

LUIS FELIPE MARTINS MANZIONE ESPINHAL

**SOFTWARE PARA SIMULAÇÃO DE CIRCUITO DE BRITAGEM E
CLASSIFICAÇÃO**

São Paulo

2004

LUIS FELIPE MARTINS MANZIONE ESPINHAL

**SOFTWARE PARA SIMULAÇÃO DE CIRCUITO DE BRITAGEM E
CLASSIFICAÇÃO**

Trabalho de Formatura em Engenharia de
Minas do curso de graduação do
Departamento de Engenharia de Minas e
de Petróleo da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo.

Orientador: Eng. Diogo Furuya

São Paulo

2004

TF-2004
E65
1422322

M2004 I

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700005447

FICHA CATALOGRÁFICA

Espinhal, Luis Felipe Martins Manzione

Software para simulação de circuito de britagem e classificação / L.F.M.M. Espinhal. -- São Paulo, 2004.

25 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1.Britagem 2.Modelagem matemática (Aplicações) 3.Pedreiras (Exploração; Produção) 4.Agregados (Uso) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Diogo Furuya, pela orientação e pelas longas explicações e discussões sobre como realizar o trabalho, além do fornecimento de grande parte do material necessário para a execução do software.

Ao amigo André Beltrame pelas muitas horas dedicadas à programação e por atender aos telefonemas a fim de solucionar alguns (muitos) probleminhas, sem reclamar.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo da EPUSP pela transmissão de conhecimento ao longo desses anos de graduação.

Aos integrantes da CDK Engenharia e Consultoria, Diogo, Rosana e Vágner, pela amizade e apoio durante esses últimos anos.

A todos meus amigos de classe que me “aturaram” ao longo do curso.

Aos meus familiares que sempre me apoiaram e auxiliaram, tanto nos momentos mais felizes quanto nos mais complicados.

RESUMO

Este trabalho descreve a criação de um software para simulação de um circuito de britagem e classificação, destinado à produção de agregado graúdo para construção civil. Serão apresentados todos os métodos e premissas utilizadas, desde a criação do fluxograma, até a simulação da eficiência do peneiramento computacionalmente.

Com relação à britagem, os dados utilizados se basearam nas curvas granulométricas dos britadores, fornecidas pelos fabricantes, permitindo que se determinasse o produto gerado pelo equipamento. Quanto às peneiras, foi desenvolvido um método particular para o cálculo do volume do material passante e do material retido, calculando-se dessa forma sua eficiência. Toda a programação foi realizada em Visual Basic, com apoio das planilhas do Microsoft Excel e Access.

O programa busca o aumento da agilidade na obtenção dos resultados oriundos das modificações no circuito, sendo possível alterar vários parâmetros iniciais, objetivando a obtenção tanto de um melhor índice de desempenho dos equipamentos, quanto de produtos de melhor qualidade. As conclusões do trabalho indicam que esta pode ser uma ferramenta de grande utilidade para a indústria de agregados, principalmente aquelas já implantadas, onde a automação muitas vezes é impossível ou onerosa, facilitando os cálculos e simulações de uma grande quantidade de configurações de regulagens em um curto espaço de tempo, permitindo um controle mais eficaz da produção instantânea.

PALAVRAS-CHAVE

- Britagem;
- Peneiramento;
- Software;
- Agregado.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	1
2.1.	Britagem.....	1
2.2.	Peneiramento	2
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	3
3.1.	Fluxograma	3
3.2.	Britadores.....	6
3.2.1.	<i>Britador Primário.....</i>	<i>6</i>
3.2.2.	<i>Britador Secundário</i>	<i>7</i>
3.2.3.	<i>Britador Terciário</i>	<i>8</i>
3.2.4.	<i>Britadores Quaternários</i>	<i>9</i>
3.3.	Peneiras	10
4.	PROGRAMAÇÃO.....	11
4.1.	Programação da Britagem	11
4.2.	Programação do Peneiramento.....	12
5.	SOFTWARE.....	14
5.1.	Utilização do software.....	14
5.2.	Resultados	16
5.2.1.	<i>Regulagem Inicial.....</i>	<i>16</i>
5.2.2.	<i>Otimização.....</i>	<i>17</i>
5.2.3.	<i>Exigência de mercado</i>	<i>18</i>
6.	CONCLUSÃO	20
7.	REFERÊNCIAS BIBILOGRÁFICAS.....	21

1. INTRODUÇÃO

O principal problema na produção de agregado graúdo para a construção civil é a obtenção de uma partição com produtos de diferentes características granulométricas. A variação na demanda por certos produtos torna complicada a sua obtenção, pois os equipamentos utilizados não podem ser modificados a cada exigência de mercado.

São Paulo hoje em dia é o terceiro maior estado produtor de bens minerais do país, perdendo somente para os estados do Pará e Minas Gerais. Entretanto, enquanto estes dois estados produzem minério de ferro, ouro e outros minérios de metais, a produção paulista se concentra nos agregados para construção civil conhecidos como pedra britada e areia.

A produção de agregados no Brasil no ano de 2.000 chegou a 238 milhões de metros cúbicos, segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (2000), sendo que 97 milhões de metros cúbicos são de pedra britada, dos quais 20% é produzida por empresas localizadas na região metropolitana de São Paulo, que é o maior centro consumidor do país. Desta produção, cerca de 60% é utilizada em concreto, que é o setor consumidor de agregados com maior desenvolvimento tecnológico, com o restante sendo absorvido pelos mais diversos usos, como pavimentação, por exemplo.

O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de um software que otimize a produção e auxilie na obtenção da melhor partição de produto, variando-se as aberturas dos equipamentos de britagem, as aberturas das peneiras e a partição dos fluxos. Para isso será utilizado um fluxograma hipotético, baseado num estudo de caso, mas o software pode ser aplicado a qualquer fluxograma existente. Para isso, será utilizado o programa Microsoft Visual Basic em conjunto com o Microsoft Excel e Access, que servirão para executar as operações a partir de um determinado fluxograma.

Como dito anteriormente, todos os britadores serão fixos (não poderão ser modificados) e será possível apenas a variação de suas aberturas, das malhas das peneiras e das partições dos fluxos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No trabalho estarão envolvidos dois conceitos básicos, que são a britagem e o peneiramento. Com esta revisão bibliográfica, procura-se estabelecer uma base à investigação do trabalho proposto, através destes dois pontos principais.

2.1. Britagem

Cominuição é o conjunto de operações de redução de tamanhos de partículas minerais, executado de maneira controlada e de modo a cumprir um objetivo pré-determinado. Isso inclui as exigências de controlar o tamanho máximo dos produtos e de evitar a geração de quantidades excessivas de finos (Chaves, 1999).

Outro parâmetro que será levado em conta é a *relação de redução*, que representa o quociente entre os tamanhos máximos da alimentação e do produto, de uma operação de cominuição.

Na britagem, as partículas grosseiras sofrem a ação de forças de compressão ou de impacto, por isso ela necessita de um grande volume de partículas e de tamanhos maiores. A sua relação de redução é pequena, as forças aplicadas são elevadas e a geometria do equipamento tem importância fundamental.

O dimensionamento dos britadores é feito usualmente com o auxílio de curvas e tabelas de operação fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos. O procedimento normal consta das seguintes etapas (CETEM, 2002):

- Consultar a tabela de especificação técnica definindo alguns equipamentos que estarão dentro das condições exigidas;
- Verificar as capacidades de produção de cada equipamento selecionado, observando se estão dentro das condições especificadas;
- Observar as curvas granulométricas do tipo de equipamento para melhor definir as condições de operação;
- O britador só brita partículas menores que $0,8A$. Então o tamanho do britador é condicionado pelo tamanho máximo da alimentação (A).

2.2. Peneiramento

Peneiramento é a operação de separação de uma população de partículas em duas frações de tamanhos diferentes, mediante a sua apresentação a um gabarito de abertura fixa e pré-determinada. Cada partícula tem apenas as possibilidades de passar ou de ficar retida. Os dois produtos chamam-se “oversize” ou retido e “undersize” ou passante.

A faixa de tamanhos submetidos ao peneiramento vai desde maticões de 18” (0,46 m) a talco (130 μ m). Os equipamentos capazes de fazer este serviço são muito variados, podendo ser divididos genericamente em peneiras fixas, peneiras vibratórias inclinadas, peneiras vibratórias horizontais, grelhas e trômeis (peneiras rotativas).

O peneiramento é dito “a seco” quando é feito com o material na sua umidade natural (que não pode, entretanto, ser muito elevada) e dito “a úmido” ou “via úmida” quando o material é alimentado na forma de uma polpa ou recebe água adicional através de sprays convenientemente dispostos sobre os decks de peneiramento.

