

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo



ISSN 0104-0553

BT/PMI/164

**Análise Comparativa do
Desempenho de Ciclones com Base
em Simulações Prévias em Ensaios
em Escala Industrial**

**Flávio Augusto Pesce Storolli
Homero Delboni Jr.**

São Paulo - 2002

O presente trabalho é parte da dissertação de mestrado apresentada por Flávio Augusto Pesce Storolli, sob a orientação do Prof. Dr. Homero Delboni Jr.: "Análise Comparativa do Desempenho de Ciclones com Base em Simulações Prévias em Ensaios em Escala Industrial", defendida em 18/06/02, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição dos interessados com o autor e na Biblioteca do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Storolli, Flávio Augusto Pesce

Análise comparativa do desempenho de ciclones com base em simulações prévias em ensaios em escala industrial / F.A.P. Storolli, H. Delboni Jr. -- São Paulo : EPUSP, 2002.

14 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/164)

1. Processamento mineral I. Delboni Júnior, Homero II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas III. Título IV. Série
ISSN 0104-0553

CDU 622.7

FLÁVIO AUGUSTO PESCE STOROLLI

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE CICLONES COM BASE EM
SIMULAÇÕES PRÉVIAS E ENSAIOS EM ESCALA INDUSTRIAL

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo,
para a obtenção do Título de Mestre em
Engenharia Mineral.

Área de Concentração:
Engenharia Mineral

Orientador:
Prof. Dr. Homero Delboni Jr.

São Paulo
2002

RESUMO

O ciclone é um dos principais equipamentos utilizados em processos de classificação de partículas sólidas em usinas de Tratamentos de Minérios. Apesar da grande evolução da tecnologia digital, que desenvolveu poderosas ferramentas para a análise de processos, os ensaios de campo permanecem como um importante procedimento, utilizado para o dimensionamento e a verificação do desempenho da operação de ciclonagem. Este trabalho pretende mostrar alguns exemplos de ensaios de campo, efetuados em escala industrial, descrevendo os procedimentos adotados para sua realização e comparando os resultados preliminares, simulados em um programa adotado por um tradicional fabricante de ciclones, com os resultados experimentais, analisados em um programa comercial de modelagem de operações industriais. Nesta comparação são abordados alguns dos mais importantes parâmetros para a determinação do desempenho do ciclone, como as partições de sólidos e de água, o diâmetro mediano de partição (d_{50}), os diâmetros de referência pelos quais passam 80 e 95% das partículas do “overflow” (d_{80} e d_{95}) e o α , associado à inclinação da curva de partição. Também são comparados os resultados experimentais com os valores calculados pelo método de dimensionamento proposto por Arterburn.

ABSTRACT

The cyclone is one of the main equipments used in classification processes at Concentration Plants. Despite of the great evolution of the information technology, that developed powerful tools to analyse the processes database, the field trials remains as a very important procedure, utilized to size and verify the performance of the cyclones operation. This work intends to show some examples of field trials, describing the trial procedures and comparing the preliminary results, simulated in a program used by a traditional cyclone supplier, and the field results, analysed in a commercial modeling program. In this comparison are focused some of the most important parameters to determine the performance of the cyclone, such as solids and water partition, the d_{50} , d_{80} , and d_{95} sizes and the α , associated to the partition curve slope. The field results are also compared to the calculated values given by the cyclone sizing method, developed by Arterburn.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	MÉTODO DE ENSAIO	1
2.1.	Dimensionamento e simulação de desempenho	2
2.2.	Ensaio em escala industrial	2
2.3.	Análise dos resultados	2
3.	PARTE EXPERIMENTAL	3
3.1.	Descrição da operação	3
3.2.	Características dos ciclones	3
3.3.	Ensaio	4
4.	RESULTADOS OBTIDOS	4
4.1.	Simulações prévias	4
4.2.	Ensaio em escala industrial	4
5.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	5
5.1.	Verificação da qualidade dos resultados dos ensaios	6
5.1.1.	Balanço de massas e ajustes das curvas de partição	6
5.2.	Comparação dos resultados	7
5.2.1.	Balanço de massas	8
5.2.2.	Ajuste da curva de partição	9
5.2.3.	Curvas de partição corrigidas	10
5.3.	Análise de método de dimensionamento proposto por Arterburn	12
5.4.	Discussão dos resultados	13
6.	CONCLUSÕES	14
	LISTA DE REFERÊNCIAS	14

CAPÍTULO 1 **INTRODUÇÃO**

O ciclone é um dos principais equipamentos utilizados nas usinas de Tratamento de Minérios, via úmida, principalmente, nas etapas de classificação, deslamagem e desaguamento de um produto.

Um dos procedimentos ainda hoje mais adotados para dimensionamento e operação de ciclones consiste na realização de ensaios em escala industrial.

Muitos destes ensaios chegam a ser decisivos na opção por um equipamento, e, em alguns casos, são determinantes na decisão de seqüência de projetos.

Este trabalho mostra alguns ensaios de campo, durante a operação quotidiana de usinas de concentração de minério de ferro e de ouro e fósforo.

Simplificadamente, neste artigo são apresentados os resultados obtidos para o minério de ferro.

Também são descritos os procedimentos para a realização das amostragens, efetuadas para ciclones já instalados na usina, denominados ciclones padrões, e para aqueles especialmente montados para os estudos, denominados ciclones alternativos.

Os resultados experimentais foram parametrizados e analisados no programa "JKSimMet" e comparados aos simulados previamente, no "Programa de Análise de Problemas de Ciclones" (PAPCKEB), utilizado pela Krebs Engineers.

Para a comparação, foi adotado um método dividido em três etapas:

- Dimensionamento e simulação de desempenho;
- Ensaios em escala industrial e;
- Análise dos resultados.

Nesta análise, foram comparados parâmetros relativos ao desempenho dos ciclones, como as partições de sólidos e de água, o diâmetro mediano de partição (d_{50}), os diâmetros pelos quais passam 80 e 95% das partículas do "overflow" (d_{80} e d_{95}) e o α , associado à inclinação da curva de partição, avaliando-se a adequação da estimação destes nas simulações, anteriores aos ensaios.

Também foram comparados os valores obtidos experimentalmente para os diâmetros d_{50} , d_{80} e d_{95} e os calculados a partir das relações propostas por Richard Arterburn, adotadas por inúmeros profissionais ligados às áreas de projeto e de operações de circuitos de ciclonagem, principalmente, em projetos preliminares.

CAPÍTULO 2 **MÉTODO DE ENSAIO**

Todos os ensaios foram realizados com os equipamentos já em operação nas usinas, os ciclones padrões, e outros especialmente instalados, os alternativos.

Os principais parâmetros investigados durante as campanhas foram:

- a pressão;
- o peso específico e a concentração de sólidos;
- a distribuição granulométrica, na alimentação e nos produtos.

O método adotado para a análise dos resultados foi dividido em três etapas:

- Dimensionamento e simulação de desempenho;
- Ensaios em escala industrial e;
- Análise dos resultados.

2.1. Dimensionamento e simulação de desempenho

Nesta etapa, foram realizados o dimensionamento dos ciclones alternativos e as simulações prévias do desempenho destes e dos ciclones padrões.

Para os dimensionamentos e as simulações prévias foi empregado o “Programa de Análise de Problemas de Ciclones” (PAPCKEB), utilizado pela Krebs Engineers Ltd.

O simulação no PAPCKEB tem a intenção de prever o desempenho de um determinado ciclone selecionado, face às condições operacionais adotadas, sendo necessária a estimativa prévia de alguns dados da operação, como:

- Densidade dos sólidos (ρ_s) e do líquido (ρ_l);
- Concentração de sólidos na alimentação, em peso (C_w);
- C_w requerido no “underflow”;
- Vazão de polpa (Q_p) ou massa de sólidos na alimentação (m_s);
- Granulometria retida simples, por faixas granulométricas;
- Parâmetro α , associado à inclinação da curva de partição.

2.2. Ensaio em escala industrial

Todos os ensaios utilizaram o mesmo procedimento, com período total de amostragem de uma hora, sendo obtidas amostras incrementais, em intervalos de 10 minutos, totalizando 7 alíquotas para cada produto.

Como regra geral, buscou-se obter simultaneamente os produtos dos “overflows” e em seguida dos “underflows”, a fim de minimizar possíveis oscilações instantâneas nas condições operacionais dos ciclones.

As últimas alíquotas de cada etapa de amostragem foram as referentes às alimentações, obtidas nos distribuidores radiais de polpa.

