



CARACTERIZAÇÃO E PURIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE ARTESANATO EM PEDRA-SABÃO POR MÉTODOS FÍSICOS¹

Rosa Malena Fernandes Lima²

Michael Marques Rodrigues³

Renato de Souza Arantes⁴

Mayron Gustavo Dias Machado⁴

Resumo

Nesse trabalho são apresentados os resultados dos estudos de caracterização tecnológica e purificação de resíduos de pedra-sabão descartados por uma oficina de artesanato, que trabalha exclusivamente com rochas da região de Bandeiras de Santa Rita e Ouro Preto, que foram previamente caracterizadas. Foram efetuadas análises granulométrica, granuloquímica dos resíduos e ensaios de purificação, usando separação magnética de alta intensidade e mesa vibratória. Verificou-se a possibilidade da redução de cerca de 30% dos resíduos descartados, pois foram obtidos concentrados da fração granulométrica acima de 200# por separação magnética de alta intensidade com especificações para indústria de tintas e papel.

Palavras-chave: Pedra-sabão; Caracterização tecnológica; Aproveitamento de resíduos.

CHARACTERIZATION AND PURIFICATION OF SOAP STONE RESIDUES FROM HANDMADE WORKSHOP BY PHYSIC METHODS

Abstract

In this work are presented the results of technological characterization and purification tests carried out with a soap stone residue sample from a handmade workshop that works exclusively with rocks from Bandeiras region in Santa Rita de Ouro Preto, that were previously characterized. Size classification, chemical determination by size fraction of residues and after purification tests by magnetic and gravity (shaking table) methods of them were performed. It was verified the possibility to reduce about 30% of the discharged residues because were produced concentrates inside paint and paper industries specifications of the size fraction above 200# by magnetic concentration of high intensity.

Key words: Soap stone; Technological characterization; Residues recycle.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Dr^a., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/DEMIN/UFOP.

³ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/DEMIN/UFOP.

⁴ Estudantes do curso de Engenharia de Minas/DEMIN/UFOP.

1 INTRODUÇÃO

Na região de Bandeiras, localizada no distrito de Santa Rita, Município de Ouro Preto, existem diversas pedreiras de esteatito ou pedra-sabão, cuja rocha extraída é vendida em forma de blocos para países europeus e norte americanos. Nas operações de desmonte da rocha são gerados fragmentos menores, denominados de pontas, que são vendidos para o artesanato. Na Figura 1, são apresentadas fotos da Pedreira Bandeirantes, evidenciando as operações de perfuração da rocha para desmonte (a), do bloco extraído (b), do carregamento do mesmo em caminhão, que é efetuado por pá carregadeira (c) e dos fragmentos de menores dimensões (d), que são vendidos para o artesanato local.



Figura 1 – Operações de perfuração para desmonte (a), bloco para exportação (b), carregamento do caminhão para transporte do bloco desmontado (c) e pontas, que são utilizadas pelos artesãos (d).

No processo de fabricação de painéis e outros objetos de adorno pelos artesãos, somente 13% da rocha é “recuperada” com o descarte de 87% da pedra-sabão.⁽¹⁾ Na Figura 2 são apresentados o torno utilizado na fabricação e polimento das peças artesanais e o detalhe dos fragmentos gerados na operação, depositados próximo à oficina.



Figura 2 – Oficina de artesanato, evidenciando o forno (a) e resíduos gerados durante o processo de fabricação dos objetos (b).

As rochas talcosas são originadas de rochas calcáreas de origem sedimentar primitiva, ou de origem ultrabásica ígnea com teores de MgO e SiO₂ acima de 20 e 50%, respectivamente.⁽²⁾ Denomina-se pedra sabão à rocha constituída por 35% de talco e quantidades dos minerais clorita, quartzo, calcita, dolomita, magnesita, tremolita, anfibólio, piroxênio, hematita acima de 25%.⁽³⁾

O talco é um mineral industrial empregado na indústria cerâmica como fundente, na indústria de tintas, papel e borracha como carga. Podendo ser utilizado também em decoração. Obviamente para a utilização do mesmo em uma determinada aplicação industrial dependerá das especificações para tal aplicação. Veja na Tabela 1 abaixo as especificações de talcos para diversas aplicações industriais.