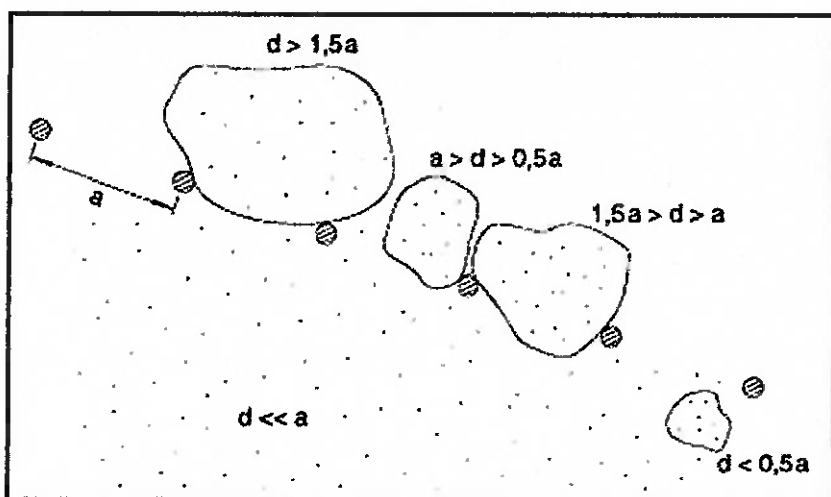
As partículas de tamanhos diferentes (diâmetro d), em relação à abertura da tela (a), apresentam comportamentos distintos. Vide figura 1 (Chaves-Peres, 1999).

- $d > 1,5 a$: as partículas maiores que 1,5 vez a abertura da tela escorrem sobre a tela e são encaminhadas para o oversize. Não acarretam problemas para o peneiramento, exceto problemas operacionais, se a sua quantidade for grande. Neste caso podem deformar a tela devido ao seu peso elevado, ou acentuar seu desgaste. Um deck de alívio é recomendado nessa situação.
- $1,5 a > d > a$: essas partículas também vão para o oversize. A diferença em relação à classe anterior é que, como têm tamanho próximo ao da malha, fazem várias tentativas para passar e podem acabar presas em alguma abertura, não saindo mais de lá.
- $a > d > 0,5 a$: nessa situação a partícula só passa se cair numa posição conveniente em relação à malha. Na prática, isso só acontece após um número elevado de tentativas e, ainda assim, grande número de partículas acaba sendo encaminhada ao oversize. Esta faixa de

tamanhos é denominada “faixa crítica” e é determinante tanto da capacidade da peneira como da eficiência de um dado peneiramento.

- $d < 0,5 a$: partículas menores que a metade da abertura da malha atravessam-na com facilidade e não interferem com o peneiramento.

- $d \ll 0,5 a$: partículas muito finas (poeiras e lamas) deveriam ter um comportamento idêntico ao da classe anterior. Na realidade isto acontece apenas com parte delas, muitas passam direto. Por causa da sua elevada área de superfície, outras tantas aderem às partículas maiores e as acompanham, seja para o oversize, seja para o undersize (a área de superfície está associada à umidade: o filme de água se distribui sobre a superfície das partículas e, portanto é maior nos finos). Grosseiramente pode-se admitir que as partículas desta classe se repartam entre oversize e undersize na proporção das quantidades de água arrastadas. Quando a quantidade destas partículas é muito grande é que se faz necessário o peneiramento a úmido, em que as partículas graúdas são “lavadas” sobre a tela.



Fonte: Chaves-Peres, 1999

Figura 1 - Comportamento individual das partículas

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Fluxograma

Não existe um circuito padrão para britar os diferentes tipos de minério. Geralmente a operação de britagem é feita dentro dos estágios convenientes (CETEM, 2002). Para a determinação do fluxograma base do trabalho, foram levados em consideração circuitos comumente utilizados, capacidade dos britadores, curvas granulométricas, e o tamanho máximo de alimentação.

O circuito será composto por quatro estágios de britagem, pois o “fator forma” é considerado importante, devido à crescente exigência por qualidade do mercado. Quanto maior for a quantidade de estágios, o produto tenderá a possuir um formato cada vez mais cúbico, evitando-se assim partículas lamelares, que normalmente não são desejáveis.

Haverá circuito fechado apenas na britagem quaternária, sendo composta por dois britadores em paralelo, pois essa é a faixa de produto (abaixo de “pedra 1”) em que há uma

grande demanda do mercado, sendo necessária uma maior produção. Os modelos dos britadores selecionados serão descritos posteriormente.

Serão introduzidas também sete “partições de fluxos”, onde poderá ser modificada a proporção em que o material irá, ou para o produto final, ou continuará no circuito de britagem, dependendo apenas da necessidade de produção.

Quanto às peneiras, irão possuir 3 decks devido à elevada gama de produtos requeridos, que irão desde “pedra 4” até “pó”. Serão quatro peneiras, distribuídas no circuito da seguinte forma:

- Peneira vibratória 01 (PV-01): localizada após o britador secundário (BR-02);
- Peneira vibratória 02 (PV-02): localizada após o britador terciário (BR-03), receberá tanto produtos da PV-01 quanto do britador;
- Peneira vibratória 03 (PV-03): localizada após a PV-02, servirá para eliminar os finos que não necessitam ser rebitados ou até mesmo para a obtenção de novos produtos;
- Peneira vibratória 04 (PV-04): localizada após os dois britadores quaternários, trabalhará em circuito fechado e será responsável por 3 produtos finais.

Os produtos obtidos irão desde “pedra 0” até “pedra 4”, além de bica corrida, pedrisco misto e pó de pedra. Segundo a ABNT, os tamanhos das pedras são os seguintes:

Pedra zero (ou pedrisco)	4,8mm a 9,5mm
Pedra 1	9,5mm a 19mm
Pedra 2	19mm a 25mm
Pedra 3	25mm a 38mm
Pedra 4	38mm a 76mm

Quadro 1 - Tamanho das pedras (ABNT)

Com relação aos outros produtos, o usuário deverá escolher os tamanhos, pois não há nenhum valor fixo na norma, sendo, portanto, um valor variável de acordo com o produtor. Seguem abaixo alguns valores médios encontrados.

Bica Corrida	Diâmetro entre 0 e 50 mm, sem exigência de composição granulométrica
Pedrisco Misto	Diâmetro menor que 9,5 mm
Pó de Pedra	Diâmetro menor que 4,8 mm

Quadro 2 – Tamanho médio dos produtos

A seguir será apresentado o fluxograma que será a base de todo o trabalho.