Assim, para cada ciclone do ensaio foram obtidas três amostras: alimentação, “overflow” e “underflow”.

2.3. Análise dos resultados

Os resultados de todos os ensaios em escala industrial foram parametrizados e analisados no programa JKSimMet, para a obtenção dos balanços de massas e para o cálculo do diâmetro mediano de partição (d_{50cor}) e do parâmetro α , relativo à inclinação das curvas de partição das operações de ciclonagem estudadas.

Estruturalmente, este programa é dividido em dois módulos específicos:

- *Balanço de massas*, onde são calculadas as partições de sólidos e de água, e;
- *Ajuste de modelos*, onde são obtidos os valores relativos aos parâmetros de desempenho da operação, como o diâmetro mediano de partição (d_{50cor}) e o α , associado à inclinação da curva de partição.

O cálculo dos parâmetros do *módulo ajuste de modelos* foi de fundamental importância para a determinação da curva de partição.

CAPÍTULO 3

PARTE EXPERIMENTAL

A parte experimental foi realizada com ensaios em escala industrial em usinas de concentração de minério de ferro, ouro e de fosfato.

Neste artigo, encontra-se representada apenas a operação com minério de ferro. Entretanto, todas as campanhas de ensaios, para as três usinas, seguiram a mesma estrutura, com a obtenção de alíquotas referentes à alimentação e aos produtos dos ciclones padrões e dos alternativos.

3.1. Descrição da operação

Os ensaios foram realizados na unidade operacional de moagem e classificação do circuito industrial da empresa, cuja configuração encontra-se representada simplificada na Figura 3.1, a seguir.

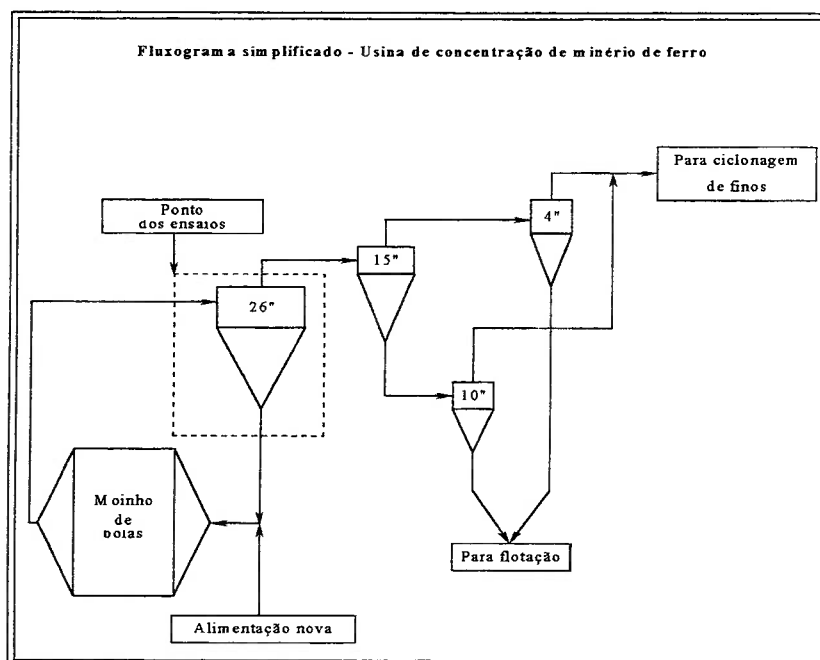


Figura 3.1. Fluxograma simplificado do circuito de moagem e classificação.

3.2. Características dos ciclones

Os ensaios foram realizados com dois modelos de ciclones, sendo o primeiro padrão da usina e o segundo instalado especificamente para a realização dos ensaios:

- 5 unidades da bateria (ciclones Krebs, modelo D26B-1086, de 26 polegadas de diâmetro), foram mantidas com a mesma configuração da operação padrão da usina;
- Em uma posição, foi instalado um ciclone alternativo (Krebs, modelo DS26B-gMAX, de 26 polegadas de diâmetro), com a possibilidade de alteração dos diâmetros do “vortex finder” e do “apex” e dos ângulos das seções cônicas.

3.3. Ensaios

Cada ensaio constou de amostragem simultânea das alíquotas dos “overflows” dos dois ciclones selecionados, sendo, na sequência, obtidas as amostras referentes aos dois “underflows”. A alíquota da alimentação, comum aos dois ciclones ensaiados, foi a última a ser efetuada.

Portanto, em cada ensaio, foram obtidas 5 amostras:

- Uma referente à alimentação;
- Dois “overflows”, um referente ao ciclone padrão e um ao alternativo;
- Dois “underflows”, um referente ao ciclone padrão e um ao alternativo.

No total, foram realizados ensaios com 6 condições de montagem diferentes para o ciclone alternativo, sendo três com cada diâmetro de “vortex finder”, de 10 e 12 polegadas, e diferentes combinações de ângulos de seções cônicas.

Em todos os ensaios, foi adotado o mesmo procedimento de amostragem.

Analogamente, foram realizadas campanhas de amostragens similares nas usinas de concentração de minério de ouro e de fosfato.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1. Simulações prévias

A Tabela 4.1, representada a seguir, apresenta os resultados das simulações prévias para os ensaios com minério de ferro, tanto para o ciclone padrão quanto para as diferentes configurações de montagem utilizadas para o ciclone alternativo.

Tabela 4.1. Resultados das simulações prévias com minério de ferro.

Ensaio n.º	Ciclone	Concentrações de sólidos (%)			Pressão (psi)	Parâmetro α	d_{50cor} (μm)
		Alim.	OF	UF			
1	Padrão	63	47	80	12	3,0	123
	Alternativo	63	43	80	12	3,0	92
2	Padrão	63	47	80	12	3,0	123
	Alternativo	63	45	80	10	3,0	108
3	Padrão	63	47	80	12	3,0	123
	Alternativo	63	45	80	10	3,0	108
4	Padrão	63	47	80	12	3,0	123
	Alternativo	63	43	80	12	3,0	92
5	Padrão	63	47	80	12	3,0	123
	Alternativo	63	43	80	12	3,0	92
6	Padrão	63	47	80	12	3,0	123
	Alternativo	63	45	80	10	3,0	108

4.2. Ensaios em escala industrial

Em todos os ensaios, o ciclone padrão foi montado com a mesma configuração. Já no ciclone alternativo, foram realizadas alterações de um para outro

ensaio, conforme representa a Tabela 4.2, a seguir, com as principais configurações de montagem para cada ensaio.

Tabela 4.2. Configurações de montagem dos ciclones padrão e alternativo nos ensaios.

Ensaio n.º	"Inlet" (pol ²)	"Vortex finder" (pol)	"Apex" (pol)	Cones (º)
Padrão	60	10	4,5	20
1	60	10	4,5	30 / 10 / 10
2	60	12	4,5	30 / 10 / 10
3	60	12	4,5	30 / 20 / 10
4	60	10	4,5	30 / 20 / 10
5	60	10	4,5	30 / 30 / 10
6	60	12	4,5	30 / 30 / 10

Os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 4.3, a seguir.

Tabela 4.3. Resultados experimentais para cada ensaio com minério de ferro.

Ensaio n.º	Ciclone	Concentrações de sólidos (%)			Pressão (psi)
		Alim.	OF	UF	
1 **	Padrão *	62	50	81	12
	Alternativo		44	81	
2 ***	Padrão	66	54	80	12
	Alternativo		51	81	
3	Padrão	67	53	80	11
	Alternativo		52	80	
4	Padrão	67	57	81	11
	Alternativo		52	80	
5	Padrão	66	51	80	12
	Alternativo		50	80	
6	Padrão	62	48	79	12
	Alternativo		46	79	

* Ciclone padrão, montado em todos os ensaios com "inlet" de 60 pol², "vortex" de 10 pol e "apex" de 4,5 pol

** Ciclone alternativo, montado nos ensaios 1, 4 e 5 com "inlet" de 60 pol², "vortex" de 10 pol e "apex" de 4,5 pol

*** Ciclone alternativo, montado nos ensaios 2, 3 e 6 com inlet de 60 pol², "vortex" de 12 pol e "apex" de 4,5 pol

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, foram discutidos os resultados simulados no programa PAPCKEB, da Krebs Engineers, e experimentais, calculados a partir dos ensaios de campo, no programa JKSImMet.