Lima, Silva e Braga⁽⁵⁾ efetuaram caracterização mineralógica de amostras de pedra-sabão de várias pedreiras da região de Bandeiras em Santa Rita de Ouro Preto. Os minerais identificados foram: talco, magnesita, dolomita, clorita, mica, tremolita/actinolita, serpentina, sulfetos (pirita, calcopirita, pentlandita), magnetita, hematita e outros.

Nesse trabalho são apresentados os resultados de caracterização e purificação de finos por métodos físicos de concentração de uma oficina de artesanato em pedra-sabão, que trabalha exclusivamente com rocha proveniente de uma pedreira da região de Bandeiras.

Tabela 1 – Especificações para os principais usos industriais do talco⁽⁴⁾

Usos	Granulometria (#)	Composição química	Alvura GE*	Mineralogia	Propriedades	Outros
Tintas (espalhador)	100% < 200 96,5% < 325	SiO ₂ +MgO≥75%; Al ₂ O ₃ ≤2%; H ₂ O+M.Vol.≤1%; PPC≤7%	65-90	Partículas lamelares	Inércia química, hidrofobicidade e alvura	Peso específico 2,8 a 2,9.
Tintas (pigmentos)	100%<325	MgO – 24 a 32%; SiO ₂ – 50 a 65%; CaO ≤ 9%; MgO+SiO ₂ ≥88%; CO ₂ ≤1%; Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ ≤6%; H ₂ O+MV≤1%; PPC≤7%	80-92	Partículas fibrosas (tremolítico)	Alvura, inércia química, adsorção de óleos 27 a 31%	Peso específico 2,8 a 2,9.
Cosmético (carga)	99,6% < 325	PPC – 3 a 8%; Pb < 20 ppm; Fe ₂ O ₃ < 0,75; Sol. ácido <2%; H ₂ O < 0,2%; pH – 6,5 a 9,5; As < 3ppm; % sol. CaO <1,5%	85-92	Sem tremolita e carbonatos	Hidrofobicidade natural, leveza, lisura, maciez, inércia química, alvura	-
Inseticida	90%<325	pH – 8	-	-	Inércia química	Adsorção
Cerâmica (branca)	97%<325 100%<200	Fe ₂ O ₃ ≤1,5%; CaO≤1,5%; Al ₂ O ₃ ≤4%	>80	Outros minerais máx. de 5 a 10%	Fundente	MgO – o mais alto possível
Têxteis	Sem resíduos arenosos	-	-	Sem minerais de alta dureza	Alvura	-
Papel (carga)	95%<400	-	58-78	-	Inércia química, alvura	-
Papel (cobertura)	98,8 a 99,9% <325	CaCO ₃ < 4%; Fe ₂ O ₃ ≤ 2%; MgO – 30,7 a 31,7%; CaO – 0,3 a 1%; Al ₂ O ₃ – 0,4 a 1%; PPC – 6,9 a 20,3%	85 - 92	Isento de tremolita	Hábito placóide, inércia química e alvura	Peso específico 2,8 a 2,9. Partículas lamelares
Borracha (lubrificante)	99% < 325	SiO ₂ – 60 a 63%; MgO – 26 a 33%; Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃ ≤ 2%; Mn < 0,01%; Cu < 0,002% e PPC – 5%	Branco	-	Hidrofobicidade, inércia química	Umidade 3%
Sabão: 1ª linha	99% < 325	Al ₂ O ₃ = 5%; MgO ≥ 30,6%; SiO ₂ = 54%; Fe ₂ O ₃ = 0,8% e CaO = 0,1%	Talco claro	-	Inércia química e alvura	Umidade < 1%; PPC = 3%
2ª linha			Talco escuro			
Rações (veículo)	95% < 200	-	-	Sem minerais de dureza > 4	Inércia química	Umidade de 3 a 5%
Plástico: Carga e reforço	100% < 200	-	≥77	Talco ou pirofilita	Inércia química e alvura	Isento de umidade
Anti-aderente	100% < 325	-	-	-	-	Acidez baixa

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A mostra recebida no Laboratório de Tratamento de Minérios do Demin/UFOP foi primeiramente homogeneizada e quarteada para retirada de alíquotas para análise granulométrica, química e ensaios de purificação.

