
MAXIMIZAÇÃO DO LUCRO NUMA EMPRESA PRODUTORA DE SUPERFOSFATO

SILVA, Reginaldo dos Santos¹

RESUMO: O lucro máximo é uma busca constante numa empresa. Este trabalho procurou, utilizando-se de dados de uma empresa, integrada de fertilizantes fosfatados, identificar a combinação dos fatores: granulometria e teor de P_2O_5 total da rocha produzida na unidade de concentração, que respondesse a esta busca. Procurou-se desenvolver um modelo que possa ser utilizado por outras empresas similares e pela empresa, em questão. Nas condições apresentadas, a recomendação é que se trabalhe com um concentrado mais pobre em fósforo e mais grosso.

Palavras-Chave: Fertilizantes. Microeconomia. Superfosfatos.

SUMMARY: The enterprises looks every time identify the relations of using features that maximize profits. This work looks to find the best relation of granulometry and phosphorous concentration of the rock witch allows the best results in profits. The results showed that this is possible and generate a model that can be used for other fertilizer companies. At this company, which the data we had, the best combination is to use concentrated rock poorer in total P_2O_5 , and less grounded one.

Keywords: Fertilizer. Microeconomics. Superphosphate.

INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é identificar a combinação mais lucrativa dos fatores de produção numa unidade de superfosfato triplo, baseado em parâmetros operacionais, informações de custos e fatores técnicos. Trabalhou-se elaborando um modelo matemático como ferramenta, utilizando-se dados de uma empresa do setor de fertilizantes, que opera com rocha fosfática de origem ígnea.

Na segunda parte, apresenta-se uma descrição do produto, da empresa, e da unidade produtiva. Na terceira parte, serão descritos os materiais e métodos utilizados. A quarta parte será dedicada à apresentação e discussão dos resultados, e a quinta, às conclusões e observações complementares.

¹ Engenheiro Agrônomo, mestre em Administração de Empresas, Professor da FAFRAM/FE.

1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO E DA UNIDADE DE PRODUÇÃO

1.1 O PRODUTO: SUPERFOSFATO TRIPLO GRANULADO (STG).

Superfosfato triplo é um fertilizante resultante da reação entre rocha fosfática com ácido fosfórico e suas características técnicas são:

I – teor de P_2O_5 solúvel em água mais citrato neutro de amônia a 2%: 42%, e

II - teor de P_2O_5 solúvel em água: 38%

III – Umidade máxima: 3%

Tabela 1 – Características das matérias primas e da unidade industrial influentes no custo final do produto.

Item	Rocha fosfática	Ácido fosfórico	Unidade de produção
Características importantes	Teor de P_2O_5	Teor de P_2O_5	Tipo de unidade
	Granulometria	Contaminantes	Tipo de reator
	Origem geológica		Área de cura
	Contaminantes		

Os índices de consumo de rocha e de ácido fosfórico variam em função do teor de fósforo, de contaminantes e da granulometria da rocha alimentada no reator.

A produção de superfosfato triplo depende de algumas características da rocha, do ácido fosfórico e da unidade, que podem ser observados na tabela 1.

Variações nos fatores apontados, vão gerar resultado, variações da quantidade produzida e nos índices de consumo de matérias primas.

Os tipos e capacidades dos equipamentos da unidade produtiva (moinho, rator e área de cura) foram definidos por estudos efetuados em plantas pilotos, na fase de coleta de informações para o projeto da unidade e dimensionados para que a unidade gere, ao final, a quantidade esperada de produto. Acontece que, sendo a rocha fosfática um produto natural, ela apresenta variações de composição na sua origem (mina). Isso provocar a necessidade de ajustes nos equipamentos, para a otimização da produção.

A unidade de produção de ácido fosfórico foi projetada para as especificações da rocha mãe, em termos de P_2O_5 e contaminantes. Pode gerar um produto com teor de P_2O_5 maior ou menor, mas a empresa, em função de limitações de capacidade de estocagem, optou por um ácido com teor de 45% de P_2O_5 isento de contaminantes prejudiciais à produção de supertriplo. Sendo assim, no trabalho, este fator não será analisado.

Dessa maneira, este trabalho avalia, em função dos custos da rocha e do ácido fosfórico, a granulometria da rocha concentrada alimentada no reator que vai gerar um melhor resultado econômico para a empresa.

1.2 A EMPRESA

A empresa em questão é detentora dos direitos de uso de uma reserva fosfática de origem ígnea e conta com uma unidade de concentração e uma de processamento, onde produz ácido sulfúrico, ácido fosfórico, fosfato monoamônia e superfosfato triplo.