FLUXOGRAMA

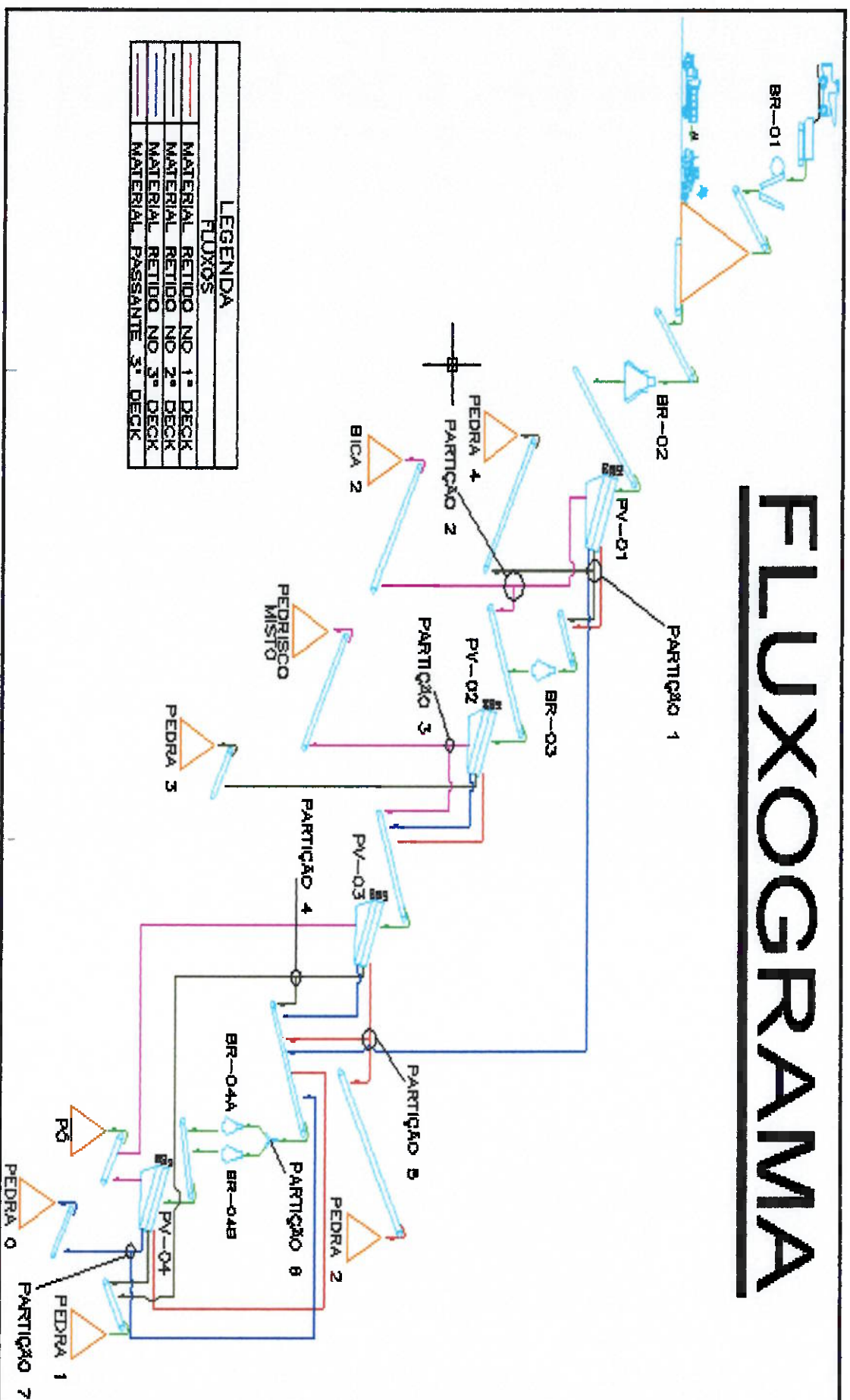


Figura 2 - Fluxograma

3.2. Britadores

Nesse item será discutido como foram selecionados os modelos dos britadores, e os parâmetros que serão utilizados pelo programa, como, por exemplo, curvas granulométricas e produção nominal. O material que vai ser britado será o granito, com WI em torno de 14 KWh/st e densidade aparente de $1,5\text{g/cm}^3$.

Os britadores selecionados são:

- Britador Primário (BR-01): SVEDALA Jawmaster 1312 HD;
- Britador Secundário (BR-02): SVEDALA S 4000 (médios);
- Britador Terciário (BR-03): SVEDALA H 4000 (médios);
- Britadores Quaternários: NORDBERG OC 1144 SX (BR-04A) e FAÇO 120 RA (BR-04B).

O objetivo do programa não será o dimensionamento de britadores, portanto estes cinco modelos serão fixos e não poderão ser modificados. Apenas as suas aberturas e a sua capacidade nominal irão variar, pois quanto menor a abertura, menor a sua produção e vice-versa, sendo um software direcionado para determinada instalação.

3.2.1. Britador Primário

O modelo escolhido será o SVEDALA Jawmaster 1312 HD, esse será o único britador que trabalhará com uma abertura fixa de 9", pois seu produto será encaminhado para uma pilha pulmão, onde a partir daí haverá a alimentação do britador secundário. Portanto, a pilha pulmão terá a mesma distribuição granulométrica do produto obtido pelo britador primário.

Como o produto a ser britado será o granito, um britador giratório não é muito indicado devido à abrasividade do material. Já para um britador de impacto, além desse problema, este equipamento possui um produto com uma faixa granulométrica muito ampla, o que não é bom para a produção de agregados graúdos, portanto, o giratório é realmente a melhor escolha.

Atualmente, o ponto de equilíbrio para uma empresa de produção de agregado graúdo para construção civil é uma produção de 60 a 75 mil toneladas por mês. Considerando-se uma jornada de 10 horas diárias, 20 dias ao mês e um fator de utilização de 80% do britador, por ele trabalhar com um material vindo do R.O.M (run of mine), chegamos a um valor de capacidade nominal de aproximadamente 440 t/h. Como o objetivo é produzir um valor superior a este, o britador Jawmaster 1312 HD, que possui capacidade nominal de 513 t/h com abertura de 9" é a melhor escolha.

As maiores vantagens do Jawmaster sobre um britador de mandíbula de 1 eixo convencional, são a sua câmara de britagem simétrica e de grande profundidade vertical, garantindo uma maior capacidade e um maior grau de redução. Outra vantagem é que por ser um projeto para serviço pesado, devido à sua carcaça monobloco e eixo forjado rígido de diâmetro maior em relação a outros britadores de tamanho similar, o Jawmaster possuirá uma maior vida útil (FAÇO – 1994).

A seguir estão os quadros com as curvas granulométricas e as capacidades de produção para as respectivas aberturas.

Jawmaster 1312 HD - Svedala (Primário)							
GRANITO (12,1 < WI (KWh/st) < 16) T _{max} = 1,8 X APF							
	APF (pol.) →	10" (254)	9" (229)	8" (203)	7" (178)	6" (152)	5" (127)
abertura (pol.)	abertura (mm)	% passante acumulada	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.
18"	457	100	100				
15"	381	95	96	100	100		
12"	305	90	92	95	98	100	
10"	254	75	84	90	95	100	100
8"	203	62	68	75	86	93	98
7"	178	55	60	67	75	88	94
6"	152	48	52	58	66	75	88
5"	127	40	44	50	56	64	75
4"	102	31	35	39	46	52	62
3 1/2"	89	27	30	34	39	47	55
3"	76	23	26	29	33	39	48
2 1/2"	64	20	22	24	28	32	39
2"	51	16	18	20	22	26	31
1 3/4"	44	15	16	17	20	23	26
1 1/2"	38	13	14	15	17	20	23
1 1/4"	32	11	13	13	15	17	19
1"	25	10	11	11	13	14	16
3/4"	19	9	10	10	11	12	14
5/8"	16	8	9	9	9	10	12
1/2"	13	7	7	8	8	9	10

Quadro 3 – Curvas granulométricas (Jawmaster 1312 HD)

JAWMASTER 1312 HD - SVEDALA							
CAPACIDADES DE PRODUÇÃO (t / h)							
Modelo	APF (pol.) →	10" (254)	9" (229)	8" (203)	7" (178)	6" (152)	5" (127)
1312 HD	—	568	513	456	399	337	279

Quadro 4 – Capacidades de produção (Jawmaster 1312 HD)

3.2.2. Britador Secundário

Para a britagem secundária, o modelo escolhido é o SVEDALA S 4000, que trabalhará com uma abertura variável, a ser definida pelo usuário do software.

O britador secundário é função da produção do britador primário, portanto, sua capacidade também tem que ser elevada, caso se necessite de uma maior relação de redução, essa produção será "sacrificada", portanto, ficará a critério do usuário decidir qual a melhor opção de acordo com o seu objetivo.

Nas empresas produtoras de agregado graúdo para construção civil, o conjunto formado pelo britador 1312HD / S 4000 é o mais difundido, sendo, portanto a melhor escolha para o nosso caso.

A seguir seguem as curvas granulométricas e as capacidades de produção dos britadores S 4000.

BRITADOR S 4000 - SVEDALA								
	APF (pol.) →	2 (51)	1 3/4 (44)	1 5/8 (41)	1 3/8 (35)	1 1/4 (32)	1 3/16 (29)	1 (25)
abertura (pol)	abertura (mm)	% passante acumulada	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.
3 1/2	89	100						
3	76	95	100					
2 1/2	64	85	95	100	100			
2	51	63	75	85	94	100	100	
1 3/4	44	55	65	74	86	93	98	100
1 1/2	38	48	58	68	78	85	92	97
1 1/4	32	33	42	50	62	68	76	85
1	25	27	32	40	49	54	63	72
3/4	19	21	25	31	38	43	50	58
5/8	16	16	20	23	30	32	38	42
1/2	13	14	16	18	23	26	30	34
3/8	9,5	11	13	14	18	20	23	27
5/16	8,0	10	12	13	17	19	21	24
1/4	6,0	9	10	11	14	15	18	19
3/16	4,8	7,5	9	10	12	13	16	18
1/8	3,2	6	7	8	9,5	10	12	13
10#	1,7	4	5	5	8	9	9,5	11
20#	0,8	3,5	4	4	5	6	6,5	7

Quadro 5 – Curvas granulométricas (S 4000)

SVEDALA - S4000									
CAPACIDADES DE PRODUÇÃO (t/h)									
Modelo	Câmara	APF (mm) →	1 (25)	1 3/16 (29)	1 1/4 (32)	1 3/8 (35)	1 5/8 (41)	1 3/4 (44)	2 (51)
S4000	C (GROSSO)	—————	220	275	293	348	435	450	465

Quadro 6 – Capacidades de produção (S 4000)

3.2.3. Britador Terciário

Na britagem terciária, o britador escolhido foi o SVEDALA H 4000. Como serão utilizados dois britadores quaternários, devido à necessidade de uma maior produção numa faixa granulométrica mais fina, a incompatibilidade na capacidade de produção inicialmente verificada, deixa de existir, já que o fluxo será redirecionado aos quaternários através das peneiras. Portanto, não será necessária a utilização de um H 6000, por exemplo, que possui uma capacidade maior.