A análise granulométrica do material foi efetuada por peneiramento a úmido no Laboratório de Tratamento de Minérios do Demin/UFOP. Após o peneiramento, as frações granulométricas foram convenientemente agrupadas, preparadas e enviadas para análise química, que foi efetuada por plasma de acoplamento indutivo, exceto os teores de PPC e SiO₂, que foi determinado por diferença, no Laboratório de Geoquímica Ambiental do Degeo/UFOP.

Em uma primeira etapa, efetuou-se o fracionamento da amostra global em peneira de 200#. Essas frações foram sucessivamente quarteadas para obtenção de alíquotas de tamanho adequado para os ensaios de purificação, que foram efetuados por separação magnética de alta intensidade (frações acima e abaixo de 200#) e mesa vibratória (fração acima de 200#).

Nos ensaios de separação magnética de alta intensidade, usando separador magnético de bobinas com matriz de esfera de ferro do Laboratório de Tratamento de Minérios do DEMIN/UFOP, foram testados campos gerados pelas correntes de intensidades de 3, 5 e 7A.

Nos ensaios de purificação na mesa vibratória do Laboratório de Tratamento de Minérios do Demin/UFOP, foi estudada, por planejamento estatístico de experimentos a dois níveis com réplica, a influência das variáveis: Inclinação da mesa, vazão de sólidos e % de sólidos sobre a recuperação em massa (y_1) e alvura (y_2) do “concentrado” obtido. Na Tabela 2, estão apresentadas as variáveis e condições dos ensaios efetuados. Tanto para o planejamento dos experimentos quanto para análise dos resultados obtidos utilizou-se o *software* Minitab 15.

Tabela 2 – Variáveis e respectivos níveis estudados no planejamento estatístico de experimentos para mesa vibratória

Variáveis	Níveis		Código
	-	+	
Vazão da alimentação (kg/h)	4	10	a
Inclinação (°)	3	5	b
Porcentagem de sólidos (%)	15	25	c

Após os ensaios de purificação efetuaram-se determinações de alvura dos produtos obtidos com espectrofotômetro de cor ColorTouch modelo PC do Laboratório de Propriedades Interfaciais do Demin/UFOP e composição química, que foi efetuada no Laboratório de Geoquímica Ambiental do Degeo/UFOP.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 está apresentada a distribuição granulométrica dos resíduos de oficina de artesanato em pedra-sabão, utilizados nesse trabalho. Observa-se que cerca de 50% da amostra estudada encontrava-se acima de 200# (74 μ m) e 27% abaixo de 400# (38 μ m) com d_{80} de 850 μ m.