A figura 1, a seguir, é um diagrama fr blocos do fluxo de produtos e matérias primas da empresa em sua unidade localizada na região da mina. A seguinte, figura 2, é o diagrama do fluxo de produtos e matérias primas da unidade de processamento.

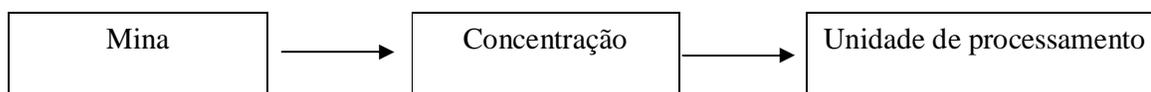


Figura 1 – Diagrama de blocos de produção da unidade de mineração e concentração

A transferência da rocha fosfática da concentração para a unidade de processamento não pode variar em termos granulatórios por motivos operacionais; pode, entretanto, variar em teor de P_2O_5 .

Esta variação vai interferir tanto nas condições de produção da unidade de ácido fosfórico quanto na unidade de superfosfato triplo.



Figura2 – Diagrama de blocos da unidade de processamento.

O teor de fósforo da rocha influencia também o desempenho e custos da unidade de Ácido fosfórico, entretanto os dados disponíveis permitem apenas análise da unidade de superfosfato triplo.

1.3 A UNIDADE PRODUTIVA

A unidade produtiva do superfosfato triplo é constituída de uma unidade de moagem da rocha, de um sistema de reação e de um armazém para cura do produto e da granulação.

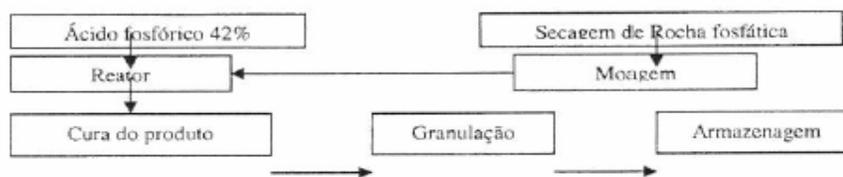


Figura 3 – Diagrama de blocos da unidade de fabricação de superfosfato triplo.

1.3.1 MOAGEM

A função da moagem final é de levar a rocha a uma granulometria adequada à reação da rocha como o ácido fosfórico. É composta de um moinho com capacidade para 15t/h de um produto com mínimo de 95% passante em peneira malha 200; um ciclone, um exaustor e uma bomba para transferência da rocha moída para o silo de alimentação do reator.

Independentemente da granulometria da rocha, ao final do processo, a unidade apresenta o mesmo custo horário operacional; entretanto, quanto mais fino o produto final, menor a produção, até um limite em que a unidade, simplesmente, não consegue operar.

Esta unidade apresenta uma taxa de utilização (TU), que é a relação entre o número de horas reais trabalhadas por dia, em média e o total de horas (24) disponíveis do dia de 95%. A rocha é transferida para o silo de alimentação do reator.

1.3.2 REAÇÃO

A reação ocorre num conjunto de misturador e esteira transportadora de baixíssima velocidade, que recebe o produto saído do misturador ainda na forma de lama e o retém por

período de até 30 segundos, suficientes para que se solidifique. Ao final deste período, é lançado ao armazém de cura por transportadores contínuos.

A unidade de reação foi dimensionada para até 70t/h, com capacidade para reter por um período de reação inicial de 23 segundos. Este período é necessário para que o produto passe da consistência de lama para de uma massa sólida. Esta unidade pode operar entre 45 e 70 t/h, sem prejuízos à qualidade do produto. A sua taxa de utilização (TU) atualmente está em 0,76.

1.3.3 CURA (COMPLEMENTAÇÃO DA REAÇÃO)

Este processo pode demorar até duas semanas, em função do tipo de rocha, da sua granulometria e dos seus contaminantes.

A unidade de cura tem capacidade máxima de 20000t, o que equivale a 15 dias de produção da unidade em condições normais. Se o produto for gerado com uma granulometria muito aquém do necessário, o tempo de cura pode superar 30 dias ou mesmo não acontecer. Neste estudo, os dados trabalhados estarão dentro de limites operacionais. Ao final desta etapa, o produto apresenta teor de umidade de 8%, e acidez livre menor que 3%, adequada para ser utilizado na granulação.

Estes fatores (umidade e acidez livre) determinam os limites de variações possíveis na fase anterior, principalmente, de granulometria da rocha. Os dados que serão apresentados no trabalho consideram estas limitações.