Os principais parâmetros analisados e comparados foram aqueles relativos ao desempenho dos ciclones, como:

- Partições de sólidos e de água;
- Os valores $d_{50\text{cor}}$, d_{80} e d_{95} ;
- α , associado à inclinação da curva de partição.

5.1. Verificação da qualidade dos resultados dos ensaios

A verificação da qualidade dos resultados dos ensaios foi dividida em duas etapas, referentes a cada módulo específico de análise de desempenho: balanço de massas e parametrização da curva de partição.

5.1.1. Balanços de massas e ajustes das curvas de partição

Para a verificação da qualidade dos resultados dos ensaios, foi utilizada como referência a somatória dos desvios ponderados associados aos parâmetros relevantes ao cálculo do balanço de massas.

O desvio ponderado relativo a cada parâmetro foi assumido como:

$$\lambda = \left(\frac{Calc - Exp}{Erro} \right)^2 \quad (1)$$

Onde:

- λ : desvio ponderado relativo a cada parâmetro
- Calc: valor calculado pelo programa JKSImMet
- Exp: valor experimental
- Erro: valor adotado pelo operador

A somatória dos desvios dos parâmetros referentes ao cálculo do balanço de massas foi definida da seguinte maneira:

$$\lambda_{bal} = \sum \lambda f_i + \lambda Q_f + \lambda C_{wf} + \sum \lambda o_i + \lambda Q_{of} + \lambda C_{wo} + \sum \lambda u_i + \lambda C_{wu} + \lambda Q_{uf} \quad (2)$$

Onde:

- λ_{bal} : desvio padrão dos parâmetros utilizados para o cálculo do balanço de massas
- $\sum \lambda f_i$: somatória dos desvios referentes a cada intervalo granulométrico na alimentação
- λQ_f : desvio referente à vazão de alimentação
- λC_{wf} : desvio referente à concentração de sólidos, em peso, na alimentação
- $\sum \lambda o_i$: somatória dos desvios referentes a cada intervalo granulométrico no “overflow”
- λQ_{of} : desvio referente à vazão do “overflow”
- λC_{wo} : desvio referente à concentração de sólidos, em peso, no “overflow”
- $\sum \lambda u_i$: somatória dos desvios referentes a cada intervalo granulométrico no “underflow”
- λQ_{uf} : desvio referente à vazão do “underflow”
- λC_{wu} : desvio referente à concentração de sólidos, em peso, no “underflow”

A consistência dos resultados de um balanço de massas não garante, necessariamente, a parametrização adequada da curva de partição correspondente, pois a aderência dos dados experimentais ao modelo paramétrico adotado dependerá de sua dispersão em relação à curva que melhor se ajuste a eles, sendo esta uma função da parametrização adotada.

Neste trabalho, foi adotada a equação paramétrica de Whiten, aplicada no modelo de Lynch; Rao (1975) e representada pela equação 3, abaixo.

$$c_i = \frac{e^{(\alpha \cdot x_i)} - 1}{e^{(\alpha \cdot x_i)} + e^\alpha - 2} \quad (3)$$

O cálculo dos desvios dos valores seguiu a equação 1.

Para a estimação da aderência dos resultados experimentais ao modelo adotado, para o ajuste das curvas de partição, foi utilizada a somatória dos desvios ponderados dos parâmetros relevantes, calculados de acordo com a equação 4:

$$\lambda_{part} = \lambda_{bal} + \lambda_P + \lambda_{d_{50cor}} + \lambda(100 \cdot (1 - R_f)) \quad (4)$$

Onde:

- λ_{part} : desvio ponderado dos parâmetros utilizados para o cálculo do ajuste da curva de partição
- λ_P : desvio referente à pressão de alimentação
- $\lambda_{d_{50cor}}$: desvio referente ao diâmetro mediano de partição
- $\lambda(100 \cdot (1 - R_f))$: desvio relativo à porcentagem de água alimentada que se reporta ao “overflow”

Os valores analisados no programa JKSimMet podem ser considerados consistentes quando os desvios ponderados das somatórias forem inferiores a 20 para os balanços de massas e a 1,0 para os ajustes das curvas de partição.

A Tabela 5.1, a seguir, apresenta os valores das somatórias dos desvios ponderados obtidos para cada ensaio executado.

Tabela 5.1. Somatórias dos desvios ponderados obtidos para os balanços de massas e para os ajustes das curvas de partição.

Ensaio n.º	D26B-1086	DS26B-gMAX	D26B-1086	DS26B-gMAX
	$\Sigma\lambda_{bal}^*$		$\Sigma\lambda_{part}^*$	
1	7,3	1,7	0,80	0,73
2	3,0	5,2	1,02	0,64
3	7,9	10,4	0,55	0,76
4	18,5	11,4	0,54	0,65
5	9,7	17,5	0,78	0,80
6	11,7	17,5	0,68	0,74

* $\Sigma\lambda_{bal}$: somatória dos desvios ponderados nos cálculos de balanço de massas

** $\Sigma\lambda_{part}$: somatória dos desvios ponderados nos cálculos de ajuste da curva de partição

A análise da Tabela 5.1, indica que todos os ensaios apresentaram valores consistentes para os balanços de massas e ajustes das curvas de partição e, de acordo com o critério estabelecido, foram considerados aceitáveis para o trabalho proposto.

5.2. Comparação dos resultados

Uma vez estabelecidos os balanços de massas e as parametrizações das curvas de partição experimentais, os resultados obtidos foram empregados para a avaliação da qualidade das simulações prévias de desempenho dos ciclones objeto de ensaios.

Para a comparação entre os resultados, foi utilizada a seguinte relação para o cálculo dos desvios:

$$Desvio = 100 \cdot \left(\frac{Exp - Sim}{Sim} \right) \quad (5)$$

Onde:

- Desvio: desvio ponderado relativo a cada parâmetro, %
- Exp: valor experimental, obtido no modelo ajustado
- Sim: valor simulado no programa PAPCKEB

O critério adotado para a avaliação da aceitabilidade dos desvios, para cada parâmetro, foi estabelecido conforme representado na Tabela 5.2, a seguir.

Tabela 5.2. Critério adotado para a avaliação da qualidade das simulações.

Parâmetro	Unidade	Limite máximo para o desvio (%)
R_s	%	± 5
R_f	%	± 10
d_{50cor}	μm	± 10
α	Adimensional	± 20
d_{95}	μm	± 10
d_{80}	μm	± 10

Neste trabalho, os valores admitidos como satisfatórios para os desvios relativos a cada parâmetro refletem as variações consideradas aceitáveis para uma operação de ciclonagem.

5.2.1. Balanço de massas

Na Tabela 5.3, a seguir, são apresentados os resultados dos balanços de massas simulados e experimentais, detalhando:

- As concentrações de sólidos, na alimentação, “overflow” e “underflow”;
- A recuperação em massa, em relação à massa total alimentada – R_s e;
- A recuperação de água, em relação ao total de água alimentada – R_f .

Tabela 5.3. Balanço de massas. Simulações prévias e resultados dos ensaios para minério de ferro.

Ensaio n.º	Ciclone	Simulação prévia					Resultado dos ensaios				
		C_w (%)			R_s (%)	R_f (%)	C_w (%)			R_s (%)	R_f (%)
		Alim.	OF	UF			Alim.	OF	UF		
1	Padrão *	62,5	47,3	80,0	59,5	24,8	62,2	49,7	80,8	52,2	20,4
	Altern **	62,5	42,5	80,0	68,2	28,4	62,2	43,5	80,9	64,9	25,2
2	Padrão	62,5	47,3	80,0	59,5	24,8	66,4	54,2	80,4	56,5	27,3
	Alternativo	62,5	45,3	80,0	63,5	26,5	66,5	51,2	80,9	62,7	29,4
3	Padrão	62,5	47,3	80,0	59,5	24,8	67,2	53,3	80,5	61,3	30,5
	Alternativo	62,5	45,3	80,0	63,5	26,5	67,3	52,5	80,4	63,3	31,7
4	Padrão	62,5	47,3	80,0	59,5	24,8	66,8	56,8	80,7	50,6	24,4
	Alternativo	62,5	42,5	80,0	68,2	28,4	66,8	51,7	80,4	63,2	30,9
5	Padrão	62,5	47,3	80,0	59,5	24,8	65,5	50,8	79,7	62,0	29,9
	Alternativo	62,5	42,5	80,0	68,2	28,4	65,5	49,9	79,5	64,0	31,3
6	Padrão	62,5	47,3	80,0	59,5	24,8	62,3	47,7	78,9	59,2	26,2
	Alternativo	62,5	45,3	80,0	63,5	26,5	62,3	45,8	79,0	63,0	27,7

* Padrão: ciclone da operação quotidiana da usina, modelo D26B-1086

** Altern: ciclone alternativo, instalado especialmente para os ensaios, modelo DS26-gMAX

Com base nos valores listados na Tabela 5.3, foram calculadas as médias e os desvios para as recuperações de sólidos e de água, conforme apresenta a Tabela 5.4.

