem influência mínima no erro total.

4.1.4 - Peso Específico

Os cálculos realizados com os cinco poços do canteiro "C" resultaram em:

média aritmética:	$m = 1,405 \text{ t/m}^3$
desvio padrão das medidas:	$\sigma = 0,0654 \text{ t/m}^3$
desvio padrão relativo das medidas:	$\frac{\sigma}{m} = 0,0465 = 4,65\%$

Combinando esse resultado médio do canteiro "C" com os poços dos outros onze canteiros, os resultados estatísti-

cos foram:

dados ponderados:	n = 12
média aritmética:	m = 1,441 t/m ³
desvio padrão das medidas:	$\sigma = 0,0892 \text{ t/m}^3$
desvio padrão relativo das medidas:	$\frac{\sigma}{m} = 0,0619 = 6,19\%$

Parece, pela relação entre os desvios-padrão, que a heterogeneidade de um canteiro a outro é maior que entre os vários poços do mesmo canteiro. Entretanto, como a quantidade de determinações foi pequena, é possível que essa diferença se deva ao acaso.

Não considerando o efeito das desigualdades de tamanho entre os canteiros, a precisão de avaliação do depósito (no conceito de 2σ) será:

$$2 \sigma_m = 2 \cdot 6,19\% \cdot \sqrt{\frac{1}{12}} = 3,58\%$$

Como já foi explanado no Relatório Preliminar, o exame visual dos poços mostra sucessivas camadas com espessuras de 0,10 m a 1 m, apresentando acentuadas variações de distribuição granulométrica e compactação. Há níveis em que a granulometria preponderante é de 2" a 4" e outras com poucas partículas acima de 2". Há níveis espessos, pouco compactados, e há (principalmente nos 0,50 m do topo dos canteiros) sucessões de níveis finos com evidências do trabalho de compactação executado para impedir a auto-ignição.

De acordo com o planejado, em cada poço foram executadas apenas determinações de peso específico à meia altura do canteiro. Portanto, esse fator de heterogeneidade não foi avaliado. Assim, é bastante possível que a avaliação feita com as informações coletadas conduza a uma sub-avaliação sistemática, com erro de peso específico de até 3%.

4.1.5 - Massa do Depósito

Na estimativa da precisão de avaliação de massa, os limites dos erros aleatórios são compostos pela fórmula:

$$2\sigma_{\text{massa}} = \sqrt{(2\sigma_{\text{cota topo}})^2 + (2\sigma_{\text{cota base}})^2 + (2\sigma_{\text{área}})^2 + (2\sigma_{\text{peso esp.}})^2}$$

Os limites dos erros sistemáticos devem ser somados, pois há risco de que ambos atuem no mesmo sentido:

$$2\sigma_{\text{massa}} = 2\sigma_{\text{cota base}} + 2\sigma_{\text{peso esp.}}$$

Tem-se, assim, a seguinte composição de erros:

		<u>Margem de erro (2σ)</u>	
ERROS ALEATÓRIOS	{	Cota topo	± 0,68 %
		Cota base	± 2,98 %
		Área	± 0,30 %
		Peso específico	± 3,58 %
		Erro total	± 4,72 %
ERROS SISTEMÁTICOS	{	Cota base	± 5,0 %
		Peso específico	± 3,0 %
		Erro total	± 8,0 %
		E R R O T O T A L	± 12,72%

4.1.6 - Avaliação de Qualidade

A Norma Brasileira NBR 8291/1983 indica as condições adequadas para amostragem de carvão bruto, visando obter amostras representativas. Essa Norma se dirige especialmente à amostragem mecanizada de fluxos contínuos de material (correias transportadoras, etc.) e, secundariamente, a pilhas relativa-

mente homogêneas.

Para depósito com cerca de 50.000 t de carvão ROM de bitola entre 50 mm e 150 mm (2" a 6") essa Norma prescreve que sejam coletados no mínimo $35 \sqrt{500} = 783$ incrementos, uniformemente distribuídos, com peso mínimo unitário de 7 kg (itens 4.3.1 e 4.3.2 da Norma). Os incrementos devem ser coletados "à profundidade mínima de 0,30" (item 5.1.4 da Norma).

Tal processo seria relativamente fácil de cumprir, mas, no caso específico em estudo, poderia levar a erros sérios, pois há considerável heterogeneidade vertical dos canteiros, devido tanto ao modo de deposição como à degradação durante os anos de armazenamento. Assim, julgou-se que a avaliação qualitativa seria mais fiel e exata se baseada numa quantidade reduzida de amostras de canal que representassem toda a altura dos canteiros (obtidas, a custo unitário mais elevado, de poços abertos com retroescavadeira) que de numerosas amostras pontuais coletadas próximo à superfície.