Esse britador servirá apenas para britar o material retido no primeiro deck da PV-02 e parte do fluxo retido no segundo deck da mesma peneira, diminuindo consideravelmente a capacidade requerida. Analisando-se o grau de utilização, a partição de fluxo pode ser modificada até se obter uma produção ótima em função de uma determinada característica de produto.

A seguir seguem os quadros com a curva granulométrica e capacidade de produção do britador em questão.

BRITADOR H 4000 - SVEDALA								
	APF (pol.) →	1 1/2 (38)	1 1/4 (32)	1 (25)	7/8 (22)	3/4 (19)	5/8 (16)	1/2 (13)
abertura (pol)	abertura (mm)	% passante acumulada	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.
2 1/2	64	100						
2	51	97	100					
1 3/4	44	88	96					
1 1/2	38	78	89	100	100			
1 1/4	32	64	79	95	99	100		
1	25	48	60	80	88	97	100	
3/4	19	37	48	65	73	86	93	100
5/8	16	27	33	49	56	68	79	92
1/2	13	21	26	38	42	51	63	79
3/8	9,5	17	20	29	32	41	51	62
5/16	8,0	14	18	25	29	36	44	56
1/4	6,0	12	14	19	22	27	34	42
3/16	4,8	10	12	17	19	22	29	36
1/8	3,2	7	8	12	13	16	20	23
10#	1,7	5	6	8	9	11	13	16
20#	0,8	4	5	6	7	8	10	11

Quadro 7 - Curvas granulométricas (H 4000)

		SVEDALA H 4000							
		CAPACIDADES DE PRODUÇÃO (t/h)							
Modelo	Câmara	APF (mm) →	1/2 (13)	5/8 (16)	3/4 (19)	7/8 (22)	1 (25)	1 1/4 (32)	1 1/2 (38)
H 4000	MÉDIOS	—————	165	222,5	240	255	272,5	280	290

Quadro 8 - Capacidades de produção (H 4000)

3.2.4. Britadores Quaternários

Essa é a parte mais complexa do processo, pois nela haverá um circuito fechado com dois britadores, várias partições de fluxo e a obtenção de quatro produtos finais.

Os britadores utilizados serão, por se tratar de um fluxograma hipotético baseado em um estudo de caso, um NORDBERG OC 1144 SX e um FAÇO 120 RA. Como nem sempre se pode utilizar equipamentos ideais, pois se trata, via de regra, de instalações já existentes, pretende-se simular um problema real.

Mesmo não sendo os ideais, esses britadores trabalhando em conjunto, irão suprir a necessidades de produção que se deseja, mesmo com uma elevada carga circulante.

OMNICON 1144 SX - NORDBERG						
	APF (pol.) →	1 (25)	7/8 (22)	3/4 (19)	5/8 (16)	1/2 (13)
abertura (pol)	abertura (mm)	% passante acumulada	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.
2	51	100				
1 3/4	44	99	100			
1 1/2	38	98	99	100		
1 1/4	32	94	97	99	100	
1	25	82	90	96	98	100
3/4	19	67	74	84	93	98
5/8	16	58	64	72	81	94
1/2	13	46	52	58	67	79
3/8	9,5	38	42	48	56	67
5/16	8,0	31	34	39	46	56
1/4	6,0	24	28	31	36	43
3/16	4,8	21	24	27	31	36
1/8	3,2	13	14	16	20	24
10#	1,7	8	9	10	12	14
20#	0,8	5	6	7	8	10

Quadro 9 - Curvas granulométricas (Omnicon 1144 SX)

OMNICON 1144 SX - NORDBERG						
CAPACIDADES DE PRODUÇÃO (t/h)						
Modelo	APF (pol) →	1/2 (13)	5/8 (16)	3/4 (19)	7/8 (22)	1 (25)
1144 SX	—————	165	195	215	235	250

Quadro 10 - Capacidades de produção (Omnicon 1144 SX)

REBRITADOR DE CONE 120 RA - FAÇO								
	APF (pol.) →	1 1/2 (38)	1 1/4 (32)	1 (25)	7/8 (22)	3/4 (19)	5/8 (16)	1/2 (13)
abertura (pol)	abertura (mm)	% passante acumulada	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.	% p.a.
3	76	100						
2 1/2	64	95	100					
2	51	85	95	100				
1 3/4	44	75	91	97	100			
1 1/2	38	65	84	95	97	100		
1 1/4	32	50	65	83	92	95	100	
1	25	35	47	61	75	84	95	100
3/4	19	25	33	44	54	64	80	94
5/8	16	20	25	32	40	49	62	81
1/2	13	15	18	23	27	35	45	60
3/8	9,5	12	14	17	20	24	32	42
5/16	8,0	10	12	14	16	20	25	33
1/4	6,0	8,5	10	12	14	15	19	25
3/16	4,8	7	8	9,5	11	13	14	17
1/8	3,2	6	6,5	7	8	9	10	12
10#	1,7	4,5	5	5,5	6	7	8	9
20#	0,8	3	4	5	5,5	6	7	8

Quadro 11 - Capacidades de produção (120 RA)

REBRITADORES DE CONE 120 RA - FAÇO									
CAPACIDADES DE PRODUÇÃO (t/h)									
Modelo	Revestimento	APF (pol) →	1/2 (13)	5/8 (16)	3/4 (19)	7/8 (22)	1 (25)	1 1/4 (32)	1 1/2 (38)
120 RA	Fino	—————	57	74	90	104	113	125	133

Quadro 12 - Capacidades de produção (120 RA)

3.3. Peneiras

Conforme dito anteriormente, as peneiras utilizadas possuirão três decks, que poderão ter suas malhas alteradas pelo usuário. Suas posições no circuito serão fixas e a sua área não será dimensionada pelo programa. Será levada em conta apenas a eficiência do peneiramento, que deverá ser definida pelo operador do software.

Em empreendimentos produtores de agregado graúdo para a construção civil, o cálculo comumente utilizado para a eficiência do peneiramento é de acordo com o mostrado a seguir.

- $\text{Eficiência (\%)} = \frac{\text{t/h de material retido presente na alimentação}}{\text{t/h oversize}} \times 100$

Portanto, a eficiência é aplicada sobre o material que ficou retido na peneira e não sobre o material passante, o que não é muito indicado pela literatura, mas por ser o mais usual, foi considerado como o melhor método para a aplicação no software.

O material que deveria passar e ficou retido na peneira, tem que ser redistribuído entre as malhas com abertura até 1/4 da malha de corte de uma maneira proporcional. O material das malhas mais finas não entrará nessa redistribuição, pois em britagem, o material fino pode ser considerado desprezível, portanto não influenciará na eficiência do peneiramento. Ademais, a fração fina é tratada como material pulverulento, portanto, fora da eficiência de peneiramento.

Um problema encontrado foi que na redistribuição, algumas malhas ficavam com valor negativo, pois a distribuição granulométrica dos produtos possui malhas muito próximas umas das outras, por isso, foram adotados valores proporcionais para essa distribuição, evitando que isso ocorra.

A seguir, será demonstrado como o software utilizará o dado da eficiência do peneiramento para redistribuir o material em suas respectivas malhas.

4. PROGRAMAÇÃO

Neste capítulo será demonstrada a forma com que o programa utilizará os dados e os aplicará na obtenção de resultados. Como a ênfase do trabalho são os parâmetros, os métodos e o raciocínio que serão utilizados, a linguagem de programação não será abordada em detalhes, já que se trata apenas de uma ferramenta para executar os cálculos desejados, dentro de uma apresentação condizente com o software.

4.1. Programação da Britagem

Para executar os cálculos, o programa necessita das curvas granulométricas de cada britador, suas respectivas aberturas e as capacidades nominais de produção, todos já pré-definidos, não sendo necessário que o usuário os forneça.