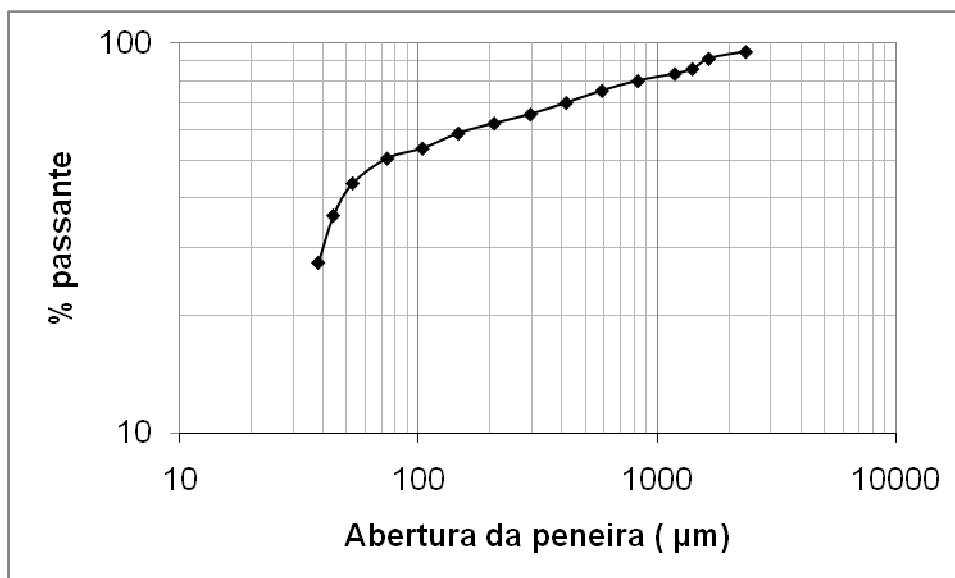


Figura 3 – Distribuição granulométrica da amostra de resíduos de pedra sabão.

A análise granuloquímica da amostra de resíduos de pedra-sabão está apresentada na Tabela 3. Os elementos químicos Cu, Ni, Pb, Zn e As são proveniente dos sulfetos presentes nessa rocha. Lima e outros⁵ em análise efetuada por difratometria de raios X, microscopia ótica e MEV/EDS identificaram os minerais opacos: magnetita, pirita, pentlandita, calcopirita, arsenopirita, hematita e ilmenita. Nessas análises, foram identificados também os carbonatos magnesita e dolomita. Logo, o Fe₂O₃ presente na amostra é proveniente tanto da pirita e calcopirita quanto dos minerais: Magnetita, hematita e ilmenita identificados previamente. O CaO é proveniente da dolomita. Quanto ao Mn, o mesmo pode ser proveniente de quantidades diminutas de rodocrosita (não identificada na amostra) ou de substituição isomórfica do Fe na estrutura cristalina da magnetita. De uma maneira geral, pode-se afirmar que para aplicações mais nobres desses resíduos, seria necessária a remoção dos minerais opacos, especialmente dos sulfetos e óxidos de ferro e titânio para a obtenção de especificações em termos de alvura e teores químicos adequados para as mesmas (Tabela 1).

Tabela 3 – Análise granuloquímica da amostra de resíduos de pedra sabão

F.G. #	Peso (%)	Teores												
		ppm						%						
		As	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	SiO ₂	PPC
+14	14,0	-	11,8	261	1942	10,1	495	2,35	0,0485	5,20	27,9	0,0579	58,5	5,96
+28	10,4	-	12,5	270	1945	-	155	2,42	0,0458	5,31	28,2	0,0669	58,0	5,93
+65	13,2	11	15,7	327	1921	-	110	2,93	0,0704	5,70	27,6	0,0714	57,6	5,96
+200	11,8	-	23,6	436	1913	11,5	122	2,25	0,0939	5,46	27,3	0,0650	59,0	5,87
+270	6,90	-	12,5	317	1925	24,8	149	1,80	0,0953	4,73	27,8	0,0568	59,9	5,69
+325	7,60	-	9,78	241	1955	26,5	162	1,92	0,0625	4,47	28,3	0,0510	59,7	5,54
+400	8,80	9,8	44,5	315	1955	65,9	179	2,57	0,0739	4,76	27,2	0,0504	59,4	5,94
-400	27,3	-	10,9	261	1953	49,6	250	2,11	0,0744	4,51	28,0	0,0529	59,5	5,79
Global	100,0	2,3	16,3	298,4	1940	38,1	220,9	2,31	0,0707	4,96	27,8	0,0588	58,9	5,85

F.G. – Fração granulométrica; PPC – perda por calcinação

Na Figura 4 estão apresentados os valores médios da recuperação em massa e de alvura dos produtos não magnéticos da amostra de resíduo de pedra-sabão após purificação em campo magnético gerado pelas correntes de 3, 5 e 7A. De maneira

geral, observa-se que as recuperações em massa da fração abaixo de 200# foram bem superiores àquelas obtidas para a fração acima de 200#. No entanto, observou-se o contrário em termos de alvura. Por essa razão, efetuou-se a análise química somente do produto não magnético da fração acima de 200#, veja resultados na Tabela 4.