1.3.4 GRANULAÇÃO

A etapa de granulação corresponde ao preparo final do produto para o mercado. Nesta etapa, o produto que está na forma de pó passa para a forma física de grão. Como há um intervalo de armazenagem (cura) entre a reação e a granulação, esta unidade é considerada em separado da fase anterior. A produtividade da unidade de granulação depende mais das características físicas do produto e, simplesmente, não opera se este não estiver dentro de um limite de acidez e umidade. O produto final apresenta teor de umidade de 3%.

Assim, o custo de produção da granulação e a produtividade são indiferentes às características da rocha e do ácido alimentados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A determinação do ponto de ótimo da rentabilidade da unidade de STG da empresa está fundamentada nos seguintes fatos:

- I – há um limite de produção da fábrica como um todo, que é a unidade de moagem;
- II – o custo da produção de rocha concentrada varia em função do seu teor de P_2O_5 total;
- III – o custo de produção do ácido fosfórico varia em função do teor P_2O_5 da rocha;
- IV – o rendimento da moagem independe do teor de P_2O_5 da rocha;
- V – o consumo específico da rocha e do ácido fosfórico dependem do teor P_2O_5 da rocha e da sua granulometria;
- VI – em função das características físicas, químicas e geológicas da rocha matriz, não é possível a obtenção do supertriplo a partir da concentrada com o teor de P_2O_5 total abaixo de 33% e granulometria abaixo de 95% passante em malha 200;
- VII – o preço do produto será considerado o mesmo para qualquer nível de produção;
- VIII – a empresa não permite a divulgação de seu nome.

Em função destes paradigmas foram definidos os procedimentos de análise.

2.1 MATERIAIS

Os dados relativos às eficiências técnicas da empresa foram resultados de testes efetuados na própria unidade, complementados com outros em planta piloto e análises em laboratório de controle de qualidade próprio.

Os dados referentes às eficiências de unidade foram obtidos do mapa de controle referente ao ano de 2003.

2.2 METODOLOGIA

Para que o solver pudesse identificar a relação de P_2O_5 total da rocha e granulometria da mesma, que representasse máxima lucratividade da empresa, era necessário que todos os dados que iriam variar em função destes elementos básicos fossem identificados através de uma equação. Estas equações foram obtidas dos dados disponíveis e as ferramentas de estatística disponíveis no Excel.

Foram selecionadas curvas que mais se aproximassem do comportamento conhecido das reações que apresentassem fator de correlação R^2 superior a 0,90.

As relações de custos do ácido fosfórico e custo da rocha concentrada foram obtidas no mapa de controle de custos de 2003. O preço de venda do supertriplo granulado está baseado no preço de tabela de dezembro de 2003.

A fórmula de relacionamento dos custos da rocha e do ácido fosfórico em função dos teores de P_2O_5 total foram desenvolvidas e em função dos dados disponíveis.

Os custos fixos das unidades foram definidas com base no fator “hora”, porque na fase de moagem, a produção varia em função da granulometria, mas o custo operacional horário depende apenas das horas trabalhadas. O total de horas operadas no ano foi definido pelo total de horas do ano (365 dias do ano com 24 horas/dia), corrigido pelo fator de utilização de cada setor.

Os custos dos setores de reação e cura foram agrupados. Após a formatação dos dados, foi aplicado o solver, com as restrições de limites da granulometria entre 95 e 100%, e de P_2O_5 total entre 33 e 35%.

3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS

3.1 APRESENTAÇÃO

3.1.1 FATORES TÉCNICOS

Perdas de produção no circuito total: 1%.

Fator de utilização da moagem: 0,95.

Fator de utilização da reação: 0,70.

Fator de utilização da granulação: 0,90.

Custo fixo horário moagem de rocha: R\$ 182.

Custo variável horário da moagem de rocha: R\$ 198.

Custo fixo horário da reação: R\$ 179.

Custo variável por tonelada reação: R\$ 38.

Custo fixo horário granulação: 142.

Custo variável por tonelada de granulação: R\$ 33.

Custo da rocha para os diversos teores de P_2O_5 total.

33% de P_2O_5 total: R\$ 145.

34% de P_2O_5 total: R\$ 167.

35% de P₂O₅ total: R\$ 192.

Custo do ácido fosfórico em função do teor da rocha.

Teor = 33% de P₂O₅ total, custo: R\$ 775.

Teor = 34% de P₂O₅ total, custo: R\$ 838.