Tabela 5.4. Valores médios e desvios obtidos no cálculo das recuperação de sólidos e água, nas simulações prévias e nos ensaios.

Ciclone	R _s (%)		R _f (%)		Desvio – R _s (%)	Desvio – R _f (%)
	Simulado	Experimental	Simulado	Experimental		
Padrão	59,5	57,0	24,8	26,4	- 4,2	- 3,6
Alternativo	65,9	63,5	27,5	29,4	+ 6	+ 7

Da análise dos resultados da Tabela 5.4, observou-se que 100% dos desvios obtidos para as recuperações de sólidos situaram-se no intervalo de $\pm 5\%$, estabelecido como aceitável para a análise deste parâmetro.

Analogamente, 100% dos desvios obtidos pela comparação das recuperações de água situaram-se no intervalo de $\pm 10\%$, admitido como aceitável.

5.2.2. Ajuste da curva de partição

Uma vez determinado o balanço de massas referente a cada ensaio, passou-se a analisar os parâmetros relativos ao ajuste das curvas de partição: o diâmetro mediano de partição (d_{50cor}) e o α , associado à sua inclinação.

Também foram obtidos os valores d_{95} e d_{80} , uma vez que estes são obtidos em função da curva de partição.

Na Tabela 5.5, mostrada a seguir, são apresentados os resultados dos valores d_{50cor} , d_{80} e d_{95} , simulados e experimentais.

Tabela 5.5. Valores d_{50cor} , d_{80} e d_{95} , simulados e experimentais.

Ciclone	Parâmetro		Ensaio n.º					
			1	2	3	4	5	6
Padrão	d_{50cor}	Simulado	123	123	123	123	123	123
		Experimental	127	146	156	218	137	141
	d_{80}	Simulado	123	123	123	123	123	123
		Experimental	105	127	157	164	148	132
	d_{95}	Simulado	188	188	188	188	188	188
		Experimental	167	203	258	280	227	208
Altern.	d_{50cor}	Simulado	92	108	108	92	92	108
		Experimental	85	117	146	122	120	122
	d_{80}	Simulado	97	111	111	97	97	111
		Experimental	95	130	165	147	157	128
	d_{95}	Simulado	150	175	175	150	150	175
		Experimental	161	212	281	236	250	206

Na Tabela 5.6, a seguir, são apresentados os valores dos parâmetros α simulados e experimentais.

Tabela 5.6. Valores de α simulados e experimentais – Minério de ferro.

Ensaio n.º	Ciclone padrão		Ciclone alternativo	
	α simulado	α experimental	α simulado	α experimental
1	3,0	2,2	3,0	1,2
2	3,0	1,7	3,0	0,87
3	3,0	0,75	3,0	0,48
4	3,0	0,73	3,0	0,67
5	3,0	1,1	3,0	0,57
6	3,0	1,4	3,0	1,2

A Tabela 5.7, a seguir, apresenta as médias aritméticas e os desvios calculados, para os parâmetros d_{50cor} , d_{80} , d_{95} e α , simulados e experimentais.

Tabela 5.7. Valores médios e desvios obtidos para os parâmetros d_{50cor} , d_{80} , d_{95} e α simulados e experimentais, para os ensaios com minério de ferro.

Parâmetro		Padrão	Alternativo
d_{50cor}	Média – simulado	123	100
	Média – experimental	154	119
Desvio (%)		+ 25	+ 19
d_{80}	Média – simulado	123	104
	Média – experimental	139	137
Desvio (%)		+ 13	+ 32
d_{95}	Média – simulado	188	162
	Média – experimental	224	224
Desvio (%)		+ 19	+ 37
α	Média – simulado	3,0	3,0
	Média – experimental	1,3	0,83
Desvio (%)		- 57	- 72

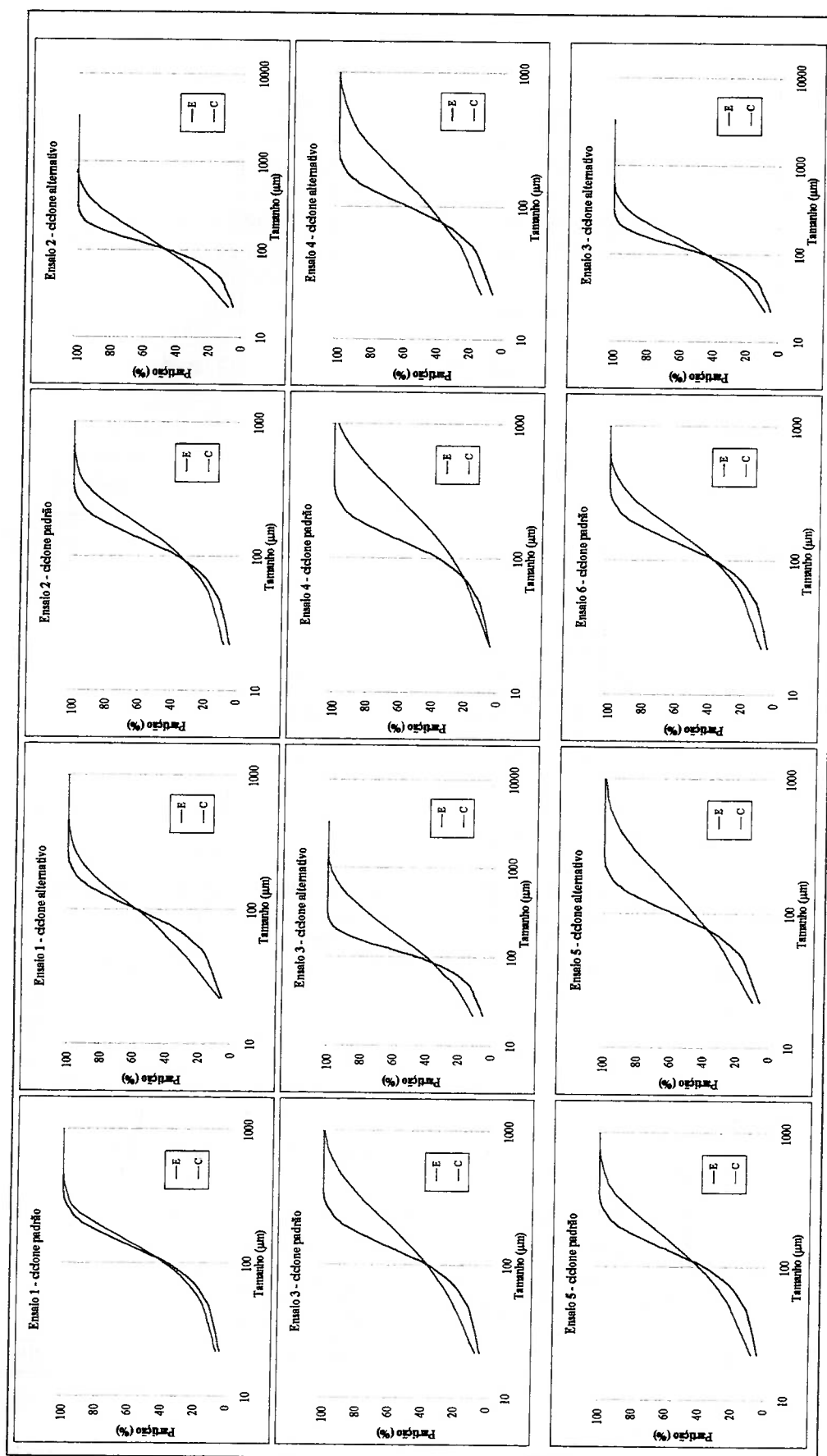
Da análise dos resultados mostrados na Tabela 5.7, observou-se que os desvios oriundos da comparação situaram-se fora das faixas estabelecidas como aceitáveis.

Portanto, todos os desvios foram considerados inadequados.

5.2.3. Curvas de partição corrigidas

A partir dos resultados simulados e experimentais dos parâmetros d_{50cor} e α , foram elaboradas as curvas de partição comparativas, apresentadas na Figura 5.1, a seguir.