Foram executados estudos comparativos entre os resultados obtidos pela CIENTEC em 1977 com as análises do presente estudo. Na Figura 4 tem-se gráficos de correlação das duas principais variáveis: cinzas em base seca e poder calorífico superior em base seca. É evidente a falta de correlação entre os dois resultados de cada canteiro nas duas campanhas de amostragem; os coeficientes de correlação calculados foram - 0,04 no 1º caso e - 0,16 no segundo.

Conclui-se que a deposição do material nos canteiros ocorreu de forma muito heterogênea. O valor de uma amostra isolada não representa com fidelidade a qualidade média do respectivo canteiro. A média das amostras, ponderada pelos respectivos volumes de canteiros, deve ter aproximadamente a mesma precisão que a média de uma quantidade de incrementos (cada um representando toda a altura de um canal) tomados de pon

tos escolhidos ao acaso.

Foram calculadas as margens de precisão (sob o conceito de 2σ) para o total do depósito, obtendo-se os seguintes resultados:

Umidade Total	A N Á L I S E	
	± 0,53 %	
	Base Úmida	Base Seca
Umidade Higroscópica	± 0,13 %	-
Mátérias Voláteis	± 0,56 %	± 0,58 %
Cinzas	± 1,55 %	± 1,56 %
Carbono Fixo	± 1,03 %	± 1,06 %
Enxofre	± 0,190%	± 0,192%
Poder Calorífico Superior	± 129 cal/g	± 133 cal/g

Não foi executado programa de testes de "precisão de amostragem, preparação e análise de carvão" (item 6.1.1 da NBR 8291/1983) por dois motivos:

- O processo exige considerável tempo e custos, necessitando comparar dados de várias dezenas de análises em paralelo.
- Os erros usuais nas etapas citadas são muito inferiores às heterogeneidades do depósito em estudo. Por exemplo, os erros de preparação e análise nos teores de cinzas são geralmente inferiores a 0,5 %, enquanto o desvio padrão dos doze can_{teiros} atinge 2,71%.

5. CONCLUSÕES

O conteúdo estimado do Estoque Estratégico do Carvão de Charqueadas - RS foi avaliado em 446.440 t. A margem de segurança dessa avaliação, calculada com probabilidade $\geq 95\%$, ou seja, duas vezes o desvio-padrão dos erros aleatórios, é de $\pm 12,72\%$, equivalente a ± 56.788 t.

Os principais parâmetros qualitativos do carvão depositado, calculados sob a mesma margem de segurança de 2σ , são: Poder Calorífico Superior em Base Seca de 2593 ± 133 cal/g e Teor em Cinzas Base Seca de $60,07 \pm 1,56\%$. Outros parâmetros médios, incluindo Umidade, Matérias Voláteis e Enxofre são tão detalhados nos itens 4. e 4.1.5.

Com a entrega do presente Relatório Final, correspondente ao item 6 do Anexo ao Contrato Nº 008/PR/86, a CPRM considera cumprida, de sua parte, a Cláusula 8.2 do mesmo Contrato.

TABELA 1
DADOS TOPOGRÁFICOS

Estação	Vante	Azimute Compensado	Distância Compensada (m)	Coordenadas Compensadas	
				Abcissa (m)	Ordenada (m)
	M2			100,00	270,39
M2	M1	0°00'00"	129,61	100,00	400,00
M1	0	26°32'37"	28,42	112,70	425,42
0	300	98°57'55"	300,04	409,08	378,70
300	300 AUX	8°58'12"	12,00	410,95	390,55
300 AUX	435	98°58'30"	135,02	544,32	369,50
435	955	154°12'05"	91,04	583,95	287,54
955	520	277°43'28"	434,93	152,98	346,07
520	475	277°43'28"	45,00	108,39	352,12
475	M1	350°02'45"	48,61	100,00	400,00
<hr/>					
955	1405	209°12'15"	115,06	527,88	187,07
1405	1030	278°14'16"	374,67	157,09	240,88
1030	520	357°42'54"	105,27	152,98	346,07
<hr/>					
1405	1515	156°41'17"	115,69	573,62	80,81
1515	1980	277°59'20"	465,16	112,97	145,41
1980	1030	24°49'21"	105,17	157,09	240,88

TABELA 3
DADOS ANALÍTICOS

Nº da Amostra	Poço	ANÁLISE EM BASE ÚMIDA							ANÁLISE EM BASE SECA				
		Umidade Total (%)	Umidade Higrosc. (%)	Matérias Voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)	Enxofre (%)	Poder Calorífico Superior (Cal/g)	Matérias Voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)	Enxofre (%)	Poder Calorífico Superior (Cal/g)
TS-M-001	C-1	11,7	2,2	19,1	57,5	21,2	0,44	2.643	19,5	58,8	21,7	0,45	2.702
TS-M-002	C-2	10,3	2,2	18,9	57,5	21,4	0,41	2.577	19,3	58,8	21,9	0,42	2.634
TS-M-003	C-3	10,6	2,1	20,7	52,0	25,2	0,53	3.084	21,1	53,1	25,8	0,54	3.150
TS-M-004	C-4	12,2	2,0	17,6	60,8	19,6	0,36	2.397	17,9	62,0	20,1	0,37	2.446
TS-M-005	C-5	10,1	1,9	18,5	60,7	18,9	0,38	2.346	18,9	61,9	19,2	0,39	2.391
MÉDIA CANTEIRO C		11,0	2,1	19,0	57,7	21,2	0,42	2.609	19,3	58,9	21,8	0,43	2.665
TS-M-006	D-1	11,5	2,5	18,9	55,4	23,2	0,47	2.801	19,4	56,8	23,8	0,48	2.973
TS-M-007	F-1	12,6	2,5	17,8	59,4	20,3	0,58	2.460	18,3	60,9	20,8	0,59	2.523
TS-M-008	A-1	13,1	2,4	18,6	56,4	22,6	0,46	2.735	19,1	57,8	23,1	0,47	2.802
TS-M-009	B-1	10,0	1,9	17,3	59,5	21,3	0,38	2.566	17,6	60,7	21,7	0,39	2.616
TS-M-010	E-1	10,5	1,9	17,1	61,0	20,0	0,49	2.446	17,4	62,2	20,4	0,50	2.493
TS-M-011	G-1	11,2	2,0	15,6	64,9	17,5	0,49	2.051	15,9	66,2	17,9	0,50	2.093
TS-M-012	H-1	11,7	1,8	18,7	56,6	22,9	0,81	2.677	19,0	57,6	23,4	0,82	2.726
TS-M-013	I-1	12,3	1,9	18,3	60,0	19,8	1,09	2.319	18,7	61,2	20,1	1,11	2.364
TS-M-014	J-1	11,9	2,0	18,0	59,6	20,4	1,24	2.434	18,4	60,8	20,8	1,26	2.484
TS-M-015	K-1	12,2	2,0	17,7	60,2	20,1	1,24	2.381	18,1	61,4	20,5	1,26	2.430
TS-M-016	L-1	11,9	2,0	18,2	56,3	23,5	0,47	2.801	18,6	57,4	24,0	0,48	2.858
MÉDIA PONDERADA		11,59	2,07	17,91	58,84	21,18	0,653	2.539	18,29	60,07	21,64	0,666	2.593
DESVIO PADRÃO σ		±0,91	±0,23	±0,97	±2,69	±1,79	±0,329	±224	±1,01	±2,71	±1,84	±0,332	±230
2 DESVIOS PADRÕES DA MÉDIA		±0,53	±0,13	±0,56	±1,55	±1,03	±0,190	±129	±0,58	±1,56	±1,06	±0,192	±133

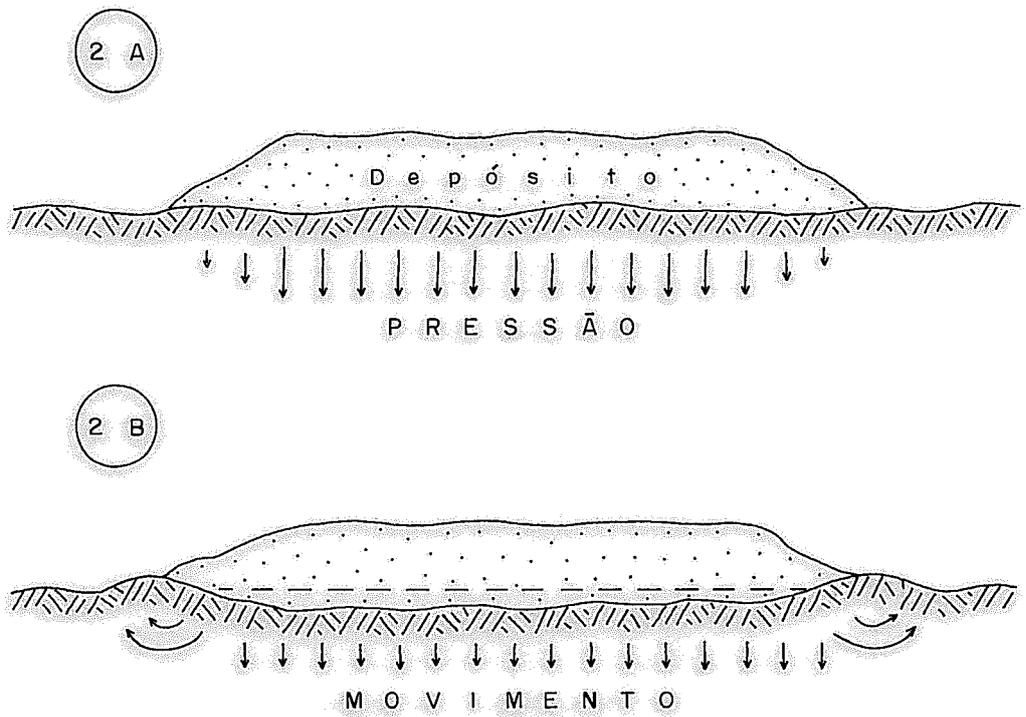
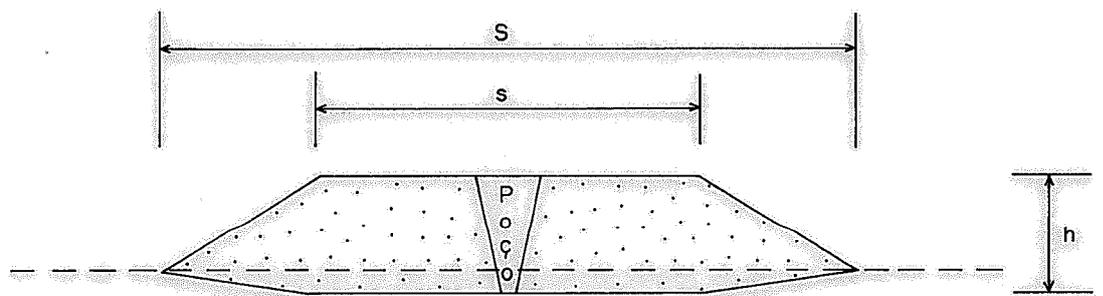


Figura 2 - Efeito da Compressão dos Canteiros no Terreno



$$V = \frac{h}{3} (S + s + \sqrt{Ss})$$

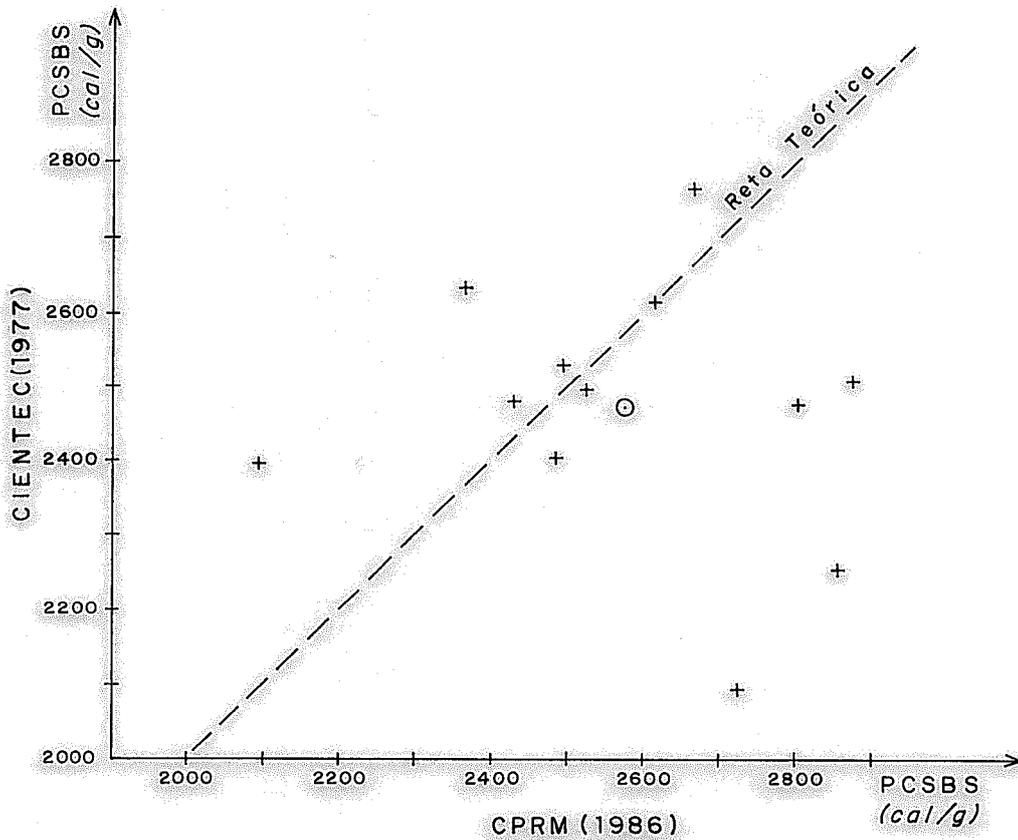
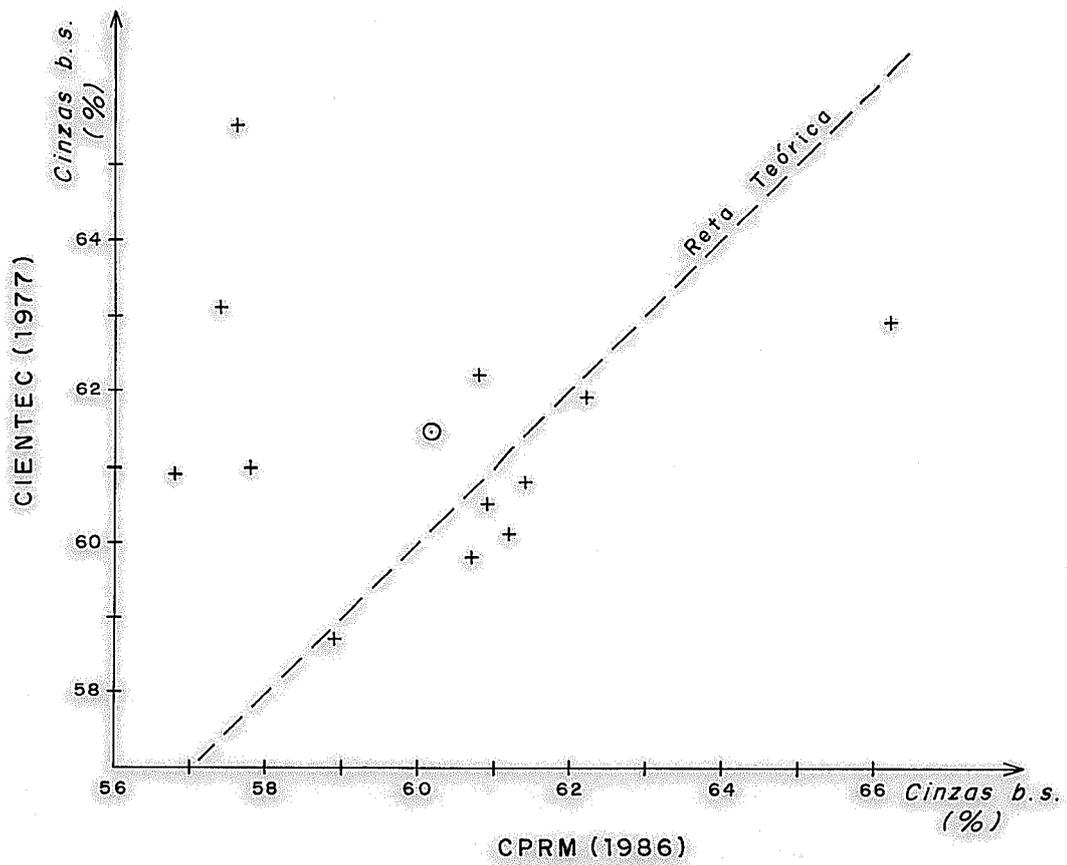
V = Volume do canteiro

h = Altura média do canteiro

S = Superfície do contorno do canteiro

s = Superfície do topo do canteiro

Figura 3 - Fórmula de Cálculo do Volume dos Canteiros



CONVENÇÕES

- + Análises dos canteiros
- Média do depósito

Figura 4
COMPARAÇÃO DE ANÁLISES
1977-1986