Teor = 35% de P₂O₅ total, custo: R\$ 905.

3.1.2 FÓMULAS UTILIZADAS NOS CÁLCULOS

As equações obtidas para os cálculos de custo e relações de consumo foram as seguintes:

I – produção da moagem (t / h) em função da granulometria:

$$\text{Produção} = 0,035714 * (\text{granulometria})^2 + 5,918571 * \text{granulometria} - 224,914286$$

II – determinação do fator de consumo da rocha (t / t) em função da granulometria e do teor de P₂O₅ total da rocha concentrada:

$$\text{Consumo específico da rocha} = 0,942746 + 0,006 * (\text{Teor de P}_2\text{O}_5) + 0,010952 * \text{granulometria}.$$

III – determinação do fator de consumo de ácido fosfórico em função da granulometria e do teor de P₂O₅ total da rocha concentrada:

$$\text{Consumo específico do ácido} = 0,922256 - 0,011833 * (\text{Teor de P}_2\text{O}_5) + 0,01123 * \text{granulometria}.$$

IV – determinação do custo da rocha em função do teor de fósforo da rocha:

$$\text{Custo da rocha} = 23,5 * 0,011833 * (\text{Teor de P}_2\text{O}_5 \text{ total}) - 631$$

V – determinação do custo do ácido fosfórico em função do teor de fósforo da rocha:

$$\text{Custo do ácido} = 65 * (\text{Teor de P}_2\text{O}_5 \text{ total}) - 1370,1$$

VI – determinação da produção horária corrigida da unidade de moagem:

$$\text{Produção corrigida} = \text{produção calculada} * \text{fator de utilização da moagem}.$$

VII – determinação da produção horária da reação:

$$\text{Produção} = \text{produção corrigida da moagem} / \text{consumo específico da rocha} * \text{fator de utilização da reação}.$$

VIII – determinação da produção horária da granulação:

$$\text{Produção} = (\text{produção corrigida da moagem} / \text{consumo específico da rocha}) * \text{fator de utilização da granulação} * (\text{perdas de processo} / 100).$$

IX – determinação da produção anual de STG granulado:

$$\text{Produção anual} = \text{produção horária} * 365 (\text{dias por ano}) * 24 (\text{horas por dia}).$$

X – determinação do lucro líquido anual:

Lucro líquido anual = preço de venda * produção anual – custo unitário * produção anual.

3.1.3 PLANILHAS

As planilhas estão colocadas em anexo. A planilha 1 apresenta os dados técnicos de produção e consumos específicos para teores de rocha de 33, 34 e 35% de P₂O₅ total e granulometria, variando de 95 a 100% de material passante em malha 200.

As planilhas 2.a e 2.b apresentam os valores básicos para cálculo do custo de produção e lucratividade para um STG produzido a partir da rocha com 33% de P₂O₅ total.

A planilha 2.a apresenta os valores de produção horária dos diversos setores produtivos a partir de dados obtidos da empresa.

A planilha 2.b apresenta os mesmos dados da planilha anterior, a partir de equações de regressão de primeiro ou segundos graus, obtidos com os dados da planilha 2.a.

As planilhas 3 (3.a. e 3.b) e 4 (4.a e 4.b) apresentam dados similares aos das planilhas 2.a e 2.b, para teores de P₂O₅ total da rocha de 34 e 35%, respectivamente.

As planilhas 5.a e 5.b identificam o critério e as fórmulas resultantes para consumos específicos de rocha e ácido fosfórico em função das variações dos teores de P₂O₅ total e da granulometria da rocha.

A planilha 6 apresenta os dados de custo da rocha e do ácido fosfórico em função dos teores de P₂O₅ total da rocha. Em uma das colunas, os dados de custos correspondem à informação da empresa e, na coluna seguinte, estão os dados obtidos da regressão linear.

A planilha 7 apresenta a aplicação do Solver, considerando as variações dos custos do ácido fosfórico e da rocha em função dos teores.

Planilha 8 – análise de contabilidade dos dados.

3.2 DISCUSSÃO DOS DADOS

Os dados obtidos das planilhas em que se calcula a granulometria que permite a máxima lucratividade em unidade, considerando-se fixo o teor de fósforo, identificaram que, com os custos de ácido e rocha da empresa, a melhor opção é trabalhar com a rocha mais grossa, ou seja: com uma menor quantidade de material passando pela peneira malha 200.

Mesmo na planilha 7, em que foram introduzidas as fórmulas que permitiram a análise de todo o espectro de variação tanto dos teores de P_2O_5 total, quanto de granulometria, quanto de custos do fosfórico e da rocha, o resultado se manteve.