Os resultados simulados originaram as curvas de partição estimadas, através das simulações prévias, no programa PAPCKEB, enquanto os experimentais geraram as curvas de partição calculadas, a partir dos dados experimentais, parametrizados no programa JKSimMet.



E – curva de partição estimada (simulada) C – curva de partição calculada (experimental)

Figura 5.1. Curvas de partição corrigidas, simuladas e experimentais, para cada ensaio de minério de ferro.

5.3. Análise do método de dimensionamento proposto por Arterburn

O método de dimensionamento de ciclones, proposto por Arterburn (1982), estabeleceu fórmulas para o cálculo dos valores d_{50cor} , d_{80} e d_{95} .

Entretanto, não se conhece trabalho publicado que ratifique a validade das relações acima referidas.

No presente trabalho, os dados experimentais, considerados consistentes de acordo com os critérios estabelecidos, foram empregados para analisar este método.

5.3.1. Cálculo dos valores d_{50cor} , d_{80} e d_{95}

As fórmulas para o cálculo dos valores d_{50cor} , d_{80} e d_{95} encontram-se representadas abaixo:

$$d_{50cor} = d_{50base} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \quad (6)$$

$$d_{95} = 2,2 \cdot d_{50} \quad (7)$$

$$d_{80} = 0,8 \cdot d_{50} \quad (8)$$

Onde:

- d_{50cor} : diâmetro mediano de partição corrigido, μm
- d_{50base} : diâmetro mediano de partição básico, μm
- C_1 : fator de correção relativo à concentração de sólidos na alimentação, adimensional
- C_2 : fator de correção relativo à queda de pressão no interior do ciclone, adimensional
- C_3 : fator de correção relativo ao peso específico dos sólidos, adimensional
- d_{95} : diâmetro pelo qual passam 95% das partículas do "overflow", μm
- d_{80} : diâmetro pelo qual passam 80% das partículas do "overflow", μm

A Tabela 5.8, a seguir, apresenta os valores d_{50cor} , d_{80} e d_{95} experimentais e calculados a partir do método de Arterburn.

Tabela 5.8. Valores d_{50cor} , d_{80} e d_{95} experimentais e calculados segundo Arterburn.

Ensaio n.º	Ciclone	d_{50cor} (μm)		d_{80} (μm)		d_{95} (μm)	
		Arterburn	Exp	Arterburn	Exp	Arterburn	Exp
1	Padrão	94	127	75	105	207	167
	Alternativo	94	85	75	95	207	161
2	Padrão	122	146	98	127	268	203
	Alternativo	122	117	98	130	268	212
3	Padrão	132	156	106	157	290	258
	Alternativo	132	146	106	165	290	281
4	Padrão	127	218	102	164	279	280
	Alternativo	127	122	102	147	279	236
5	Padrão	114	137	91	148	251	227
	Alternativo	114	120	91	157	251	250
6	Padrão	95	141	76	132	209	208
	Alternativo	95	122	76	128	209	206

A Tabela 5.9, a seguir, apresenta a comparação entre as médias aritméticas dos valores d_{50cor} , d_{80} e d_{95} experimentais e calculados pelo método de Arterburn.

Também foram calculados os desvios, de acordo com a equação 5, sendo o valor simulado aquele calculado segundo Arterburn.

Tabela 5.9. Valores médios e desvios obtidos para os parâmetros d_{50cor} , d_{95} e d_{80} experimentais e calculados segundo o método de Arterburn.

Média aritmética	Minério de ferro	
	D26B-1086	DS26-gMAX
d_{50cor} Arterburn	114	114
d_{50cor} experimental	154	119
d_{80} Arterburn	91	91
d_{80} experimental	139	137
d_{95} Arterburn	251	251
d_{95} experimental	224	224
Desvio – d_{50cor} (%)	+ 35	+ 4
Desvio – d_{80} (%)	+ 53	+ 51
Desvio – d_{95} (%)	- 11	- 11

Da análise dos resultados mostrados na Tabela 5.9, observou-se que os desvios oriundos da comparação entre os valores d_{50cor} , d_{80} e d_{95} experimentais e calculados pelo método de Arterburn foram inadequados.

Com relação ao parâmetro d_{50cor} , em 50% dos casos, os desvios apresentaram-se maiores que o limite de + 10%, estabelecido como aceitável na análise.

Já para os parâmetros d_{80} e d_{95} , na totalidade dos casos, os desvios situaram-se acima do limite de + 10%, estabelecido como aceitável na análise.

5.4. Discussão dos resultados

Das tabelas e figuras anteriormente expostas, elaboradas para a análise dos parâmetros fundamentais para a caracterização do desempenho da operação de ciclonagem, pôde-se observar que somente no caso do balanço de massas, os desvios obtidos pela comparação entre os valores simulados e experimentais foram satisfatórios.

Para os demais parâmetros, os valores obtidos mostraram-se, quase que na totalidade, fora dos intervalos de desvio estabelecidos como aceitáveis.

A simples observação das curvas de partição corrigidas, apresentadas na Figura 5.1, demonstra claramente estas diferenças.

Tal constatação demonstra a dificuldade de estimação de alguns parâmetros, como o α , e de cálculo prévio de outros, como os valores d_{50cor} , d_{95} e d_{80} , através de simulações em programas ou do método de Arterburn.

Para operações de análise extremamente complexa, como a ciclonagem, a avaliação do desempenho através de programas de simulação, sem a comprovação prática através de ensaios experimentais, representa tarefa bastante árdua.

Em algumas aplicações, mesmo onde se disponham de dados de operações similares, os valores simulados e experimentais tendem a apresentar diferenças, muitas vezes extremamente significativas à análise do desempenho do ciclone.

Portanto, para a real comprovação do desempenho de ciclones, torna-se útil a realização de ensaios experimentais, seja em escala industrial, seja em usinas-piloto.

6. CONCLUSÕES

Com base no tratamento de dados e nas análises efetuadas, concluiu-se que:

- Os resultados obtidos nas simulações prévias foram inadequados, quando comparados com os experimentais, pois:
 - Somente aqueles referentes às recuperações de sólidos e água apresentaram desvios aceitáveis;
 - Para os parâmetros d_{50cor} , d_{80} , d_{95} e α , em todos os ensaios, os valores se apresentaram fora das faixas de desvios aceitáveis.
- O método de dimensionamento proposto por Arterburn não se mostrou apropriado para o cálculo prévio dos parâmetros analisados, pois:
 - Para o diâmetro mediano de partição, somente em 50% dos casos, os valores calculados situaram-se dentro dos limites aceitáveis;
 - Para os valores d_{80} e d_{95} , na totalidade dos casos, os desvios situaram-se fora das faixas limite, estabelecidas como aceitáveis.

Esta foi considerada a principal conclusão deste trabalho, por ser este método um dos mais empregados em dimensionamentos e projetos preliminares.

- Face às significativas diferenças apresentadas entre os resultados simulados e experimentais, há a necessidade da execução de ensaios, para a maior confiabilidade da análise de operações de ciclonagem.
- Das conclusões acima enumeradas, pode ser feita a seguinte recomendação:
- Os programas de simulação e os métodos de cálculo prévios, como o proposto por Arterburn, apesar de representarem importante recurso de auxílio em etapas preliminares do projeto, devem ser utilizados de forma cuidadosa, evitando-se incoerências de avaliação e a sua supervalorização;