Será calculado também o “grau de utilização” dos britadores, que representa o quociente entre a “vazão alimentada” e a sua “capacidade nominal”. Dessa forma pode-se verificar se o britador está sendo bem utilizado, ou até mesmo sobrecarregado, evitando assim que haja um erro na escolha da abertura que será utilizada.

As fórmulas que serão utilizadas pelo programa serão:

- Grau de utilização = $\frac{\text{Vazão alimentada (t/h)}}{\text{Cap. Nominal (t/h)}}$
- Relação de redução = $\frac{\text{Tamanho máximo de alimentação}}{\text{Tamanho máximo do produto}}$

O programa começará diretamente do britador secundário, pois foi considerado anteriormente que o britador primário trabalhará com uma abertura fixa de 9”. Com a vazão de alimentação do britador secundário definida, primeiramente será calculado seu grau de utilização. Através das curvas granulométricas dos fluxos de entrada e de saída, será calculada sua relação de redução. O fluxo de saída receberá os valores da curva granulométrica da abertura escolhida e será encaminhado para a próxima operação, que no caso do britador secundário é uma peneira. Portanto, simplificada, os britadores apenas trocam os valores dos vetores que chegaram até ele, por novos valores de acordo com o britador e sua respectiva abertura.

Como a britagem quaternária ocorre em circuito fechado, a carga circulante vai aumentando até chegar a um ponto em que se estabiliza. No software, a carga circulante é estimada com um erro inferior a 10^{-3} , ou um valor máximo de trinta iterações evitando que os cálculos se tornem muito prolongados.

4.2. Programação do Peneiramento

Para minimizar o problema do valor negativo em algumas malhas dependendo do valor de eficiência escolhido, foi desenvolvido um método que redistribui o material que ficou no over, mas deveria ir para o underflow de uma forma proporcional tanto a fatores pré-determinados, quanto à sua vazão em toneladas por hora.

Abaixo segue uma planilha que demonstra os cálculos que serão realizados pelo programa e seus resultados finais. No exemplo, a alimentação é de 100 t/h, a eficiência é de 90% e a malha de corte é de 1" (polegada). A região em amarelo representa as malhas em que haverá a redistribuição de material.

Alimentação: 100 t/h									
abertura (pol)	%passante acumulada	%retida simples	ALIMENTAÇÃO		"90% de Eficiência"				
			oversize (t/h)	undersize (t/h)	fatores	y	oversize (t/h)	undersize (t/h)	
2	100	0	0,00	-	-	-	0,00	-	
13/4	93	7	7,00	-	-	-	7,00	-	
1 1/2	85	8	8,00	-	-	-	8,00	-	
1 1/4	68	17	17,00	-	-	-	17,00	-	
1	54	14	14,00	-	-	-	14,00	-	
3/4	43	11	-	11,00	6,00	3,14	2,00	9,00	
5/8	32	11	-	11,00	5,00	2,62	1,66	9,34	
1/2	26	6	-	6,00	4,00	1,14	0,73	5,27	
3/8	20	6	-	6,00	3,00	0,86	0,54	5,46	
5/16	19	1	-	1,00	2,00	0,10	0,06	0,94	
1/4	15	4	-	4,00	1,00	0,19	0,12	3,88	
3/16	13	2	-	2,00	-	-	-	2,00	
1/8	10	3	-	3,00	-	-	-	3,00	
10#	9	1	-	1,00	-	-	-	1,00	
20#	6	3	-	3,00	-	-	-	3,00	
-20#	-	6	-	6,00	-	-	-	6,00	
total	—	100	46,00	54,00	-	-	51,11	48,89	
eficiência %	90						eficiência sobre under (%)	90,53	
oversize (t/h)	51,11								
distribuição (t/h)	5,11								
x = (100/soma fatores)	4,76								
y =	[(under*fator*x)/100]	por malha							
z = (soma z) y	8,05								
over =	(yz)*distribuição	por malha							

Quadro 13 – Exemplo do cálculo da eficiência realizado pelo programa

Será utilizado o Quadro 13 para demonstrar como serão feitos os cálculos pelo programa. Abaixo seguem todos os passos dos cálculos:

1º) A partir da “% passante acumulada” do produto que chega ao deck da peneira, calcula-se a “% retida simples” em cada malha.

Ex: Malha de 1 3/4”: 100-93 = 7 % retido

2º) Sabendo-se a alimentação em toneladas por hora, obtemos a massa que fica retida em cada malha, multiplicando-se esse valor pela “% retida simples”.

Ex: Malha de 1”: 100x0,14 = 14 t/h

3º) Separa-se o material em “oversize” e “undersize” na alimentação e calcula-se a sua soma.

Ex: oversize = $0+7+8+17+14 = 46$ t/h

4º) Com o valor do oversize em mãos, aplica-se a eficiência e obtém-se a quantidade de material que será redistribuído.

Ex: $46 \text{ t/h (oversize alimentação)} = 51,11 \text{ t/h (valor do oversize com 90 \% de eficiência)}$
 $0,90 \text{ (eficiência)}$

material a ser redistribuído: $51,11 - 46 = 5,11 \text{ t/h}$

5º) Com a malha de corte definida pelo usuário, definimos o número de malhas que serão responsáveis pela ineficiência. Conforme dito anteriormente, são as malhas com abertura até 1/4 da malha de corte, sendo que as que estão mais próximas desse valor, devem possuir maior quantidade de material presente no oversize.

Ex: malha de corte = 1”; 1/4 da malha de corte = 1/4”;
Portanto, temos 6 malhas entre 1” e 1/4”, são elas: 3/4”, 5/8”, 1/2”, 3/8”, 5/16” e 1/4”.

6º) Serão criados fatores de multiplicação que irão desde a quantidade de malhas que terão seus valores modificados, até 1, ou seja, esses fatores distribuirão o material de uma forma proporcional à sua proximidade da malha de corte, quanto mais próxima, mais material deverá ficar retido no oversize da peneira e vice-versa.

Ex: como temos 6 malhas, a malha de 3/4” terá um fator igual a 6, a próxima malha (5/8”) terá um fator igual a 5 e assim por diante até a última malha (1/4”) que terá valor igual a 1.

7º) O próximo passo é determinar um novo fator que será chamado de “y”, que será um fator que estabelecerá uma proporcionalidade entre a quantidade distribuída e a vazão de cada malha, tentando minimizar valores negativos na redistribuição. Sua fórmula é a seguinte:

$$y = \frac{\text{under alimentação} \times \text{fator}}{\text{soma dos fatores}}$$

Ex: para a malha de 1/2”: $y = \frac{6 \times 4}{21} = 1,14$

8º) Com os fatores e os valores de “y” calculados para cada malha, agora será feita a redistribuição no oversize do material que ficou retido, mas deveria passar. Ela será feita da seguinte forma:

$$\text{oversize} = [y / (\text{somatória de } y)] \times \text{material a ser redistribuído}$$

Ex: para a malha de 3/4”: $(3,14/8,05) \times 5,11 = 2,00 \text{ t/h}$

9º) Agora basta calcular o undersize subtraindo o undersize da alimentação do oversize da peneira.

Ex: para a malha de 5/8”: $11 - 1,66 = 9,34 \text{ t/h para o undersize da peneira}$

10º) Por fim, com a redistribuição feita, obtemos o novo valor para o oversize e para o undersize da peneira.

Com esses cálculos, percebemos que a distribuição está coerente com aquilo que se desejava, pois nas malhas mais próximas das malhas de corte, há uma maior porcentagem de material retido, conforme é demonstrado a seguir no Quadro 14.

abertura (pol)	% material no oversize
3/4	18,15
5/8	15,12
1/2	12,10
3/8	9,07
5/16	6,05
1/4	3,02

Quadro 14 - % de material no oversize em função da abertura da peneira

5. SOFTWARE

Neste capítulo será demonstrado o software, como utilizá-lo e os resultados obtidos. A programação foi feita em Visual Basic e executará exatamente os cálculos definidos acima, tanto para os britadores quanto para as peneiras. O nome do software será “Britagem Virtual”.

5.1. Utilização do software

Primeiramente será necessária a instalação do software, por isso foi criado um aplicativo de instalação chamado “Setup” que o instalará automaticamente, bastando apenas seguir as informações contidas na tela.

Com o programa instalado, ele estará pronto para ser utilizado. Na página inicial (ver Figura 3) estarão contidos o fluxograma e todos os locais reservados para os dados iniciais definidos pelo usuário. Esses campos serão compostos por:

- Alimentação do Britador Secundário em t/h;
- Aberturas dos Britadores em mm;
- Partição de Fluxo (%);
- Malhas das peneiras em mm;
- Eficiência das peneiras em decimais.