A combinação de maior lucratividade para a empresa dentro dos valores fornecidos é aquela que combina o mais baixo teor de fósforo na rocha concentrada, e menor volume de finos, dentro dos limites toleráveis, ou seja: 33% de P_2O_5 total, e granulometria de 95% passante em malha 200.

A análise estatística de significância dos dados obtidos, comparando-se os dados de lucratividade a partir das informações coletadas e a partir das regressões, mostram, com nível de confiança de 95%, que os dados estimados podem representar os dados obtidos em testes.

CONCLUSÃO

Em função dos valores apresentados anteriormente, é possível concluirmos que:

I – O solver é uma ferramenta adequada à determinação do ponto de máxima lucratividade de uma unidade de fabricação de superfosfato triplo.

II – Dentro das condições dos testes, a melhor alternativa da empresa é de conseguir o máximo volume de produção, e isto acontece combinando-se um mais baixo teor de P_2O_5 total com uma menor moagem da rocha.

Cabe aqui, entretanto, algumas observações para estudos futuros, sobre a instalação de uma maior capacidade, pois também foi observado que o custo unitário de produção caiu sempre que se moeu mais a rocha, dentro dos limites estudados.

A colocação de um moinho, com capacidade para moer 5 toneladas de rocha a 100% passante em malha 200 por hora, poderá se justificar; pois, em todas as tabelas, os custos de produção unitário caíram na medida em que se utilizava uma rocha mais fina. Entretanto, o lucro total da empresa é reduzido à medida que cai o volume de produção total.

REFERÊNCIAS

GUJARATI, D.N. **Econometria básica**. São Paulo> Pearson Education do Brasil, 2000; 845p.

KREPS, D.M. **Microeconomics for managers**. New York: W.W. Norton Company; 652p.

PINDYCK, R.S.; RUBINFELD, D.L. **Microeconomia**. 4.ed. São Paulo. Makron Books, 1999: 731p.

Anexo – Quadros 1 a 8

Quadro 1 – Fatores técnicos de produção e consumo em função dos teores de P_2O_5 e granulometria da rocha obtidos na empresa.

Teor de P_2O_5 total da rocha (%)	Granulometria do produto (% de passante malha 200)	Produção da moagem (t/h)	Consumo específico da rocha (Kg/t) ¹	Consumo específico de ácido fosfórico (Kg/t) ²	Capacidade possível de produção na reação (t/h) ³	Teor de P_2O_5 total do produto final (%) ⁵	Teor de P_2O_5 total do produto final (%) ⁶	Taxa de conversão (% de P_2O_5 insolúvel convertido em solúvel)
33	95	15	0,299	0,699	60	44,82	42	71,45
33	96	14,2	0,306	0,690	61	44,60	42	74,27
33	97	13,1	0,314	0,679	62	44,31	42	77,69
33	98	12,1	0,328	0,668	64	44,22	42	79,45
33	99	11	0,340	0,656	65	44,02	42	82,00
33	100	9,8	0,352	0,644	68	43,82	42	84,37
34	95	15	0,304	0,687	60	44,69	42	74,01
34	96	14,2	0,312	0,679	61	44,56	42	75,89
34	97	13,1	0,321	0,669	62	44,36	42	78,34
34	98	12,1	0,333	0,656	64	44,12	42	81,26
34	99	11	0,346	0,641	65	43,81	42	84,58
34	100	9,8	0,358	0,630	68	43,67	42	86,26
35	95	15	0,310	0,677	60	44,70	42	75,12
35	96	14,2	0,318	0,668	61	44,53	42	77,27
35	97	13,1	0,328	0,657	62	44,33	42	79,70
35	98	12,1	0,339	0,647	64	44,22	42	81,33
35	99	11	0,351	0,629	65	43,74	42	85,88
35	100	9,8	0,365	0,616	68	43,58	42	87,67

Quadro 2.a – Custo de produção e lucro líquido anual da unidade de supertriplo granulado em função da variação da granulometria com rocha 33% de P₂O₅ baseado em dados de testes.

Teor de P ₂ O ₅ total da rocha (%)	Granulo-metria do produto (% de passante malha 200)	Produção da moagem (t/h)	Fator da rocha (t/t)	Fator do ácido (t/t)	Produção horária da moagem (t/h)	Produção horária da reação (t/h)	Produção horária da granulação (t/h)	Custo total unitário (R\$)	Produção anual (t)	Lucro líquido anual (R\$)
33	95	15	0,299	0,699	14,250	68,08	42,46	670,03	371985	59507773
33	96	14,2	0,306	0,690	13,490	62,98	39,28	665,20	344090	56707082
33	97	13,1	0,316	0,679	12,445	56,26	35,09	659,92	307390	52280216
33	98	12,1	0,328	0,668	11,495	50,07	31,23	655,23	273538	47807296
33	99	11	0,340	0,656	10,450	43,91	27,39	650,33	239894	43102772
33	100	9,8	0,352	0,644	9,310	37,78	23,57	646,27	206438	37928692

Quadro 2.b – Custo de produção e lucro líquido anual da unidade de supertriplo granulado em função da variação da granulometria com rocha 33% de P₂O₅ baseado nas equações das curvas de regressão.

Teor de P ₂ O ₅ total da rocha (%)	Granulometria do produto (% de passante malha 200)	Produção da moagem (t/h)	Fator de consumo da rocha (t/t)	Fator de consumo do ácido (t/t)	Produção horária corrigida da moagem (t/h)	Produção horária da reação (t/h)	Produção horária da granulação (t/h)	Custo total unitário (R\$)	Produção anual (t)	Lucro líquido anual (R\$)
33	95,00	15	0,296	0,702	14,250	68,85	42,94	671,62	376144	59573025
33	96,00	14,2	0,307	0,690	13,490	62,85	39,20	665,43	343365	56506474
33	97,00	13,1	0,318	0,678	12,445	56,98	34,91	659,78	305843	52060044
33	98,00	12,1	0,329	0,667	11,495	49,98	31,17	654,31	273080	47976798
33	99,00	11	0,340	0,655	10,450	43,97	27,43	649,40	240246	43387573
33	100,00	9,8	0,350	0,643	9,310	37,95	23,67	645,32	207348	38292167

Quadro 3.a – Custo de produção e lucro líquido anual da unidade de supertríplo granulado em função da variação da granulometria com rocha 34% de P₂O₅ baseado em dados de testes.

Teor de P ₂ O ₅ total da rocha (%)	Granulometria do produto (% de passante malha 200)	Produção da moagem (t/h)	Fator de consumo da rocha (t/t)	Fator de consumo do ácido (t/t)	Produção horária corrigida da moagem (t/h)	Produção horária da reação (t/h)	Produção horária da granulação (t/h)	Custo total unitário (R\$)	Produção anual (t)	Lucro líquido anual (R\$)
34	95	15	0,304	0,687	2970,00	66,96	41,77	703,59	365867	46250736
34	96	14,2	0,312	0,679	2811,60	61,77	38,52	698,73	337473	44299379
34	97	13,1	0,323	0,669	2593,80	55,04	34,33	693,00	300728	41200145
34	98	12,1	0,333	0,656	2395,80	49,31	30,76	684,64	269430	39164803
34	99	11	0,346	0,641	2178,00	43,15	26,91	675,43	235734	36438363
34	100	9,8	0,358	0,630	1940,40	37,15	23,17	669,74	202978	32528676

Quadro 3.b– Custo de produção e lucro líquido anual da unidade de supertríplo granulado em função da variação da granulometria com rocha 34% de P₂O₅ baseado nas equações das curvas de regressão.

Teor de P ₂ O ₅ total da rocha (%)	Granulometria do produto (% de passante malha 200)	Produção da moagem (t/h)	Fator de consumo da rocha (t/t)	Fator de consumo do ácido (t/t)	Produção horária corrigida da moagem (t/h)	Produção horária da reação (t/h)	Produção horária da granulação (t/h)	Custo total unitário (R\$)	Produção anual (t)	Lucro líquido anual (R\$)	
34	95	15,03	0,302	0,690	14,280	67,62	42,17	713,68	369428	42971157	
34	96	14,13	0,313	0,678	13,422	61,33	38,25	707,12	335075	41174628	
34	97	13,15	0,324	0,667	12,496	55,17	34,41	700,84	301412	38929021	
34	98	12,11	0,335	0,655	11,503	49,12	30,64	694,96	268369	36240430	
34	99	10,99	0,346	0,643	10,442	43,17	26,93	689,62	235888	33114176	
34	100	9,80	0,356	0,631	9,313	37,32	23,28	685,06	203917	29554925	
Custo fixo horário moagem de rocha					182	Custo fixo horário granulação			142		
CVH da moagem de rocha					198	Custo variável da granulação / t.			33		
Custo fixo horário reação					179	Custo da rocha / t			167	139,1667	192,05
Custo variável por tonelada reação					39	Custo do ácido / t			838	775,9259	905,04
						Preço de venda do STG			830		
Máxima lucratividade para rocha 35% de P ₂ O ₅ : 42971157											

Quadro 4.a – Custo de produção e lucro líquido anual da unidade de supertriplo granulado em função da variação da granulometria com rocha 34% de P₂O₅ baseado em dados de testes.

Teor de P ₂ O ₅ total da rocha (%)	Granulometria do produto (% de passante malha 200)	Produção da moagem (t/h)	Fator de consumo da rocha (t/t)	Fator de consumo do ácido (t/t)	Produção horária corrigida da moagem (t/h)	Produção horária da reação (t/h)	Produção horária da granulação (t/h)	Custo total unitário (R\$)	Produção anual (t)	Lucro líquido anual (R\$)
35	95	15	0,310	0,677	14,250	65,67	40,96	757,66	358786	25952927
35	96	14,2	0,318	0,668	13,490	60,60	37,80	752,26	331106	25738728
35	97	13,1	0,328	0,657	12,445	54,20	33,81	746,08	296144	24852679
35	98	12,1	0,339	0,647	11,495	48,44	30,21	741,22	264662	23495373
35	99	11	0,351	0,629	10,450	42,53	26,53	729,96	232376	23246338
35	100	9,8	0,365	0,616	9,310	36,44	22,73	724,62	199085	20979870

Quadro 4.b– Custo de produção e lucro líquido anual da unidade de supertriplo granulado em função da variação da granulometria com rocha 34% de P₂O₅ baseado nas equações das curvas de regressão.

Teor de P ₂ O ₅ total da rocha (%)	Granulometria do produto (% de passante malha 200)	Produção da moagem (t/h)	Fator de consumo da rocha (t/t)	Fator de consumo do ácido (t/t)	Produção horária corrigida da moagem (t/h)	Produção horária da reação (t/h)	Produção horária da granulação (t/h)	Custo total unitário (R\$)	Produção anual (t)	Lucro líquido anual (R\$)
35	95	15,03	0,308	0,678	14,280	66,30	41,35	758,18	362224	26015100
35	96	14,13	0,319	0,666	13,422	60,17	37,53	751,12	328766	25932568
35	97	13,15	0,330	0,655	12,496	54,16	33,78	744,36	295925	25343824
35	98	12,11	0,341	0,643	11,503	48,25	30,10	737,99	263640	24257976
35	99	10,99	0,352	0,631	10,442	42,44	26,47	732,17	231861	22682998
35	100	9,80	0,362	0,620	9,313	36,70	22,89	727,15	200541	20625898

Custo fixo horário moagem de rocha	182	Custo fixo horário granulação	142
CVH da moagem de rocha	198	Custo variável da granulação / t.	33
Custo fixo horário reação	179	Custo da rocha / t	192
Custo variável por tonelada reação	39	Custo do ácido / t	905
		Preço de venda do STG	830
Máxima lucratividade para rocha 35% de P ₂ O ₅ : 26015100			

Quadro 5.a – Determinação da equação para cálculo do consumo específico de rocha (t/t) em função dos fatores: granulometria e teor de P₂O₅ da rocha.

P ₂ O ₅	Granulometria (%)	Consumo detectado (t/t)	Consumo pela equação (t/t)									
33,000	95	0,299	0,296									
33,000	96	0,306	0,307	Estatística de regressão								
33,000	97	0,314	0,318	R múltiplo 0,995413								
33,000	98	0,328	0,329	R quadrac 0,990848								
33,000	99	0,340	0,340	R quadrado 0,989628								
33,000	100	0,352	0,350	Erro padrão 0,002036								
34,000	95	0,304	0,302	Observação 18								
34,000	96	0,312	0,313									
34,000	97	0,321	0,324	ANOVA								
34,000	98	0,333	0,335		<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	Significação			
34,000	99	0,346	0,346	Regressão	2	0,00673	0,003365	811,988	5,15E-16			
34,000	100	0,358	0,356	P ₂ O ₅	15	6,22E-05	4,14E-06					
35,000	95	0,310	0,308	Granulometria	17	0,006792						
35,000	96	0,318	0,319									
35,000	97	0,328	0,330	<i>Corficiente Erro padrão Stat t valor-P 5% inferiore % superior inferior 95% superior 95%</i>								
35,000	98	0,339	0,341	Interseção	-0,94275	0,033908	-27,8028	2,55E-14	-1,01502	-0,87047	-1,01502	-0,87047
35,000	99	0,351	0,352	P ₂ O ₅	0,006	0,000588	10,21025	3,8E-08	0,004747	0,007253	0,004747	0,007253
35,000	100	0,365	0,362	Grnulom.	0,010952	0,000281	38,98367	1,71E-16	0,010354	0,011551	0,010354	0,011551

Equação: Consumo específico da rocha = -942746 + 0,006 * teor de P₂O₅ + 0,010952 * Granulometria.

Quadro 5.b – Determinação da equação para cálculo do consumo específico do ácido fosfórico (t/t) em função dos fatores: granulometria e teor de P_2O_5 da rocha.

Resumo dos resultados:

Estatística de regressão
R múltiplo 0,995654
R quadrac 0,991327
R quadrado 0,990171
Erro padrão 0,002279
Observação 18
ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	Significação
Regressão	2	0,008908	0,004454	857,2776	3,44E-16
Resíduo	15	7,79E-05	5,2E-06		
Total	17	0,008986			

P_2O_5	Granulometria (%)	Consumo detectado (t/t)
33,000	95	0,299
33,000	96	0,306
33,000	97	0,314
33,000	98	0,328
33,000	99	0,340
33,000	100	0,352
34,000	95	0,304
34,000	96	0,312
34,000	97	0,321
34,000	98	0,333
34,000	99	0,346
34,000	100	0,358
35,000	95	0,310
35,000	96	0,318
35,000	97	0,328
35,000	98	0,339
35,000	99	0,351
35,000	100	0,365

	<i>Corficiente</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>5% inferior</i>	<i>% superior</i>	<i>inferior 95%</i>	<i>superior 95%</i>
Interseção	2,207	0,037968	58,12807	4,45E-19	2,126073	2,287927	2,126073	2,287927
P_2O_5	-0,01183	0,000658	-17,9838	1,46E-11	-0,013247	-0,01043	-0,01324	-0,01043
Grnulometria	-0,01173	0,000315	-37,298	3,31E-16	3,31E-16	-0,01106	-0,0124	-0,01106

Quadro 6 – Determinação das equações relacionantes dos teores de P_2O_5 da rocha enviada pelo setor de concentrações e os custos de produção da mesma e do ácido fosfórico.

P_2O_5 t da rocha (%)	Custo da rocha (R\$) dado da empresa	Custo da rocha (R\$) pela fórmula	Custo do ácido (R\$) dado da empresa	Custo do ácido (R\$) pela fórmula
33	145,00	144,50	775,00	774,30
34	167,00	168,00	838,00	839,30
35	192,00	191,50	905,00	904,30

Fórmula para cálculo do custo da rocha em função do teor de fósforo total da mesma:

23,5 * Teor de P₂O₅ - 631

Fórmula para cálculo do custo de ácido fosfórico em função do teor de fósforo total da rocha: 65 * Teor de P₂O₅ – 1370,7

Quadro 7 – Aplicação do solver, sobre planilha de custos com os custos de rocha e ácido variando em função dos teores de P₂O₅ da rocha enviada pelo setor de concentração.

Teor de P ₂ O ₅ (%)	Granulometria passante malha 200)	Produção da moagem (t/h)	Fator de consumo da rocha (t/t)	Fator de consumo do ácido (t/t)	Custo da rocha	Custo do ácido	Produção horária corrigida da moagem (t/h)	Produção horária da reação (t/h)	Produção horária da granulação (t/h)	Custo total unitário (R\$)	Produção anual (t)	Lucro líquido anual (R\$)
33	95	15	0,310	0,677	145	774	14,250	65,67	40,96	654,46	358786	62982792
Custo fixo horário moagem de rocha					182	Custo fixo horário granulação					142	
CVH da moagem de rocha					198	Custo variável da granulação / t.					33	
Custo fixo horário reação					179	Custo da rocha / t					192	
Custo variável por tonelada reação					38	Custo do ácido / t					905	
						Preço de venda do STG					830	

Quadro 8 – Análise de significância dos dados estimados

Valores de lucro a partir de dados de testes	Valores de lucro a partir de estimadores
59507773	59573025
56707082	56506474
52280216	52060044
47807296	47976798
43102772	43387573
37928692	38292167
46250736	42971157
44299379	41174628
41200145	38929021

Valores de lucro a partir de dados de testes	Valores de lucro a partir de estimadores
39164803	36240430
36438363	33114176
32528676	29554925
25952927	26015100
25738728	25932568
24852679	25343824
23495373	24257976
23246338	22682998
20979870	20625898