LISTA DE REFERÊNCIAS

- ARTERBURN, R. A. The sizing and selection of hydrocyclones. In: MULAR, A. L.; JERGENSEN II, G. V. **Design and Installation of Comminution Circuits**. New York, SME/AIME, 1982. p. 592-607.
- CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. São Paulo: Signus Editora, 1996. p. 151-235: Classificação.
- DELBONI JUNIOR, H. **Ajuste de modelos empíricos de operação de ciclones**. 1989. 182 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- LYNCH, A. J.; RAO, T. C. Modelling and scale-up of hydrocyclone classifiers. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 11., Cagliari, 1975. **Proceedings**. Cagliari: Instituto di Arte Mineraria, 1975. p. 245-269.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PMI/001 - Características Geométricas da Escavação Mecânica em Mineração: Exemplo de Escavadora de Caçamba de Arraste - ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/002 - Prospecção Geoquímica Experimental na Ocorrência de Ouro Tapera Grande - PAULO BELJAVSKIS, HELMUT BORN
- BT/PMI/003 - Estudo de Processo de Dupla Flotação visando o Beneficiamento do Minério Carbonático de Fosfato de Jacupiranga - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/004 - Desenvolvimento de um Equipamento Não-Convencional em Beneficiamento Mineral: A Célula Serrana de Flotação Pneumática - RICARDO NEVES DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/005 - Ajuste de Modelos Empíricos de Operação de Ciclones - HOMERO DELBONI JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/006 - Contribuição ao Estudo dos Explosivos Permissíveis - AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/007 - Contribuição ao Dimensionamento de Pilares em Minas Subterrâneas de Manganês - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/008 - Exploração Mineral: Conceitos e Papel do Estado - LUIZ AUGUSTO MILANI MARTINS, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/009 - Otimização do Projeto de Pátios de Homogeneização através do Método da Simulação Condicional - FLAVIO MOREIRA FERREIRA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/010 - Considerações Gerais sobre Desmonte de Rocha: Análise de Custo - Índice de Produtividade e Otimização da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/011 - Aglomeração de Rejeitos de Fabricação de Brita para sua Reciclagem - ARTHUR PINTO CHAVES, BRADDLEY PAUL
- BT/PMI/012 - Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios - FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/013 - Processo de Beneficiamento para Obtenção de uma Carga Mineral Nobre a partir do Fosfogesso - WALTER VALERY JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/014 - Estudo da Carboxi-Metil-Celulose como Aglomerante para Pelotização - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/015 - A Influência do Amido de Milho na Eficiência de Separação Apatita/Minerais de Ganga Via Processo Serrana - LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/016 - Beneficiamento de Criolita Natural - Estado da Arte - HENRIQUE KAHN, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/017 - Estudo da Variação do Índice Energético Específico - W_i , segundo a Granulometria do Ensaio, Obtida através de um Moinho de Bolas Padrão, em Circuito Fechado - MARIO SHIRO YAMAMOTO, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/018 - Fluorita - FERNANDO FUJIMURA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/019 - O Aproveitamento de Recursos Minerais: Uma Proposta de Abordagem a Nível Nacional - CELSO PINTO FERRAZ, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/020 - Comparação de duas Metodologias - A de Bieniawski e a de Panek, para Dimensionamento de Tirantes em Galerias Subterrâneas de Seção Retangular em Camadas Estratificadas - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/021 - Caracterização de Maciços Rochosos através de Envolvimentos de Resistência por Tratamento Estatístico utilizando Dados de Laboratório do IPT Simulando Condições Geotécnicas do Maciço - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/022 - Avaliação de Impactos Ambientais na Mineração de Combustíveis Fósseis Sólidos - GILDA CARNEIRO FERREIRA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/023 - O Lado Nocivo do Elemento Quartzo no Desgaste Abrasivo de Mandíbula de Britadores - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/024 - Conceitos Básicos de Iluminação de Minas Subterrâneas - SÉRGIO MEDICI DE ESTON, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/025 - Sistema Computadorizado para Ajuste de Balanço de Massas e Metalúrgico - ANTONIO CARLOS NUNES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/026 - Caracterização Mineralógica/Tecnológica das Apatitas de alguns Depósitos Brasileiros de Fosfato - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN
- BT/PMI/027 - Classificação de Maciços quanto à Escarificabilidade - GUILHERME DE REZENDE TAMMERIK, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, LINDOLFO SOARES

- BT/PMI/028 - Análise Comparativa de Métodos de Amostragem de Depósitos Auríferos - FÁBIO AUGUSTO DA SILVA SALVADOR, HELMUT BORN
- BT/PMI/029 - Avaliação da Qualidade de Corpos Moedores para o Minério Fosfático de Tapira - MG - GERALDO DA SILVA MAIA, JOSÉ RENATO B. DE LIMA
- BT/PMI/030 - Contribuição ao Estudo da Cominação Inicial à Partir da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/031 - Análises Químicas na Engenharia Mineral - GIULIANA RATTI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/032 - Usos Industriais da Atapulga de Guadalupe (PI) - SALVADOR LUIZ MATOS DE ALMEIDA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/033 - Minerais Associados às Apatitas: Análise de sua Influência na Produção de Ácido Fosfórico e Fertilizantes Fosfatados - ROBERTO MATTIOLI SILVA, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/034 - Beneficiamento dos Caulins do Rio Capim e do Jari - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/035 - Dimensionamento de Suportes em Vias Subterrâneas - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/036 - Estudos da Modelagem Matemática da Moagem com Seixos para Talco de Diversas Procedências - MARIO VALENTE POSSA, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/037 - Mecânica de Rochas Aplicada ao Dimensionamento do Sistema de Atirantamento em Minas Subterrâneas - LEONCIO TEÓFILO CARNERO CARNERO
- BT/PMI/038 - Geometria de Minas a Céu Aberto: Fator Crítico de Sucesso da Indústria Mineral - FÁBIO JOSÉ PRATI, ANTÔNIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/039 - Substituição do Aço por Polímero e Compósitos na Indústria Automobilística do Brasil: Determinantes e Consequências para o Mercado de Minério de Ferro - WILSON TRIGUEIRO DE SOUSA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, ANTONIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/040 - Aplicação de uma Metodologia que Simule em Moinho de Laboratório Operações Contínuas de Moagem com Seixos para Talco - REGINA COELI CASSERES CARRISSO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/041 - A Indústria Extrativa de Rochas Ornamentais no Ceará - FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/042 - A Produção de Fosfato no Brasil: Uma Apreciação Histórica das Condicionantes Envolvidas - GILDO DE A. DE SÁ C. DE ALBUQUERQUE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/043 - Flotação em Coluna - Estado de Arte - JULIO CESAR GUEDES CORREIA, LAURINDO SALIES LEAL FILHO
- BT/PMI/044 - Purificação de Talco do Paraná por Flotação e Alvejamento Químico - IVAN FALCÃO PONTES, LAURINDO SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/045 - Pequena Empresa - A Base para o Desenvolvimento da Mineração - GILSON EZEQUIEL FERREIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/046 - Máquinas de Flotação - ROGÉRIO CONTATO GUIMARÃES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/047 - Aspectos Tecnológicos do Beneficiamento do Carvão de Candiota (RS) - ANTONIO RODRIGUES DE CAMPOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/048 - Efeito das Dimensões de Provetas no Dimensionamento de Espessadores - ELDON AZEVEDO MASINI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/049 - Água no Processamento Mineral - RODICA MARIA TEODORESCU SCARLAT, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/050 - Drenagens Ácidas do Estéril Piiritoso da Mina de Urânio de Poços de Caldas: Interpretação e Implicações Ambientais - VICENTE PAULO DE SOUZA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/051 - "Caracterização Tecnológica de Minérios Auríferos. Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Jazida de Salamangone, AP." - MARIA MANUELA MAIA LÉ TASSINARI, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/052 - Ensino de Engenharia de Minas - WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/053 - Redistribuição de Tensões e Desenvolvimento da Zona Clástica em Túneis Circulares - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/054 - Projeto de Barragem para Reservação de Mistos de Minerais Pesados Rejeitados pelo Beneficiamento de Cassiterita na Mina do Pitinga - MARCELO PIMENTEL DE CARVALHO, EDER DE SILVIO, LINDOLFO DE SILVIO
- BT/PMI/055 - A Segurança e a Organização do Trabalho em uma Mineração Subterrânea de Carvão da Região de Criciúma - Santa Catarina - DORIVAL BARREIROS, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/056 - Diagnóstico de Lixiviação para Minérios de Ouro - VANESSA DE MACEDO TORRES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/057 - O Estado da Arte em Tratamento de Minérios de Ouro - RONALDO DE MOREIRA HORTA, ARTHUR PINTO CHAVES