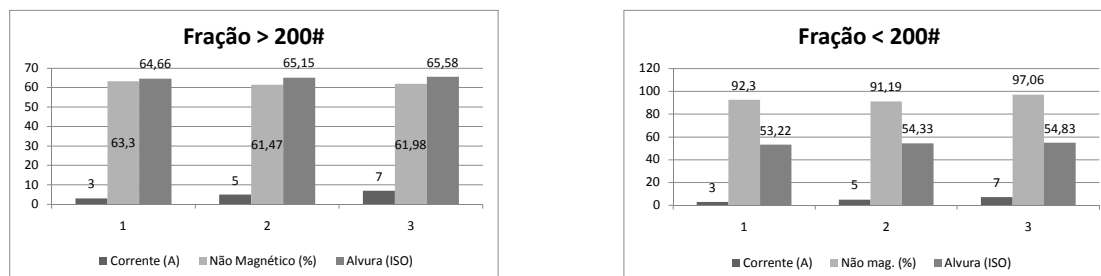


Figura 4 – Recuperação em massa e alvura da amostra de resíduo de pedra-sabão purificada por separação magnética de alta intensidade.

Como pode ser observado pela Tabela 4 houve uma pequena redução dos teores de impurezas presentes nesta fração granulométrica após a purificação da mesma. Pelos valores alcançados em termos de alvura (65%) e impurezas foram alcançadas especificações para aplicação na indústria de tintas (espalhador) e papel (carga). Como dito anteriormente, cerca de 90% da rocha trabalhada nas oficinas de artesanato são descartadas como resíduo. Pelos resultados da análise granulométrica verificou-se que cerca de 50% do material estudado encontrava-se acima de 200#. Após a purificação do mesmo por separação magnética de alta intensidade foi alcançada recuperação em massa média de 62% com concentrados dentro das especificações para tintas (espalhador) e papel (carga). Isso significa que seria possível uma recuperação em massa global em torno de 30% para os resíduos estudados. Ou seja, uma redução de 30% dos resíduos descartados.

Tabela 4 – Composição química da amostra de resíduo de pedra sabão purificada por separação magnética de alta intensidade.

Elemento químico e/ou composto		Fração > 200# (recalculado)	Fração > 200# (purificado)		
			3A	5A	7A
As	(ppm)	2,94	ND	ND	ND
Cu		15,81	14,7	11,7	12,4
Mn		322,23	197	190	198
Ni		1930	1955	1962	1959
Pb		5,61	ND	ND	ND
Zn		231,45	108	93,5	90
Al ₂ O ₃	(%)	2,5	2,02	1,94	2,11
CaO		0,0646	0,0553	0,0546	0,0564
Fe ₂ O ₃		5,42	3,74	3,55	3,64
MgO		27,74	27,7	27,6	27,9
TiO ₂		0,0651	0,0199	0,0190	0,0191
PPC		5,93	5,99	6,14	6,05
SiO ₂		58,27	60,4	60,7	60,2

ND – não detectado

Na Tabela 5 e Figuras 5 e 6 estão apresentados os resultados dos ensaios de concentração em mesa vibratória dos finos de pedra-sabão (fração acima de 200#).

Após a análise dos resultados apresentados na Tabela 5, utilizando o diagrama de Pareto para um nível de confiança de 95%, chegou-se às equações do modelo, que descrevem a influência dos fatores estudados sobre a recuperação em massa (y_1) e alvura (y_2) do concentrado obtido para variáveis codificadas:

$$y_1 = 15,4 - 2,5a + 2,5b + 0,67c + 1,62ac \quad (01)$$

$$y_2 = 63,33 - 1,66a + 0,90b + 1,50c - 0,07ac \quad (02)$$

Na Figura 7 está apresentado o gráfico de otimização do planejamento de experimentos efetuados, levando-se em consideração uma recuperação em massa de 62% e alvura de 65%, que foram alcançados na separação magnética de alta intensidade. Como pode ser observado, para os níveis estudados é possível obter alvura de 65% para as seguintes condições: vazão da alimentação de 4 kg/h, inclinação de 5° e 22,5% de sólidos. No entanto, a recuperação em massa é de 17,6%, o que é muito menor que o valor alcançado na separação magnética de alta intensidade (62%).

Tabela 5 – Resultado dos ensaios de purificação em mesa vibratória da fração > 200# de resíduo de pedra-sabão

Ordem	Matriz do planejamento			y_1		y_2	
				R ₁	R ₂	R ₁	R ₂
1	-	-	-	16,00 ¹	63,17 ¹	14,50 ⁵	63,26 ⁵
2	+	-	-	11,50 ⁴	61,92 ⁴	11,80 ¹³	63,02 ¹³
3	-	+	-	18,50 ⁷	63,27 ⁷	19,50 ¹²	63,79 ¹²
4	+	+	-	13,70 ⁸	61,50 ⁸	15,00 ⁹	60,72 ⁹
5	-	-	+	16,40 ⁶	63,40 ⁶	15,00 ¹¹	63,37 ¹¹
6	+	-	+	13,30 ²	63,42 ²	14,90 ¹⁰	61,46 ¹⁰
7	-	+	+	16,5 ¹⁴	66,40 ¹⁴	16,80 ¹⁶	66,60 ¹⁶
8	+	+	+	16,61 ¹⁵	63,12 ¹⁵	16,38 ³	64,85 ³

R1 e R2 – réplica 1 e réplica 2; N^{os} sobrescritos – ordem de execução dos ensaios

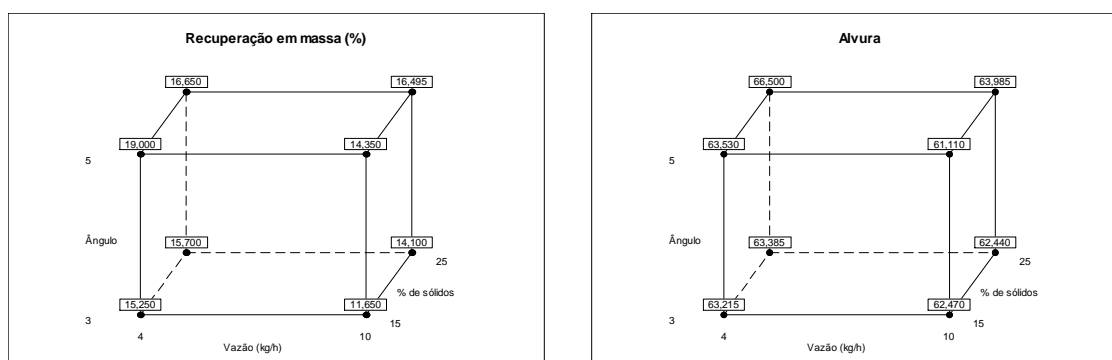


Figura 5 – Gráfico de cubo para os valores médios das variáveis estudadas sobre a recuperação em massa e alvura dos concentrados da fração acima de 200# em mesa vibratória.

4 CONCLUSÕES

- O d_{80} da amostra de resíduos de pedra-sabão era de 850 μ m e cerca de 50% do material estava acima de 200#.
- Foram obtidos concentrados com valores de alvura dentro das especificações para tintas (espalhadora) e papel (carga) da fração granulométrica acima de

200# tanto para a separação magnética de alta intensidade quanto para mesa vibratória.

- A recuperação em massa obtida com a separação magnética de alta intensidade (62% em média) foi bem superior ao valor obtido na mesa oscilatória (17,5%).
- Os produtos purificados da fração acima de 200# no separador magnético possuíam qualidade química, dentro das especificações para indústria de tintas (espalhador) e papel (carga), possibilitando uma recuperação de 30% em massa dos resíduos descartados nas oficinas de artesanato em pedra-sabão.

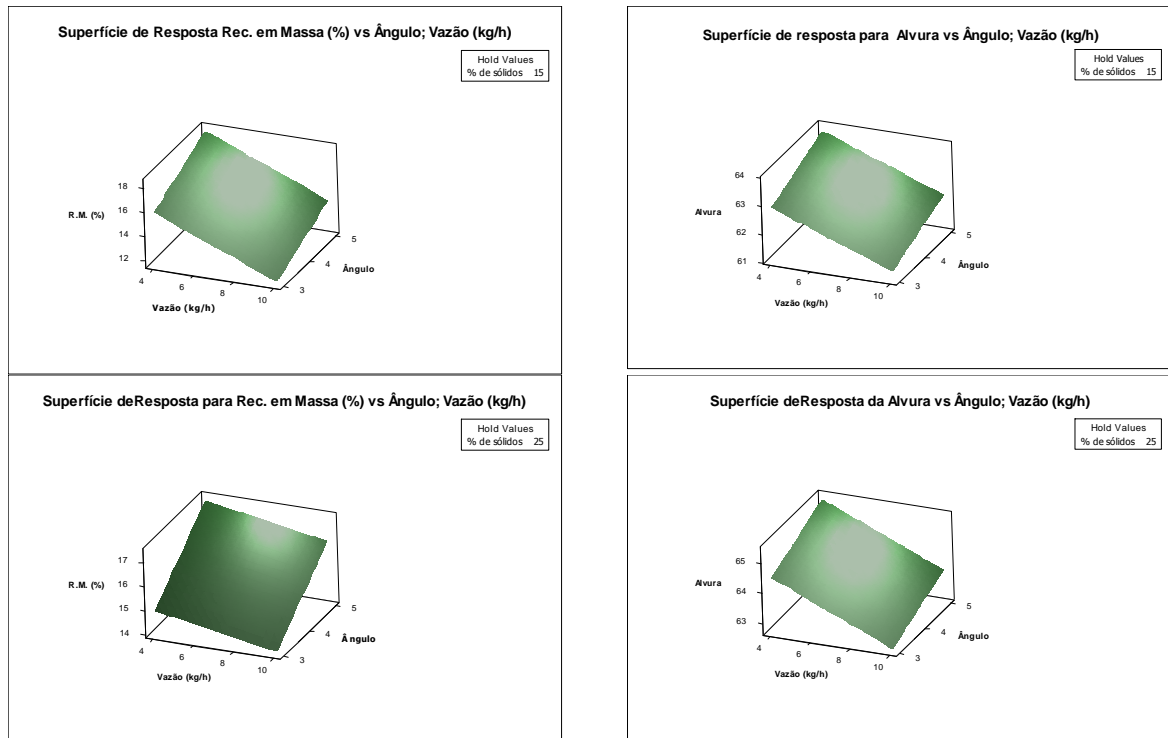


Figura 6 - Superfície de respostas para os valores médios das variáveis estudadas sobre a recuperação em massa e alvura dos concentrados para fração acima de 200# em mesa vibratória.

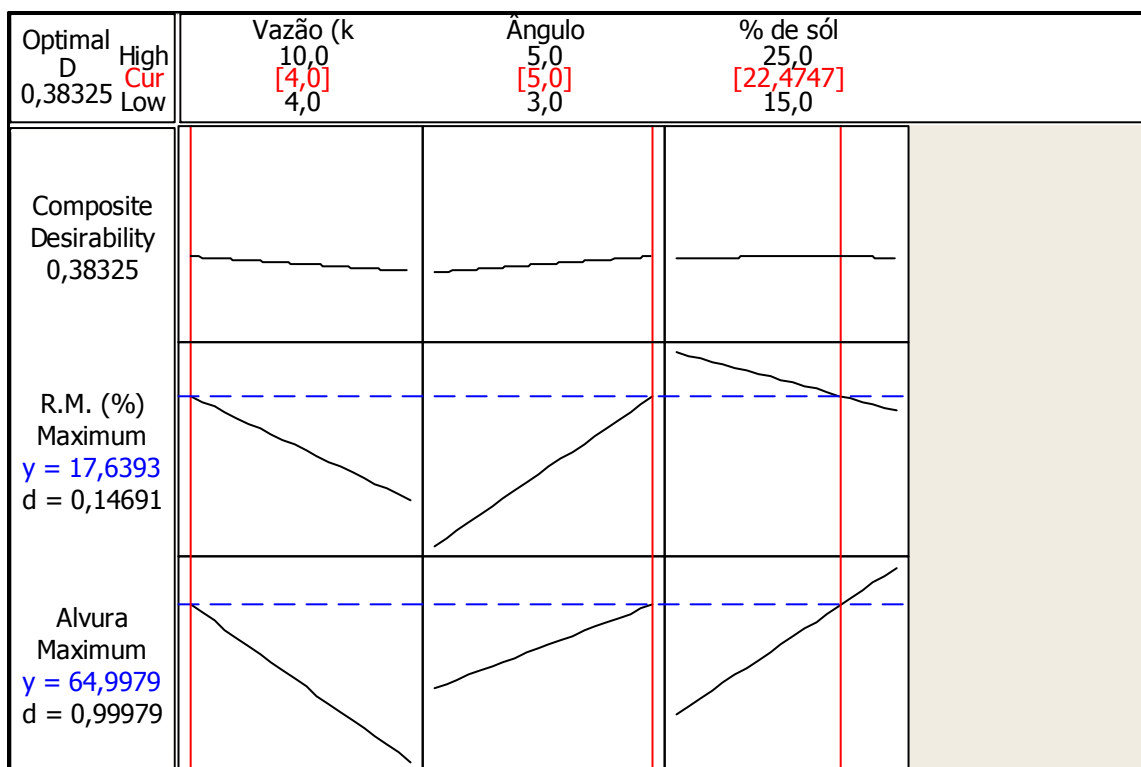


Figura 7 – Valores otimizados do planejamento de experimentos efetuados e mesa vibratória.

Agradecimentos

Os autores agradecem o grande apoio da Fapemig, sem o qual não seria possível a aquisição de diversos equipamentos do Laboratório de Propriedades Interficiais do Departamento de Engenharia de Minas da UFOP, que foram usados nesse projeto, a concessão de bolsa de iniciação científica para um dos alunos do curso de Engenharia de Minas e ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado para um dos autores e uma bolsa de iniciação científica para um dos alunos do curso de Engenharia de Minas.

REFERÊNCIAS

- 1 SANTOS, R. C. P. Análise dos Entraves Para a Criação de Um Arranjo Produtivo Local (APL) de Base Mineral da Pedra-Sabão na Região de Ouro Preto, Minas Gerais. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – Universidade Federal de Ouro Preto. 2009.
- 2 PINHEIRO, J. C. F. Perfil Analítico do Talco. Boletim nº 22. DNPM, 1973.
- 3 KUZVART, M. Industrial Minerals and Rocks. Elsevier. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo. 454p. 1984.
- 4 PONTES, I. F., ALMEIDA, S. L. M. Talco. In: Rochas e Minerais Industriais Usos e Especificações. Luz, A. B., LINS, F. F. Editores. Rio de Janeiro:CETEM/MCT.p. 607-628. 2005.
- 5 LIMA, R. M. F., SILVA, F. B. R., BRAGA, D. M. Caracterização Tecnológica de Pedra-Sabão, Talco e Resíduos de Pedreiras e de Oficinas de Artesanato de Pedra-Sabão de Ouro Preto, Visando a Um Melhor Aproveitamento Econômico. Relatório técnico. 101p. 2009.