Além desses parâmetros, também deverá ser fornecida a porcentagem requerida para cada produto, sendo possível dessa forma calcular o erro obtido através da diferença entre o produto obtido e o requerido. Para isso, é necessário clicar na opção “Configuração” e em seguida em “Produtos”, bastando apenas digitar os valores requeridos nas células existentes.

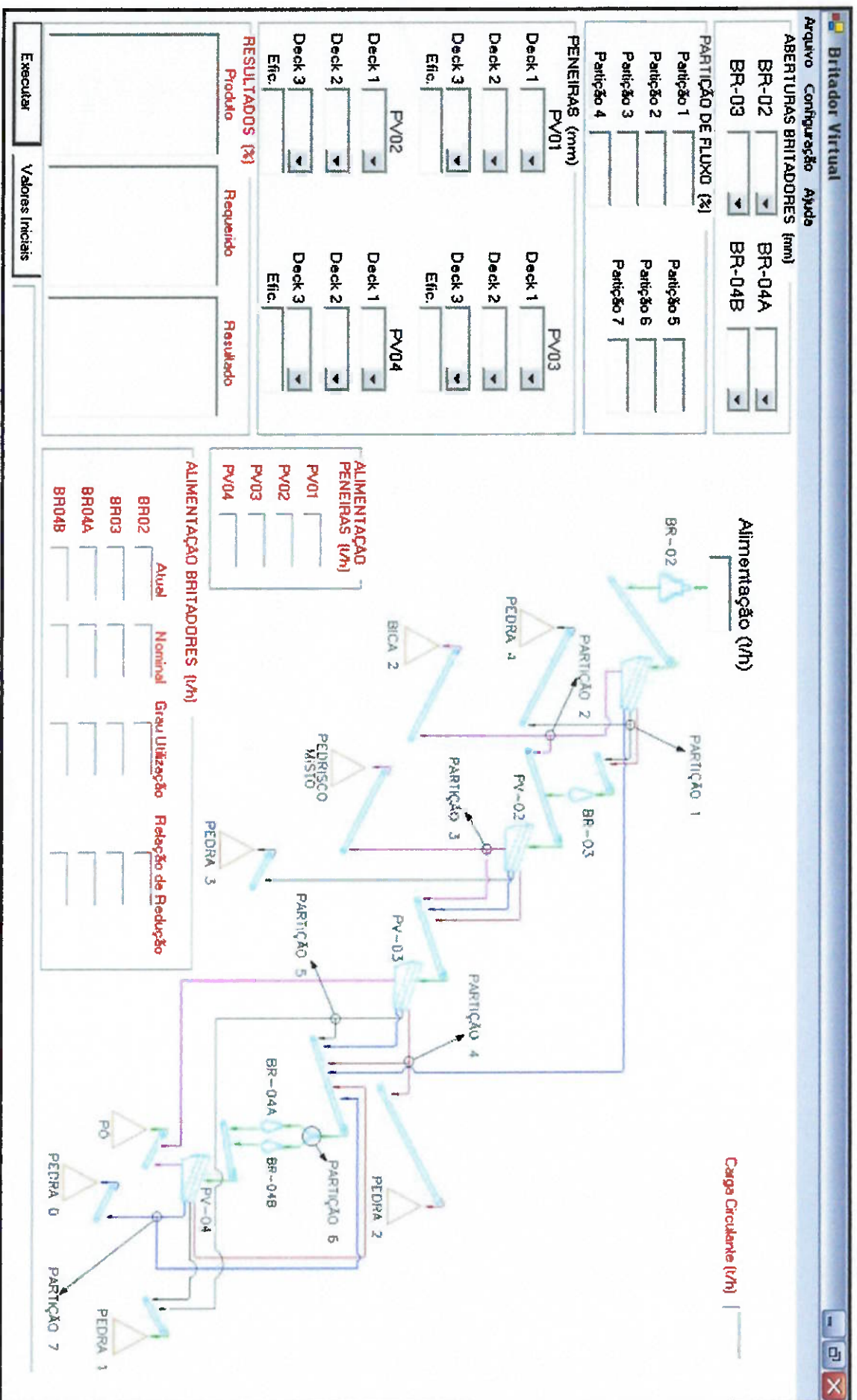


Figura 3 – Página Inicial

Para facilitar a execução, existe um botão chamado de “Valores Iniciais” que possui valores pré-definidos para todos os dados iniciais, com isso, o usuário pode apenas ir modificando alguns parâmetros até obter o produto que deseja. As regiões que devem ser preenchidas estão na cor preta, já os resultados obtidos estão na cor vermelha.

Também há a opção de salvar qualquer configuração que se deseje, podendo desta forma utilizá-la posteriormente. Esta ferramenta é muito útil, pois a configuração obtida fica guardada e seus valores podem ser comparados com novos valores, até se encontrar a melhor solução.

Foi definido que a “partição de fluxo” é o valor em porcentagem da quantidade de material que irá para a pilha de produto final. Na partição 1, por exemplo, caso o valor seja de 100 %, todo o material irá para a pilha de pedra 4, caso o valor seja de 0%, todo o material irá para o britador terciário. A única exceção é o caso da partição 6, pois essa partição é responsável apenas por dividir os fluxos entre os britadores, portanto foi adotado que para um valor de 100% todo o fluxo irá para o britador da esquerda (BR-04A), ocorrendo o inverso para a opção de 0%.

5.2. Resultados

Por se tratar de um software, os resultados obtidos irão variar de acordo com o que o usuário desejar, por isso serão escolhidos valores pré-definidos para os dados de entrada e a partir deles os resultados serão analisados.

Como o número de variáveis é muito grande, serão definidas algumas situações a serem analisadas. Serão elas:

- Circuito com uma regulagem inicial pré-definida;
- Otimização do circuito;
- Adaptação do circuito a exigências de mercado.

5.2.1. Regulagem Inicial

Primeiramente será utilizada uma regulagem inicial para a alimentação do circuito, aberturas das peneiras e suas respectivas eficiências, abertura dos britadores, partições de fluxo e produto requerido.

Os valores utilizados inicialmente como padrão, serão apresentados a seguir no Quadro 15.

Alimentação (t/h)	400							
Produto Requerido (%)	Pedra 4	Pedra 3	Pedra 2	Pedra 1	Pedra 0	P. Misto	Bica	Pó
	10	6	10	29	9	6	13	17
Partições de Fluxo (%)	Partição 1	2	3	4	5	6	7	-
	20	50	40	100	30	70	100	-
Peneiras (mm)	PV-01	PV-02	PV-03	PV-04				
	(76; 38; 25)	(38; 25; 9,5)	(19; 9,5; 4,8)	(19; 9,5; 4,8)				
Eficiência do Peneiramento	0,95	0,9	0,85	0,85				

Quadro 15 – Valores Padrão

A escolha desses valores foi baseada em uma análise prévia do circuito de britagem e classificação. A alimentação escolhida foi de 400 t/h, permitindo que o britador secundário

trabalhe em uma condição ótima, evitando tanto que seja sobrecarregado, quanto subutilizado. Com relação ao produto, a maior demanda mercadológica se concentra na produção abaixo de “pedra 1”, por isso foi considerada uma maior porcentagem nesta faixa de produto.

As partições de fluxo foram ajustadas para se obter valores próximos aos desejados no produto requerido. Na “partição 7” foi adotado o valor de 100%, diminuindo conseqüentemente a carga circulante dos britadores quaternários, pois dessa forma, todo o fluxo é direcionado para a pilha de produto.

Quanto às peneiras, as aberturas dos decks foram escolhidas de acordo com o tamanho das pedras definido pela ABNT. Por exemplo, na PV-01, o primeiro e o segundo decks tem aberturas de respectivamente 76 e 38mm, correspondentes à faixa de produto considerada como “pedra 4”. As eficiências de peneiramento escolhidas foram decrescendo à medida que os decks das peneiras foram ficando com suas aberturas menores, por isso a PV-01 possui uma maior eficiência em relação à PV-04.

Os resultados dessa simulação se encontram no ANEXO A. Com esses valores iniciais em mãos, será efetuada uma análise posterior com o objetivo de otimizar a utilização dos equipamentos de britagem.

5.2.2. *Otimização*

Avaliando os resultados, percebemos que o grau de utilização dos britadores terciários e quaternários está fora da faixa ideal, entre 80 e 90%. Para solucionar esse problema, algumas medidas podem ser tomadas, como por exemplo, a diminuição da abertura desses britadores, diminuindo a sua capacidade nominal e conseqüentemente aumentando seu grau de utilização. Outra medida possível seria a modificação dos valores das partições de fluxo, mas para essa análise manteremos seu valor fixo, pois dessa forma trabalhamos apenas com uma variável, facilitando a compreensão do comportamento do circuito.

Primeiramente vai ser modificada a abertura do britador terciário até o ponto em que seu grau de utilização ultrapasse os 80%. O primeiro valor encontrado foi para um APF de 16mm, ou seja, duas aberturas menores em relação à inicial (22mm). Agora vamos alterar para 13mm a abertura do BR-04A, com isso obtemos um valor de 84% para seu grau de utilização. Só com essas modificações, o BR-04B já ficou dentro da faixa desejada (80%), com isso, o circuito está mais bem utilizado e considerado otimizado. Os valores de produção requeridos foram mantidos, permitindo a comparação dos valores iniciais com os da modificação. Os resultados obtidos na simulação podem ser encontrados no ANEXO B.

As conseqüências dessa modificação no comportamento do sistema foram as seguintes:

- Produtos: os que mantiveram a partição original foram a “bica 2” e a “pedra 4”, que não se influenciam pela alteração, por serem gerados antes da britagem terciária. A maior modificação ocorreu com a “pedra 3”, pois devido à diminuição da abertura do britador terciário, tornou o seu produto 100% passante na malha 25mm, não permitindo a sua produção, e por conseguinte houve um aumento na produção de “pedrisco misto”. Os britadores quaternários foram responsáveis pelo aumento na quantidade de “pó” e “pedra 0”. Os valores estão demonstrados na figura 4;

RESULTADOS (%)		
Produto	Requerido	Resultado
Pedra 4	10	9,85
Pedra 3	6	0
Pedra 2	10	6,37
Pedra 1	29	28,02
Pedra 0	9	12,62
Pedra M.	6	9,25
Bica 2	13	12,66
Pó	17	21,24
Total	100	100
Erro (%)	----	22,22

Figura 4 – Comparação entre os valores requeridos e o resultado obtido

- Carga circulante: seu valor passou de 24,4t/h para 17,2t/h, o que é coerente, pois com a diminuição da abertura do britador quaternário, seu produto se tornou mais fino, evitando a recirculação no circuito;
- Relação de redução: nos britadores onde foram modificadas as aberturas, pode-se perceber um aumento na relação de redução, apenas confirmando o que já era esperado.

Nessa alteração foi enfatizada apenas a obtenção de um melhor grau de utilização dos equipamentos, em detrimento do produto obtido, portanto, cada regulagem executada deve seguir um caminho pré-definido, dependendo do objetivo a ser atingido.

5.2.3. Exigência de mercado

O mercado de agregado graúdo para construção civil é muito dinâmico, não existe uma demanda fixa para cada tipo de produto, a construção de uma nova obra, como uma rodovia, por exemplo, pode alterar muito a necessidade de produção de certo produto. Com este software, a simulação dessas situações é simplificada, facilitando a obtenção da melhor regulagem do sistema para suprir essa demanda.

Será simulado um grande aumento na demanda de “pedra 1”, onde haverá a necessidade de uma produção de pelo menos 180 t/h dessa faixa granulométrica. Será utilizada como regulagem inicial os valores que estão no ANEXO B. Inicialmente existe uma produção de aproximadamente 120 t/h de “pedra 1”. Nesse caso, o importante será maximizar a produção de “pedra 1”, modificando todas as variáveis necessárias, em detrimento da produção dos demais.

A primeira medida a ser tomada será a modificação das partições 1 e 2, pois a produção de “pedra 1” ocorre após o britador terciário, portanto, ao direcionar uma maior quantidade de material a este britador, sua produção tenderá a aumentar. Outras partições que podem ser modificadas são as partições 3 e 4, responsáveis pela produção de “pedrisco misto” e “pedra 2” respectivamente, que podem ser direcionadas aos britadores quaternários, proporcionando uma maior produção de materiais abaixo de “pedra 1”. Todas essas partições receberão valor de 0%. Com essa modificação, a produção de “pedra 1” aumentou consideravelmente (170 t/h), em compensação, o grau de utilização dos britadores ficou muito elevado, vide figura 5.

ALIMENTAÇÃO BRITADORES (t/h)				
	Atual	Nominal	Grau Utilização	Relação de Redução
BR02	400	465	0,86	4,01
BR03	218	222	0,98	4
BR04A	210,1	165	1,27	1,68
BR04B	90,08	74	1,22	1,28

Figura 5 – Elevado grau de utilização

Para corrigir o grau de utilização do BR03, vamos aumentar sua abertura até encontrarmos um valor dentro da faixa ideal (80 e 90%), que conseqüentemente será a abertura de 22mm. O novo valor encontrado foi de 85 %, portanto, corrigiu-se o problema.

Ainda há uma variável essencial, a partição 5, que é responsável pela produção de “pedra 1”. Ela é importante tanto para aumentar a sua produção, quanto para diminuir a quantidade de material que irá para os britadores quaternários. Modificando-se essa variável, faremos o ajuste final do circuito. Para um valor de 90% para a partição 5, tanto a produção de “pedra 1”, quanto o grau de utilização dos britadores se encontra na faixa esperada, com isso, essa pode ser considerada uma das configurações possíveis para se obter a quantidade de produto requerido.

Todos os resultados obtidos e os dados de entrada estão demonstrados no ANEXO C. Na região do produto requerido, estão os valores obtidos na simulação anterior (ANEXO B), pois dessa forma pode-se comparar seus valores mais facilmente. A seguir, será feita uma análise dos resultados obtidos em função de todas as modificações efetuadas:

- **Produtos:** com relação à “pedra 1”, a nova partição atingiu 50,72% de uma alimentação de 400 t/h, o que corresponde a uma produção de aproximadamente 200 t/h, o que suprirá com folga o valor requerido inicialmente de 180 t/h. Os produtos que não foram obtidos são a “pedra 4”, a “pedra 2”, o “pedrisco misto” e a “bica 2”, pois suas partições tem valor 0%, ou seja, não há fluxo na direção de suas formações. Para a “pedra 3” houve uma considerável elevação na sua partição, causado pelo aumento da abertura do britador terciário para 22mm em relação aos 16mm anteriormente adotado. A “pedra 0” se manteve constante, e a produção de “pó” se elevou devido à maior quantidade de produtos na alimentação dos quaternários;

- **Alimentação das peneiras:** ocorreu um grande aumento nesse valor, pois a maior parte dos fluxos que não produzissem “pedra 1” foi direcionado para os britadores quaternários, causando conseqüentemente sua passagem por essas peneiras;

- **Outros valores:** apenas a redução de redução do britador terciário se modificou, pois foi o único que teve sua abertura alterada, o grau de utilização de todos os britadores ficou dentro da faixa pré-estipulada e a carga circulante se manteve praticamente constante.

Nessa simulação o objetivo proposto foi atingido, mesmo que tenha sido em detrimento da produção de outros materiais, senão “pedra 1”. Por isso, para se obter um valor adequado, deve-se definir antes qual vai ser a prioridade, o valor da produção ou a distribuição dos produtos.

6. CONCLUSÃO

A principal vantagem deste software para simulação de um circuito de britagem e classificação é a velocidade com que se pode realizar diversas alterações na regulação dos equipamentos presentes no sistema. Desta forma, diversas variáveis podem ser analisadas, até a obtenção do ponto considerado como ideal para uma determinada situação, em um curto espaço de tempo. Em uma simulação convencional, para cada dado alterado há a demanda de uma excessiva quantidade de cálculos, o que é minimizado com a utilização deste programa.

A utilização do software exige que o usuário tenha um conhecimento do processo e dos conceitos de britagem e classificação, pois as variáveis envolvidas, e passíveis de serem modificadas são elevadas. Caso falte conhecimento, o usuário provavelmente não conseguirá alcançar o objetivo ou não potencializará as ferramentas existentes, pois a substituição de apenas uma variável pode alterar diversos parâmetros do processo, sendo necessária uma nova análise.

Por se tratar de uma simulação, os valores obtidos no programa não podem ser considerados como sendo um retrato fiel do que está ocorrendo no circuito em tempo real, pois as curvas granulométricas dos britadores são valores que podem variar em função de algumas variáveis, umas intrínsecas e outras externas aos equipamentos. As peneiras também podem ter sua eficiência modificada de acordo com o tamanho e fator forma da partícula a ser separada, dentre outros parâmetros. Em contrapartida, os valores obtidos são confiáveis quando confrontados com aqueles obtidos através de simulações convencionais, pois foram realizados exaustivos testes que comprovaram a eficácia do programa.

Nem sempre será possível encontrar uma situação ideal para os equipamentos existentes, já que o circuito não será capaz de realizar determinada partição por deficiências pré-existentes no fluxograma. Essa pode ser considerada uma vantagem, pois a simulação localizará os pontos críticos que deverão ser modificados para se atingir a maximização tanto da produção quanto da qualidade dos produtos gerados.

Não se pretende com esse programa encerrar a questão da melhoria de uma operação de britagem e classificação granulométrica, com vistas à produção de agregado graúdo para a construção civil, sendo apenas um início, que poderá e deverá ser otimizado em futuros trabalhos de graduação, ou pós-graduação.

Sem sombra de dúvidas, o objetivo do trabalho foi plenamente alcançado, já que as simulações realizadas demonstraram os benefícios dos recursos computacionais propostos, para a simulação de circuitos de britagem e classificação, sem lançar mão de softwares sofisticados atualmente existentes no mercado que, além de um custo de aquisição elevado, exige um grande conhecimento técnico para sua operação.

Assim, um software direcionado para determinada instalação, pode suprir as necessidades básicas das empresas e dos profissionais dedicados à produção de agregado graúdo para a construção civil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, W. **Visual Basic 6: para trainees**. Rio de Janeiro: Book Express, 2000, 265 p.

BRITADORES CÔNICOS FURLAN. São Paulo: Furlan, p. 1-3.

BRITADORES DE MANDÍBULAS SÉRIE C. São Paulo: Nordberg, p. 5-6.

BRITADORES HYDROCONE SÉRIE MIL E OITOCENTOS: Tipo H & S. São Paulo: Sandvik, p. 13-16.

CARRISSO R.C.C.; CORREIA J.C.G. Classificação. In: LUZ A.B. et al. **Tratamento de Minérios**. 3ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002, p. 216-235.

CHAVES A.P.; PERES A.E.C. Britagem. In: CHAVES A.P.; PERES A.E.C. **Teoria e prática do tratamento de minérios: Britagem, Peneiramento e Moagem**. 1ª ed. São Paulo: Signus Editora / Brasil Mineral, 1999, vol 3, p. 425-510.

CHAVES A.P.; PERES A.E.C. Peneiramento. In: CHAVES A.P.; PERES A.E.C. **Teoria e prática do tratamento de minérios: Britagem, Peneiramento e Moagem**. 1ª ed. São Paulo: Signus Editora/Brasil Mineral, 1999, vol 3, p. 511-528.

FIGUEIRA H.V.O.; ALMEIDA L.M. Cominuição. In: LUZ A.B. et al. **Tratamento de Minérios**. 3ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002, p. 113-150.

MANUAL DE BRITAGEM FAÇO. 5ªed. São Paulo: Allis, 1994, p. 2.01-2.85.

NASCHENVENG A.C. **Modelagem e Simulação do circuito de Moagem da Ultrafértil**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, 2003. (Dissertação - Mestrado).

REBRITADOR CÔNICO FURLAN. São Paulo: Furlan, 5 p.

REBRITADORES OMNICON. São Paulo: Nordberg, 6 p.

SIRIANI F.A. **Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1991. (Tese – Livre Docência).

Arquivo Configuração Ajuda

ABERTURAS BRITADORES (mm)

BR-02	51	BR-04A	16
BR-03	22	BR-04B	16

PARTIÇÃO DE FLUXO (%)

Partição 1	20	Partição 5	30
Partição 2	50	Partição 6	70
Partição 3	40	Partição 7	100
Partição 4	100		

PENEIRAS (mm)

PV01		PV03	
Deck 1	76	Deck 1	18
Deck 2	38	Deck 2	9,5
Deck 3	25	Deck 3	4,8
Efic.	0,95	Efic.	0,85

PV02		PV04	
Deck 1	38	Deck 1	18
Deck 2	25	Deck 2	9,5
Deck 3	9,5	Deck 3	4,8
Efic.	0,90	Efic.	0,85

RESULTADOS (%)

Produto	Requerido	Resultado
Pedra 4	10	9,85
Pedra 3	6	6,3
Pedra 2	10	9,97
Pedra 1	29	28,91
Pedra 0	9	9,52
Pedra M.	6	5,88
Bica 2	13	12,66
P6	17	17,11
Total	100	100
Erro (%)		1,87

Alimentação (t/h)

400

Carga Circulante (t/h)

24,4

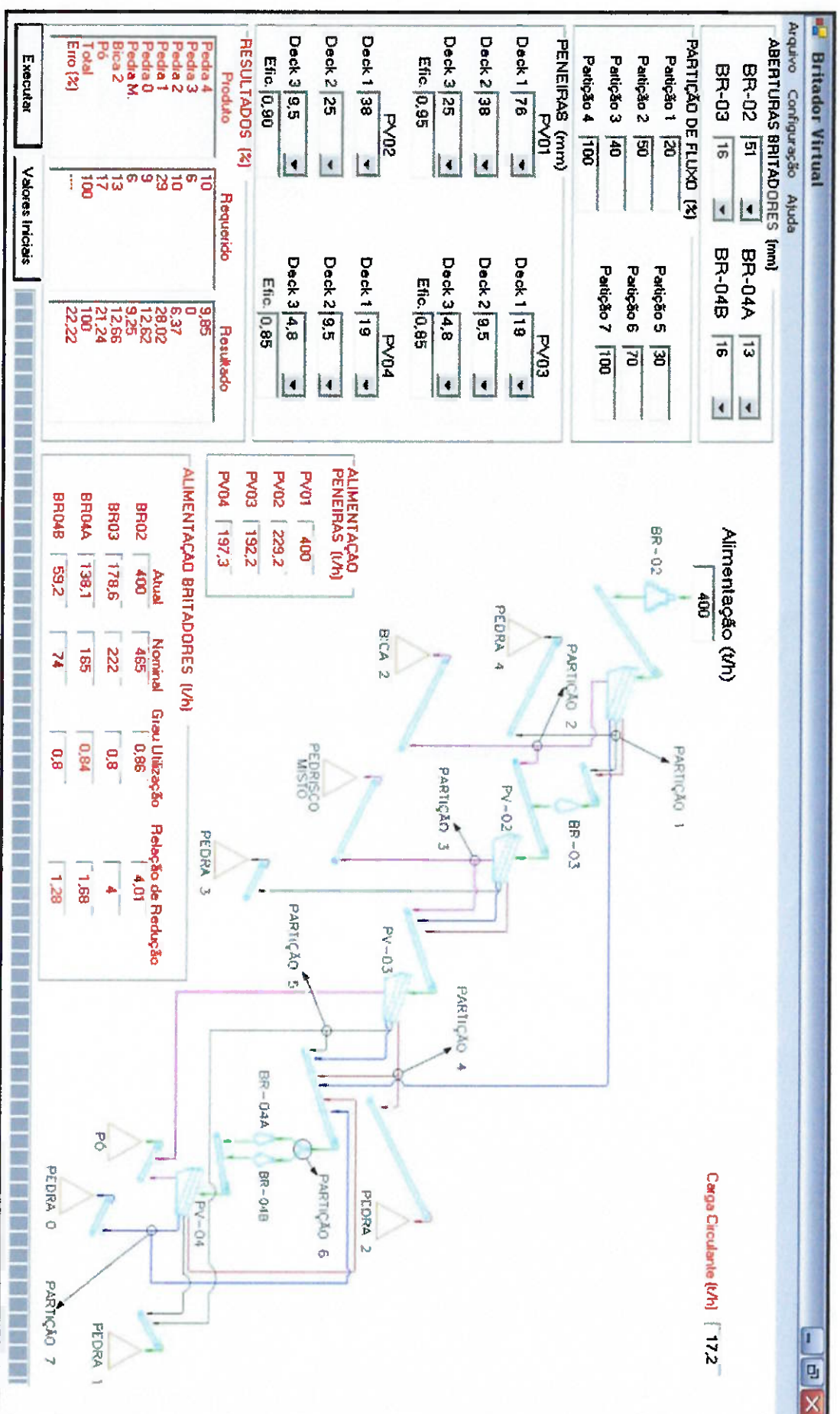
ALIMENTAÇÃO BRITADORES (t/h)

Atual	Nominal	Grau Utilização	Ratão de Redução
BR02	400	465	0,86
BR03	178,6	265	0,7
BR04A	133,2	195	0,68
BR04B	57,12	74	0,77

ALIMENTAÇÃO PENEIRAS (t/h)

Atual	Nominal	Grau Utilização	Ratão de Redução
PV01	400	465	0,86
PV02	229,2	265	0,7
PV03	181,2	195	0,68
PV04	190,4	74	0,77

ANEXO B – Otimização dos Equipamentos



ANEXO C -- Aumento na Produção de "pedra 1"