- BT/PMI/058 - Vias Subterrâneas em Rocha - Escavação por Explosivos - WILDOR THEODORO HENNIES, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/059 - Aumento da Seletividade na Separação da Fluorita/Calcita/Barita/Apatita por Flotação. Jazida de Mato Preto - PR - MONICA SPECK CASSOLA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMC/060 - Desenvolvimento de Processo para Extração de Gálio do Licor de Bayer por Resinas de Troca-Iônica de Poli (Acrilamidoxima) - WALDEMARA VITTSCHER, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/061 - Estudo de Aspectos Geomecânicos Aplicados ao Projeto de Minas Subterrâneas - EDUARDO CÉSAR SANSONE, LINEU A. AYRES DA SILVA
- BT/PMI/062 - Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo - OMAR YAZBEK BITAR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/063 - Avaliação Técnica dos Processos de Cianetação/Adsorção da Mina de Fazenda Brasileiro - ÁUREA MARIA DIAS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/064 - A Nova Configuração da Indústria de Fertilizantes Fosfatados no Brasil - YARA KULAIF, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/065 - Estudos de Flotação em Coluna com Finos de Fosfato da Ultrafertil em Escala Piloto - JOSÉ PEDRO DO NASCIMENTO, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/066 - Flotação da Apatita da Jazida de Tapira - MG - LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO - LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/067 - Minerais Industriais: Conceituação, Importância e Inserção na Economia - FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/068 - Atividades Micro-Sísmicas e a Ruptura de Rochas - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/069 - Metodologia para Caracterização Tecnológica de Matérias Primas Minerais - LÍLIA MASCARENHAS SANT'AGOSTINO, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/070 - Aplicação de Modelos Numéricos ao Projeto de Escavação por Explosivos de Túneis e Galerias - LUIZ CARLOS RUSILO, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/071 - O Estado da Arte da Cianetação de Minérios Auríferos - ROBERTO GOULART MADEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/072 - Revisão da Indústria Mineral de Titânio - ANTÔNIO HELENO DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/073 - Sistematização de Casos de Instabilidades em Encostas Rochosas no Município de Santos, Através de Nova Metodologia de Avaliação de Estabilidade - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/074 - A Minero-Metalurgia e suas Ligações com a Geologia e suas Engenharias de Minas, Metalúrgica e Química - RICARDO ALVARES DE CAMPOS CORDEIRO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/075 - A Redução da Umidade de Minérios de Ferro com o Emprego de Microondas - FERNANDO LEOPOLDO VON KRÜGER, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/076 - Estimação de Parâmetros do Modelo Cinético de Moagem - CLÁUDIO FERNANDES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMC/077 - A Bauxita e a Indústria do Alumínio - JOSÉ CRUZ DO CARMO FLÓRES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMC/078 - Técnicas de Tratamento de Minérios para Reciclagem de Vidro - CLEUSA CRISTINA BUENO MARTHA DE SOUZA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/079 - Comparação entre Cylpebs e Bolas na Moagem Secundária da Samarco Mineração - JOAQUIM DONIZETTI DONDA, ANTONIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/080 - Calcários Dolomíticos da Região de Ouro Preto para usos na Metalurgia e como Rochas Ornamentais - MARCÍLIO DIAS DE CARVALHO, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/081 - Estudo de Reoxidação e Redução de Ferro Contido em Caulins - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/082 - Recuperação do Gálio Existente no Licor de Bayer de Poços de Caldas por Flotação Iônica: Estudo dos Coletores - ANA MARGARIDA MALHEIRO SANSÃO, LAURINDO DE SALLES LEAL
- BT/PMI/083 - Contribuição ao Conhecimento de Argilas de Cuba - GUILLERMO RUPERTO MARTÍN CORTÉS, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/084 - Determinação da Rugosidade da Superfície de Descontinuidades Rochosas - JOSÉ MARGARIDA DA SILVA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/085 - Serragens de Granitos para Fins Ornamentais - ANTONIO STELLIN JR
- BT/PMI/086 - Evolução Magmática e Modelo Metalogenético dos Granitos Mineralizados da Região de Pitinga, Amazonas, Brasil - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN

- BT/PMI/087 – Considerações sobre o Dimensionamento de Equipamentos de Carga e Transporte em Mineração a Céu Aberto – IESO DO COUTO COUTINHO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, GIORGIO FRANCESCO CESARE DE TOMI
- BT/PMI/088 – Tratamento do Minério de Transição de Cobre e Ouro de Igarapé Bahia, Carajás, PA – DACILDO RODRIGUES DE SOUZA, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/089 – Variáveis que Interferem nos Problemas Ambientais Gerados Durante os Desmontes de Rochas – VALDIR COSTA E SILVA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/090 – Caracterização Mineralógica do Minério de Cobre e Ouro Secundário de Igarapé Bahia – LUIS RODRIGUES ARMÔA GARCIA, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/091 – O Topázio na Região de Ouro Preto: Minas do Vermelhão e Capão do Lana – JAIR MAZON JÚNIOR, HELMUT BORN
- BT/PMI/092 – A Mineralização Aurífera de Fazenda Brasileiro – BA Aspectos Geológicos e Planejamento de Lavra – MARCO ANTONIO DE MORAES SILVA, HELMUT BORN
- BT/PMI/093 – Estudo dos Mecanismos de Adsorção em Meio Ácido dos Metais Chumbo e Zinco em uma Turfa de Jaconé – RJ – MARIA DIONÍSIA COSTA DOS SANTOS, LAURINDO DE SALLES LEAL
- BT/PMI/094 – Cartografia de Riscos Geológicos Associados a Escorregamentos no Município de Embu – RMSP – CÉLIA MARIA GARIBLADI, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/095 – Revisão da Teoria para Projeto de Taludes Heterogêneos em Minas a Céu Aberto – FLÁVIO MOREIRA FERREIRA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/096 – Estratégias para Remediação de um Sítio Contaminada por Metais Pesados: Estudo de Caso – JOSÉ ÂNGELO SEBASTIÃO ARAUJO DOS ANJOS, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/097 – Estudo dos Elementos Abrasivos de Fios Diamantados para a Lavra de Granitos do Ceará – FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/098 – Caracterização Mineralógica do Depósito de Terras no Complexo Alcalino – Carbonatítico de Barra do Itapirapuã (SP/PR) – Área de Detalhe I – Maria de Lourdes Lorenzi, Henrique Kahn
- BT/PMI/099 – Considerações sobre a Seleção de Equipamentos para o Transporte de Minérios – ALEXANDRE DE SANT'ANNA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/100 – Desgaste Abrasivo em Britadores de Mandíbulas – NILSON MAR BARTALINI, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/101 – Viabilidade do Emprego de Finos de Basalto em Concreto Compactado a Rolo – KLEBER DA SILVA MENDES, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/102 – Sistema Especialista para o Processamento de Minérios de Ouro – VANESSA DE MACEDO TORRES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/103 – Desenvolvimento de Eletrodos de Pasta de Carbono Modificados com a Resina Poliamidoxima (ES-346) para a Determinação Potenciométrica de Gálio – MARCO ROGÉRIO BARRIOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/104 – Desenvolvimento de Processo para o Aproveitamento do Feldspato Contido em Finos de Pedreira de Nefelina Sienito – PAULO FERNANDO ALMEIDA BRAGA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/105 – Os Recursos Minerais e a Economia Internacional: Uma Reavaliação das Teorias – FRANCISCO REGO CHEVES FERNANDES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/106 – Importância dos Aspectos Geológico-Geotécnicos em Obras Implantadas na Serra do Mar – Uma Metodologia de Manutenção Preventiva – ORIOVALDO CUNHA MARTINEZ, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/107 – Lixiviação e Adsorção em Fazenda Brasileiro – CVRD: Uma Questão de Produtividade – ÁUREA MARIA DIAS GOMES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/108 – Análise Quantitativas por Difração de Raios-X em Engenharia Mineral – Aplicação dos Métodos de Rietveld e do Padrão Interno – GABRIELA CAMPOS FRONZAGLIA, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/109 – Avaliação das Principais Causas de Acidentes em Barragens de Contenção de Rejeitos Devido a Fatores Geológicos e Geotécnicos – FERNANDO IVAN VÁSQUEZ ARNEZ, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/110 – Problemas Relacionados a Tensões Naturais Durante a Lavra de Rochas Ornamentais – HUGO ANTONIO MERCONCHINI VEGA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/111 – Sistemas de Classificação na Análise da Estabilidade de Taludes em Maciços Brandos – ANDREA CRISTINA Y. DE MATTOS, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/112 – Metodologia para Amostragem de Material Particulado em Suspensão (MPS) – IVO TORRES DE ALMEIDA, SERGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/113 – Viabilização da Recuperação de Ouro de Minério Primário por Lixiviação em Pilha Mediante o uso de Britadores não Convencionais: Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Mina de Almas-Paiol, TO – SALOMÃO SOLINO EVELIN, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/114 – Aplicação de Aditivos Químicos à Filtragem de Polpas de Minerais – LUIZ GUSTAVO ESTEVES PEREIRA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/115 – Proposta de Gerenciamento Ambiental de uma Área Degradada nos Municípios de Mauá e Ribeirão Pires – Região Metropolitana de São Paulo – ÁLVARO GUTIERREZ LOPEZ, LUIZ ENRIQUE SÁNCHEZ

- BT/PMI/116 – Experiência de Gerenciamento da Reforma e Adequação de um Moinho de Bolas de 4000 HP para nova Aplicação – AROLDO DUTRA GARCIA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/117 – Efeitos da Viscosidade no Processo de Deslamagem com Microciclones em Polpa Não-Newtoniana de Rocha Fosfática – MARIO VALENTE POSSA, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/118 – Caracterização Tecnológica de Depósitos de Cromita da Província de Camagüey, República de Cuba – JULIÁN ANDRÉS MÉNDEZ GARCÉS, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/119 – Garimpo de Ouro no Brasil: Desafios da Legalização – MARIA LAURA TAVEIRA DA MOTA GERALDES DE CARVALHO BARRETO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/120 – Contribuição ao Projeto de Reatores de Ácido Fosfórico para Processamento de Concentrados Apatíticos Brasileiros – ROBERTO MATTIOLI SILVA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/121 – Lixiviação em Pilhas de Minérios Oxidados de Cobre – GEYSA SANTOS DE PONTES PEREIRA, ELTON AZEVEDO MASINI
- BT/PMI/122 – Produção de Agregado como Alternativa para Produtores de Corretivo de Solo da Grande Curitiba – PLÍNIO CRISTIANO CAMBOIM DE OLIVEIRA, ANTÔNIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/123 – A Competitividade da Mineração Nacional com Ênfase no Minério de Ferro – GILSON EZEQUIEL FERREIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/124 – Aplicação de Turfa na Recuperação de Solos de Degradados pela Mineração de Areia – JOSÉ GUILHERME FRANCHI, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/125 – Aproveitamento de Materiais Fosfáticos Marginais para a Produção de Fertilizantes Organo-Fosfatados – CARLOS ALBERTO IKEDA OBA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/126 – Abordagem Participativa na Gestão de Recursos Minerais – CARLOS C. PEITER, ROBERTO C. VILLAS BÔAS
- BT/PMI/127 – A Importância dos Condicionantes Geológicos-Geotécnicos na Recuperação de Áreas Degradadas por Lavra de Minas a Céu Aberto – RICARDO DEGUTI DE BARROS SILVA, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/128 – Determinação de Indicadores de Impactos Ambientais Cumulativos Decorrentes da Mineração de Areia no Vale do Paraíba Através de Geoprocessamento – EDER LUIZ SANTO, LUIS HENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/129 – Tecnologia de Corte de Rocha Ornamental com Fio Helicoidal – FERNANDO FUJIMURA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/130 – Diagnóstico da Degradação do Meio Físico e Proposição de Medidas de Recuperação em Áreas de Mineração Abandonadas na Bacia do Guarapiranga, Região Metropolitana de São Paulo – MARIA MARTA TEIXEIRA VASCONCELOS, LUIS ENRIQUE SANCHEZ
- BT/PMI/131 – A Integração Competitiva do Setor Mineral Brasileiro no Cenário Internacional Estudo de Caso: O Setor de Aços Especiais Inoxidáveis – MANOEL RODRIGUES NEVES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/132 – Contribuição à Implantação de um Novo Pólo de Fertilizantes no Nordeste do Brasil – GILDO DE ARAÚJO SÁ C. DE ALBUQUERQUE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/133 – Metodologia Construtiva do Poço de Produção da Mina Fazenda Brasileiro – LEONCIO TEÓFILO CARNERO CARNERO, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/134 – Aproveitamento de Finos Gerados nas Ferragens de Mármore e Granitos – IVAN FALCÃO PONTES, ANTÔNIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/135 – Aspectos Hidrodinâmicos na Flotação de Partículas Grossas – WENDEL JOHNSON RODRIGUES, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/136 – Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras de Santo Antônio de Pádua – RJ para Produção de Brita e Areia – SALVADOR LUIZ DE MATOS DE ALMEIDA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/137 – Análise Crítica do Desenvolvimento de Processos de Cianetação em Tanques Agitados – RINALDO PEDRO NARDI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/138 – A Utilização de Finos de Pedreira em Solo-Cimento Ensacado – EDILSON PISSATO, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/139 – Dessulfuração de Finos de Carvão de Santa Catarina por Concentradores Centrífgos – ANTÔNIO RODRIGUES DE CAMPOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/140 – Estereoquímica de Polissacarídeos e sua Influência na Seletividade da Separação Apatita/Calcita por Flotação Aniônica Direta – JULIO CESAR GUEDES CORREIA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/141 – Avaliação do Desempenho Ambiental – Proposta Metodológica e Diretrizes para Aplicação em Empreendimentos Cíveis e de Mineração – FRANCISCO NOGUEIRA DE JORGE, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/142 – Formação de Barreira Geoquímica para o Abatimento de Drenagens Ácidas de Estéril Piritoso – VICENTE PAULO DE SOUZA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/143 – Técnicas de Preparação de Areia para uso na Construção Civil – WILLIAM WHITAKER, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/144 – Inovação Tecnológica e Setores da Indústria: O Contexto da Indústria Extrativa e de Transformação Mineral – MARIA HELENA MACHADO ROCHA LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

- BT/PMI/145 – Determinação e Análise Estatística dos Índices Físicos de Pedras Ornamentais Brasileiras – ANTONIO STELLIN JUNIOR, EDUARDO CESAR SANSONE, MARIA RENATA MACHADO STELLIN
- BT/PMI/146 – Avaliação de Impacto Ambiental de Projetos de Mineração n Estado de São Paulo: A Etapa de Acompanhamento – ELVIRA GABRIELA C. S. DIAS, LUIS E. SÁNCHEZ
- BT/PMI/147 – Contribuição ao Estudo do Corte de Rochas por Jato D'Água Abrasivo – CARLOS TADEU LAUAND, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/148 – Competitividade na Exploração Mineral – Um Modelo de Avaliação – JOSÉ GUEDES DE ANDRADE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/149 – Caracterização Tecnológica do Depósito de Terras Raras de Catalão I, GO. Áreas: Córrego do Garimpo e Lagoa Seca – MARIA MANUELA MAIA LÉ TASSINARI, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/150 – Contribuição ao Método de Determinação do Índice de Abrasividade de Bond (A. i.) à Luz de Outros Materiais Metálicos – JOSÉ BRUNO NETO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/151 – Fabricação de Termofosfato Utilizando Fosfogesso – REYNALDO ARBUE PINI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/152 – Desenvolvimento de Tecnologia Eletrohidráulica Aplicada a Desmonte de Rochas em Áreas Urbanas – CARLOS MAGNO MUNIZ E SILVA, ANTONIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/153 – Novo Método de Caracterização Tecnológica para Cominuição de Minérios – ANA CAROLINA CHIEREGATI, HOMERO DELBONI JUNIOR
- BT/PMI/154 – Desenvolvimento de Processo do Projeto Rocha Sã em Pitíngã, AM – EDER DE SILVIO, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/155 - Aplicação dos Finos Gerados pela Produção de Pedras Britadas Graníticas no Concreto Pré-Misturado em Substituição às Areias Naturais – LIGIA NEVES, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/156 - Técnica de Simulação Numérica de Escavação Subterrânea por Computador - MÁRCIO DELCHIARO NIEBLE, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/157 - Jato de Água Abrasivo para Corte e Gravação de Materiais Friáveis – WILDOR THEODORO HENNIES, CARLOS TADEU LAUAND, GUILLERMO RUPERTO MARTÍN CORTÉS
- BT/PMI/158 – Desativação de Empreendimentos Mineiros: Estratégias para Diminuir o Passivo Ambiental – JOSÉ BAPTISTA DE OLIVEIRA JÚNIOR, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/159 – Previsão de Desempenho do Circuito de Moagem SAG da MSF a Partir do Índice de Quebra – FERNANDO KARAM DELBIM, HOMERO DELBONI JUNIOR
- BT/PMI/160 – A Poluição das Águas em Mineração de Calcário – MARCIA ADRIANI JORGE SIQUEIRA, SERGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/161 – Aplicação de Métodos Computacionais no Planejamento para Extração de Rocha Ornamental em Maciços Rochosos – MARCELO FILIPOV, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/162 – Proposições para Investigação de Parâmetros Controladores da Contaminação do Subsolo e das Águas Subterrâneas – MARILDA TRESSOLDI, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/163 – Fundamentos Teóricos para a Análise dos Mercados de Matérias-Primas Minerais – YARA KULAIF, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA