



**Escola de Minas
Ouro Preto - MG**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
MESTRADO EM ENGENHARIA MINERAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**SIMULAÇÃO PROBABILÍSTICA
DE
PENEIRAMENTO VIBRATÓRIO**

Por: Simão Célio de Carvalho

Professor orientador: José Aurélio Medeiros da Luz

Junho/2004

Ouro Preto – MG

Simão Célio de Carvalho

**SIMULAÇÃO PROBABILÍSTICA DE PENEIRAMENTO
VIBRATÓRIO**

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Engenharia Mineral, da
Universidade Federal de Ouro Preto,
como requisito à obtenção do título de
Mestre em Engenharia de Minas.

Ouro Preto

Universidade Federal de Ouro Preto

2004

C331s Carvalho, Simão Célio de.
Simulação Probabilística de Peneiramento Vibratório / Simão
Célio de Carvalho. - Ouro Preto : UFOP, 2004.
xi, 111p. : il. color.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas.

1. Simulação. 2. Granulometria. 3. Peneiramento.
I. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.
Departamento de Engenharia de Minas. II. Título.

CDU: 622.74

Dedico este trabalho aos Meus Pais, Irmãos e a Danielly, pois sem seu apoio não teria conseguido.

Agradeço a Deus, meus pais, irmão, amigos em especial ao Deiwys, a Danielly, meu amor, pelo apoio e ao meu professor orientador e amigo José Aurélio pelos ensinamentos e conselhos que muito me ajudaram. Agradeço a CEFETOP pelo apoio e liberação do laboratório para a realização dos ensaios de peneiramento, ao César que construiu o suporte para a coleta do material e o silo de alimentação da peneira vibratória, e a todos que contribuíram direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação.

QUANTO MAIS APRENDEMOS, MAIS QUEREMOS APRENDER...

RESUMO

O peneiramento é uma operação unitária em que mecanismos probabilísticos ocorrem de maneira intensa. A partição do fluxo em peneira é fortemente dependente da distribuição de probabilidade de passagem de partículas pelas aberturas. Essa probabilidade é influenciada pelas condições de operação e pela relação entre o tamanho de partícula e tamanho de abertura. Na literatura, em geral, adotam-se premissas idealizadas que facilitam a tratabilidade matemática do modelo. Este trabalho apresenta um plano de pesquisa para o desenvolvimento de um modelo alternativo de peneiramento. Após uma etapa de validação experimental, será implementado um sistema computacional (*SimPeneira*) capaz de simular cenários de peneiramento industrial e quantificar o impacto de parâmetros tais como: a abertura, comprimento e inclinação da peneira, velocidade do fluxo do material, área efetiva de peneiramento, frequência e amplitude das vibrações. O sistema também poderá dimensionar peneiras, utilizando-se o método clássico de dimensionamento (com modificações).

Palavras-chave: simulação, granulometria, peneiramento.

Abstract

*The screening is an unit operation where probabilistic mechanisms occur in intensive way. The forecast of flow splitting in screens is important. The quantification of feed partition is strongly dependent on the probability distribution of particle passage in each size class through the screen openings. This probability is influenced by operation conditions and effective ratio between particle size and mesh size. The literature usually assumes idealized assumptions that ease mathematical treatment of the model. This work presents a research schedule aiming to develop an alternative screening model. After a experimental validation step, the final product will be a system called **SimPeneira** developed to simulate scenarios in industrial screening and quantify the impact of parameters such as: screen opening, length, slope and effective area, material flow speed, vibratory frequency and amplitude. The system can also size screens using the classical sizing procedure (with changes).*

Key words: simulation, size particle, screening

Sumário

RESUMO	ii
<i>Abstract</i>	ii
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vii
LISTA DE NOTAÇÕES E ABREVIATURAS	i
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS DESTA DISSERTAÇÃO	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. Eficiência das Peneiras	6
3.2. Modelos de Peneiramento	9
3.2.1. <i>Modelo de Grozubinsky e colaboradores</i>	11
3.2.2. <i>Modelo de peneiramento de Karra</i>	12
3.2.3. <i>Modelo de peneiramento de um deck adotado pelo JKSimet®</i>	13
3.2.4. <i>Modelo de peneiramento para um peneira DMS com d_{50c} fixo no JKSimet®</i>	15
3.2.5. <i>Modelo de peneiramento para um peneira DMS com d_{50c} variável no JKSimet®</i>	16
3.2.6. <i>Peneiramento vibratório em um deck simples no MODSIM</i>	17
3.2.7. <i>Peneiramento vibratório em um deck simples para peneiramento a úmido no MODSIM</i>	17
3.2.8. <i>Modelo de Menne</i>	18
4. METODOLOGIA	20
4.1 Desenvolvimento do modelo computacional (SimPeneira).....	20
4.2 Formalismo matemático do módulo de simulação	21
4.3 Formalismo matemático do módulo de dimensionamento de peneiras vibratórias	24
4.4 Formalismo matemático do módulo de dimensionamento de peneiras revolventes.....	26
4.5 Ensaio de validação do modelo.....	27
4.4.1. <i>Preparação de amostras</i>	28
4.4.2. <i>Ensaio contínuos</i>	29
4.4.2.1. Equipamentos.....	29
4.4.2.2. Procedimento	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5.1 Resultados dos ensaios preliminares com isopor e gabarito de madeira	38
5.2 Resultados dos ensaios preliminares com o material (dolomita) coloridos	39
5.3 Resultados dos ensaios de calibração do sistema de alimentação	41
5.4 Resultados dos ensaios de validação do modelo	44
6. CONCLUSÕES	57
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
APÊNDICE A - Tipos Clássicos de operação com peneiras	61
APÊNDICE B – Fluxograma conceitual do sistema computacional <i>SimPeneira</i>	62

APÊNDICE C – Tabelas das análises granulométricas dos ensaios preliminares em Peneira Inclinada. .	68
APÊNDICE D – Tabelas das análises granulométricas com os dados dos ensaios preliminares em Peneira Inclinada, simulados no <i>SimPeneira</i>	70
APÊNDICE E – Tabelas das análises granulométricas dos ensaios de validação em Peneira Inclinada. .	72
APÊNDICE F – Tabelas das análises granulométricas com os dados dos ensaios de validação em Peneira Inclinada, simulados no <i>SimPeneira</i>	85
APÊNDICE G – Rotinas técnicas do módulo de simulação e dimensionamento do SimPeneira.	98

Lista de Figuras

Figura 1. 1 - Distribuição típica da passagem de um material através de peneira (Kelly & Spottiswood 1982).....	2
Figura 1. 2 - Simulação da Evolução da segregação do leito durante a vibração de peneira (Cleary <i>et al</i> 2001).....	2
Figura 3. 1 - Modelo esquemática mostrando-se o processo de separação em uma peneira	7
Figura 3. 2 - Modelo esquemático mostrando-se o processo de separação em uma peneira.	8
Figura 3. 3 - Curva de eficiência de peneira vibratória	14
Figura 4. 1 - Traçadores em algumas diferentes posições.	30
Figura 4. 2 - silo e calha de alimentação solidários à peneira inclinada.	31
Figura 4. 3 - peneira onde foram realizados os ensaios de peneiramento piloto.	32
Figura 4. 4 - furos de regulagem (os números são a atribuição dos ângulos aos respectivos furos) de inclinação da peneira.....	32
Figura 4. 5 - telas utilizadas nos ensaios.....	33
Figura 5. 1 - Tela inicial do Módulo de simulação do programa <i>SimPeneira</i> (com desabilitação da rotina de ajuste do coeficiente de efetividade)	35
Figura 5. 2 - Módulo de simulação do programa <i>SimPeneira</i> entrando-se com o Análise Granulométrica do material passante (para calibração do modelo)	36
Figura 5. 3 - módulo de dimensionamento do programa <i>SimPeneira</i>	37
Figura 5. 4 - Resultados do <i>SimPeneira</i> módulo de dimensionamento.	37
Figura 5. 5 - Vazão do alimentador para inclinação 11 °.....	42
Figura 5. 6 - Vazão do alimentador para inclinação 16 °.....	43
Figura 5. 7 - Vazão do alimentador para inclinação 21 °.....	44
Figura 5. 8 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 3,35 mm, inclinação de 11° e com vazão de 0,26 kg/s.....	47
Figura 5. 9 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 3,35 mm, inclinação de 11° e com vazão de 0,33 kg/s.....	47
Figura 5. 10 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 3,35 mm, inclinação de 16° e com vazão de 0,26 kg/s.....	48
Figura 5. 11 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 3,35 mm, inclinação de 16° e com vazão de 0,33 kg/s	48
Figura 5. 12 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 3,35 mm, inclinação de 21° e com vazão de 0,24 kg/s.....	49
Figura 5. 13 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 3,35 mm, inclinação de 21° e com vazão de 0,32 kg/s	49
Figura 5. 14 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 6 mm, inclinação de 21° e com vazão de 0,21 kg/s.....	50
Figura 5. 15 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 6 mm, inclinação de 21° e com vazão de 0,33 kg/s.....	50
Figura 5. 16 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 6 mm, inclinação de 16° e com vazão de 0,25 kg/s.....	51
Figura 5. 17 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 6 mm, inclinação de 16° e com vazão de 0,31 kg/s.....	51
Figura 5. 18 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 6 mm, inclinação de 11° e com vazão de 0,21 kg/s.....	52
Figura 5. 19 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 6 mm, inclinação de 11° e com vazão de 0,27 kg/s.....	52
Figura 5. 20 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 0,833 mm, inclinação de 11° e com vazão de 0,26 kg/s.....	53
Figura 5. 21 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 0,833 mm, inclinação de 11° e com vazão de 0,23 kg/s.....	53
Figura 5. 22 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 0,833 mm, inclinação de 16° e com vazão de 0,29 kg/s.....	54
Figura 5. 23 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 0,833 mm, inclinação de 16° e com vazão de 0,34 kg/s.....	54

Figura 5. 24 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 0,833 mm, inclinação de 21° e com vazão de 0,33 kg/s.	55
Figura 5. 25 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 0,833 mm, inclinação de 21° e com vazão de 0,26 kg/s.	55

Lista de Tabelas

Tabela 3. 1 - Expressão para os cálculos dos fatores de correção de Karra.....	13
Tabela 5. 1 - Resultado das medidas de velocidade de fluxo para a inclinação de 11°.....	39
Tabela 5. 2 - Resultado das medidas de velocidade de fluxo para a inclinação de 16°.....	40
Tabela 5. 3 - Resultado das medidas de velocidade de fluxo para a inclinação de 21°.....	41
Tabela 5. 4 - Resultados das simulações no <i>SimPeneira</i> para inclinação 11°.....	45
Tabela 5. 5 - Resultados das simulações no <i>SimPeneira</i> para inclinação 16°.....	45
Tabela 5. 6 - Resultados das simulações no <i>SimPeneira</i> para inclinação 21°.....	45
Tabela 5. 7 - Quadro resumo comparando-se os resultados simulados.	46
Tabela A. 1 - Tipos Clássicos de operação com peneiras.....	61
Tabela A. 2 - Análise Granulométrica Alimentação.....	61
Tabela C. 1 - Análise Granulométrica do material passante (21°).....	68
Tabela C. 2 - Análise Granulométrica do material retido (21°).....	68
Tabela C. 3 - Análise Granulométrica do material passante (16°).....	69
Tabela C. 4 - Análise Granulométrica do material retido (16°).....	69
Tabela D. 1 - Análise Granulométrica do material passante simulado (21°).....	70
Tabela D. 2 - Análise Granulométrica do material retido simulado (21°).....	70
Tabela D. 3 - Análise Granulométrica do material passante simulado (16°).....	71
Tabela D. 4 - Análise Granulométrica do material retido simulado (16°).....	71
Tabela E. 1 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 19 (11°).....	72
Tabela E. 2 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 19 (11°).....	72
Tabela E. 3 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 20 (11°).....	73
Tabela E. 4 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 20 (11°).....	73
Tabela E. 5 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 21 (16°).....	73
Tabela E. 6 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 21 (16°).....	74
Tabela E. 7 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 22 (16°).....	74
Tabela E. 8 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 22 (16°).....	74
Tabela E. 9 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 23 (21°).....	75
Tabela E. 10 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 23 (21°).....	75
Tabela E. 11 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 24 (21°).....	75
Tabela E. 12 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 24 (21°).....	76
Tabela E. 13 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 25 (21°).....	76
Tabela E. 14 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 25 (21°).....	76
Tabela E. 15 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 26 (21°).....	77
Tabela E. 16 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 26 (21°).....	77
Tabela E. 17 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 27 (16°).....	77
Tabela E. 18 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 27 (16°).....	78
Tabela E. 19 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 28 (16°).....	78
Tabela E. 20 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 28 (16°).....	78
Tabela E. 21 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 29 (11°).....	79
Tabela E. 22 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 29 (11°).....	79
Tabela E. 23 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 30 (11°).....	79
Tabela E. 24 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 30 (11°).....	80
Tabela E. 25 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 31 (11°).....	80
Tabela E. 26 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 31 (11°).....	80
Tabela E. 27 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 32 (11°).....	81
Tabela E. 28 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 32 (11°).....	81
Tabela E. 29 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 33 (16°).....	81
Tabela E. 30 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 33 (16°).....	82
Tabela E. 31 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 34 (16°).....	82
Tabela E. 32 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 34 (16°).....	82
Tabela E. 33 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 35 (21°).....	83
Tabela E. 34 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 35 (21°).....	83
Tabela E. 35 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 36 (21°).....	83
Tabela E. 36 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 36 (21°).....	84
Tabela F. 1 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 19 (11°).....	85

Tabela F. 2 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 19 (11°).....	85
Tabela F. 3 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 20 (11°).....	86
Tabela F. 4 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 20 (11°).....	86
Tabela F. 5 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 21 (16°).....	86
Tabela F. 6 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 21 (16°).....	87
Tabela F. 7 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 22 (16°).....	87
Tabela F. 8 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 22 (16°).....	87
Tabela F. 9 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 23 (21°).....	88
Tabela F. 10 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 23 (21°).....	88
Tabela F. 11 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 24 (21°).....	88
Tabela F. 12 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 24 (21°).....	89
Tabela F. 13 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 25 (21°).....	89
Tabela F. 14 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 25 (21°).....	89
Tabela F. 15 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 26 (21°).....	90
Tabela F. 16 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 26 (21°).....	90
Tabela F. 17 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 27 (16°).....	90
Tabela F. 18 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 27 (16°).....	91
Tabela F. 19 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 28 (16°).....	91
Tabela F. 20 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 28 (16°).....	91
Tabela F. 21 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 29 (11°).....	92
Tabela F. 22 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 29 (11°).....	92
Tabela F. 23 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 30 (11°).....	92
Tabela F. 24 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 30 (11°).....	93
Tabela F. 25 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 31 (11°).....	93
Tabela F. 26 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 31 (11°).....	93
Tabela F. 27 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 32 (11°).....	94
Tabela F. 28 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 32 (11°).....	94
Tabela F. 29 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 33 (16°).....	94
Tabela F. 30 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 33 (16°).....	95
Tabela F. 31 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 34 (16°).....	95
Tabela F. 32 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 34 (16°).....	95
Tabela F. 33 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 35 (21°).....	96
Tabela F. 34 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 35 (21°).....	96
Tabela F. 35 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 36 (21°).....	96
Tabela F. 36 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 36 (21°).....	97

LISTA DE NOTAÇÕES E ABREVIATURAS

- # – abertura de peneira em malha ABNT/Tyler;
- a – abertura [mm];
- A,B, E,D – parâmetros de regressão;
- a_c – parâmetro de acurácia da curva de eficiência reduzida;
- a_h – abertura na direção horizontal [m];
- α – inclinação da peneira [°];
- α_{tr} – inclinação do eixo longitudinal do trômel [°];
- a_c – o parâmetro de acurácia da curva de eficiência;
- b^* – parâmetro que descreve a curva de eficiência reduzida;
- β – o fator de inclinação da curva de eficiência;
- b_{in} – parâmetro de inclinação da curva de eficiência reduzida;
- C – comprimento da peneira [m];
- CEFETOP – Centro Federal de Educação Tecnológica de Ouro Preto;
- c_m – percentagem de sólidos da alimentação;
- d – diâmetro da partícula [m];
- D – Diâmetro efetivo do trômel [m];
- d_{50c} – tamanho de partículas na alimentação que tem probabilidade igual de irem para os produtos finos ou grossos;
- d_{p0} – parâmetro de escala de Rosin-Rammler;
- E^* – espessura relativa final [-];
- E,F, U,V – são parâmetros de regressão;
- E_F – é a eficiência na recuperação de finos;
- E_G – é a eficiência na recuperação de grossos;
- E_{GL} – é a Eficiência global;
- E_l – espessura final do leito [m].
- e_{ta} – é o módulo de distribuição;
- f – frequência [Hz];
- $f_{(d/a)}$ é uma função de ajuste;
- f_a – fração de área aberta;
- F_f – fração de fluxo amostrado;
- ϕ – diâmetro do fio da tela [m];
- f_i – fatores de correção;
- k – coeficiente de efetividade;
- K – parâmetro de correção;
- k_1 – é o fator de correção em função do "tamanho metade";
- k_2 – é o fator de correção para a fração retida (fator de grossos);
- k_{2tr} – fator de correção para a fração retida;
- k_3 – é o fator de tipo de abertura;
- k_4 – é o fator formato das partículas;
- k_5 – é o fator de eficiência da abertura;
- k_{5tr} – fator de eficiência do peneiramento;
- k_6 – é o fator de umidade;
- k_{6tr} – fator de umidade e tipo de abertura de passagem;
- k_7 – é o fator de área efetiva;
- k_8 – é o fator de área aberta;

- k_{9tr} – fator de inclinação;
 k_d – relação entre os lados (eixos) da abertura (d_1/d_2);
 L – largura da peneira;
 l_a – largura da abertura;
 l_b – abertura na direção inclinada [m];
 L_t – Comprimento efetivo do trômel [m];
 m – fração de material menor que a metade da abertura equivalente da peneira no fluxo de alimentação do *deck*;
 m_a – massa de subtamanho alimentada [kg].
 M_i – massa da partícula da classe i sobre a peneira após n tentativas [kg];
 M_{oi} – massa inicial da classe i [kg];
 MT – massa de material na alimentação;
 m_u – massa passante [kg];
 n – número de apresentações (tentativas) de passagem [-].
 N – proporção de material próximo da malha ($0,75a$ a $1,25a$) na alimentação [%].
 N_{tr} – velocidade de rotação do trômel [rpm];
 ω – frequência da peneira [rpm];
 P – massa de material passante;
 P_1 – percentagem de alimentação entre X_1 e X_2 ;
 p_1 – probabilidade de passagem de uma partícula da classe i sob condições de uma única apresentação à tela [-];
 $P_{1/2}$ – proporção de material com diâmetro menor que menor que $0,5 \times (a)$ na alimentação [%];
 P_2 – percentagem de alimentação menor que X_3 ;
 p_a – proporção de material acima do tamanho da abertura na alimentação;
 P_{a+} – proporção de sobretamanho na alimentação do *deck* [%];
 p_n – probabilidade para n tentativas de passagem, de uma classe de tamanhos i [-];
 p_p – proporção de material acima do tamanho da abertura no passante;
 p_r – proporção de material acima do tamanho da abertura no retido;
 Q – vazão ideal de passante (com eficiência de 100 %) [t/h];
 Q_a – vazão mássica [m³/h];
 Q_{af} – vazão de água na alimentação;
 Q_{bas} – é a capacidade básica de peneiramento;
 Q_{bastr} – capacidade básica de peneiramento (trômel);
 Q_{esp} – capacidade específica do peneiramento [kg/m];
 Q_m – vazão mássica do *oversize* [kg/s];
 Q_{m1} – vazão mássica intermediária 1 [kg/s];
 Q_{m2} – vazão mássica intermediária 2 [kg/s];
 R – massa de material retida;
 $R_{(d)}$ – partição das partículas de tamanho d para o retido;
 R_f – partição de água para o passante;
 ρ – massa específica real de sólidos [kg/m³];
 ρ_{ap} – massa específica aparente do material [kg/m³];
 S – área efetiva de peneiramento;
 s – fração de material acima da abertura efetiva da peneira na alimentação do *deck*;
 Sistema *SimPeneira* – modelo computacional para simulação de peneiramento;
 Σ_m – somatório das massas retidas em cada faixa granulométrica;
 S_t – área total da peneira;

T – abertura característica do modelo ($T = 1,26 \times a$) [m];

τ – tempo de residência [s];

v – velocidade média de fluxo [m/s];

X_1 , X_2 e X_3 – parâmetros de tamanhos de alimentação críticos.

y – Efetividade [-];

z – ponderador exponencial de espessura;

Π_{ki} – produtório dos vários k calculados a seguir.

1. INTRODUÇÃO

Peneiramento é o processo de separação de um material granular não coeso em duas ou mais diferentes classes de tamanho de partículas, mediante uma ou mais superfícies vazadas com aberturas de dimensões definidas. Essa classificação por tamanho, portanto, é feita por barreira mecânica (ao contrário dos processos de classificação em correntes fluidas, onde a barreira é fluidodinâmica). É um processo do tipo “passa/não passa”, onde as barreiras são constituídas pelos fios da malha ou pela parte não vazada da superfície de peneiramento.

Convencionalmente denomina-se peneira a superfície tecida com fios espaçados regularmente. Na tabela A.1 do apêndice A estão apresentados os tipos clássicos de operação com peneiras.

Os objetivos primaciais do peneiramento industrial são:

- ✓ Evitar a entrada de partículas menores, ou subtamanho (*undersize*) no equipamento a jusante (como por exemplo, britador), aumentando a eficiência e capacidade;
- ✓ Evitar que o material retido, ou sobretamanho (*oversize*), passe para os estágios subsequentes, por exemplo: em britadores operando em circuito fechado e em operações de moagem;
- ✓ Bitolar adequadamente o material para aumento da eficiência das operações a jusante (formação de fluxo de material paucidisperso).
- ✓ Preparação de um produto final, bitolado, (muito importante em pedreiras, onde o tamanho do produto é uma parte importante na especificação).

A figura 1.1 representa esquematicamente um tipo distribuição do material de um dado tamanho (menores que o tamanho da abertura) passando através da tela ao longo do seu comprimento, na presença de uma combinação de uma distribuição de tamanho da alimentação (Kelly & Spottiswood 1982). Examinando-se os dados do peneiramento (Standish N. Meta & I. A. 1985) pode-se observar que a distribuição de tamanho das partículas passante varia com a distribuição de tamanho da alimentação, e com a distância ao longo da peneira. Geralmente, os processos de peneiramento mostram três regiões as quais dependem da quantidade de *undersize* em contato com a superfície da tela (Baldwin 1963, *apud* Subasinghe, 1989). Na região I, ocorre a estratificação do leito. Como consequência, a quantidade de material passante através da peneira aumenta com o comprimento da peneira. A região II é essencialmente uma região de equilíbrio dinâmico entre a quantidade de material passante e aquele que está nas camadas superiores do leito. Assim as camadas superiores tornam-se defasadas em material fino, ou seja, a taxa de material passante na superfície da peneira diminui, como consequência à taxa de passagem progressivamente diminui na região III.

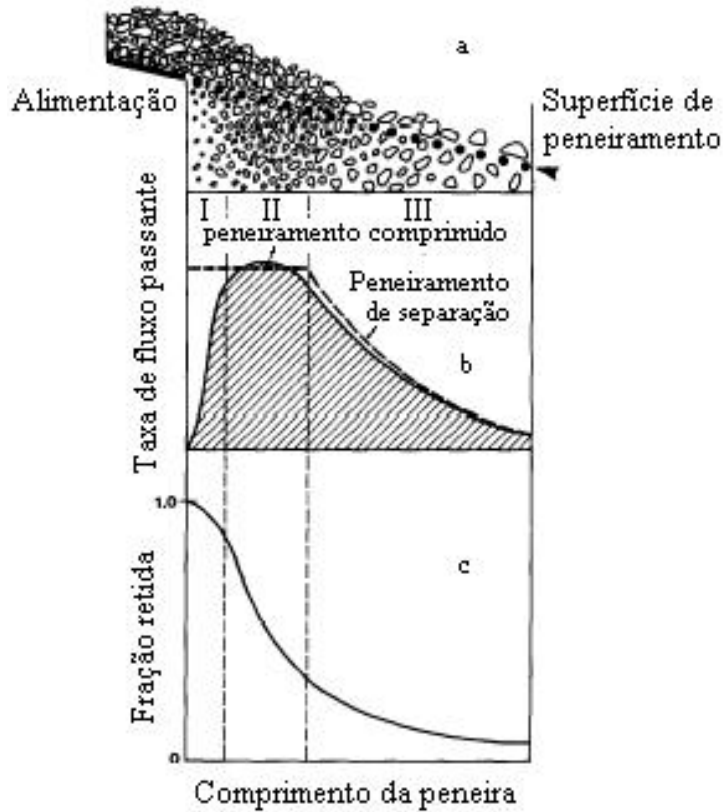


Figura 1. 1 - Distribuição típica da passagem de um material através de peneira (Kelly & Spottiswood 1982)

O peneiramento é uma operação unitária em que os mecanismos probabilísticos ocorrem de maneira intensa. A quantificação da partição do fluxo de alimentação é fortemente dependente da estimativa da distribuição de probabilidade de passagem de cada classe granulométrica de partículas pelas aberturas das telas, probabilidade essa influenciada pelas condições de operação e pela relação efetiva entre o tamanho de partícula e tamanho de abertura. Tal relação dimensional é o fator mais importante da operação de peneiramento comum. Na figura 1.2 tem-se a simulação de posição das partículas em dois diferentes instantes durante uma etapa de peneiramento.

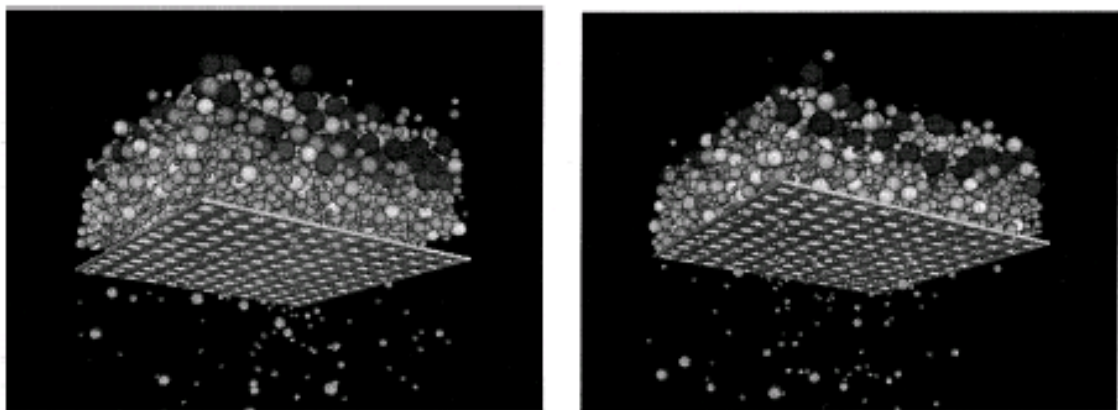


Figura 1. 2 - Simulação da evolução da segregação do leito durante a vibração de peneira (Cleary *et al* 2001).

Diversos trabalhos já foram desenvolvidos com intuito de construir um modelo probabilidade apresentando os dados de um peneiramento. Por exemplo, Subasinghe e colaboradores (1989), desenvolveram um modelo probabilidade o qual apresenta os dados de um peneiramento pertencentes a um dado sistema. No sistema o comportamento global do material não possuía uma descrição quantitativa dos movimentos da peneira vibratória e da separação das partículas. Uma apresentação indireta indicou que as diferenças de desempenho global entre diferentes sistemas, seria útil para se fazer comparações. Eles também demonstraram que adotando, por exemplo, uma abordagem, de um único modelo poderia ser formulada para prever os resultados do peneiramento de diferentes sistemas, contanto que os parâmetros relevantes fossem avaliados para cada sistema.

Com o intuito de simular e dimensionar o processo de peneiramento foi desenvolvido um modelo computacional para simulação de peneiramento (sistema *SimPeneira*), O qual é capaz de simular diversos cenários de peneiramento bem como dimensionar peneiras segundo o procedimento clássico, baseado no método Allis Chalmers modificado.

Para validação do módulo de simulação acima descrito, foi realizada uma campanha de ensaios de peneiramento em escala piloto.

Já para o módulo de dimensionamento foram lançados os dados do manual de britagem da faço, antigas versões. Os estudos de simulação da eficiência de peneiramento e das análises granulométricas dos produtos e alimentação são sempre desejados, pois conhecendo-se as distribuições granulométricas dos produtos pode-se analisar qual situação de operação dará maior eficiência operacional, sem gasto de tempo e dinheiro com amostragem e análises.

2. OBJETIVOS DESTA DISSERTAÇÃO

- Elaboração e validação de um modelo computacional para simulação e dimensionamento de peneiras, em escala piloto e industrial;
- Estudo da velocidade de fluxo dos materiais sobre a tela de uma peneira (utilizando-se partículas coloridas e um traçador de isopor).
- Determinação do comportamento do coeficiente de efetividade para as condições experimentais estudadas na peneira do CEFETOP.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As peneiras vibratórias inclinadas convencionais apresentam inclinações na faixa entre 15° e 45° e estas transportam o material, com uma velocidade variando de 0,3 a 0,6 [m/s]. A partir desses dados tabelados (Chaves & Peres 1999), a inclinação, em graus, usualmente recomendada, depende da abertura da tela e pode ser calculada pela seguinte equação (em função da abertura a em milímetros):

$$\alpha = 4,82 \times \ln(a) - 2,4 \quad (3.01)$$

onde:

a – abertura [mm];

α – inclinação da peneira [em graus].

A equação 3.01 possui uma correlação de 95,106 % com os dados tabelados. Naturalmente, o valor obtível da equação anterior representa unicamente um critério de projeto, quando não se tem maior informação sobre a resposta do material ao processo de peneiramento.

Igualmente o método Allis-Chalmers não explicita a influência da velocidade angular. O valor preconizado depende também da abertura, e pode ser obtido (em rpm) pela seguinte equação (em função da abertura a também em milímetros):

$$\omega = 1695,4 \times (a)^{-0,1651} \quad (3.02)$$

onde:

a – abertura [mm];

ω – frequência da peneira [rpm].

A equação 3.02 possui uma correlação de 94,076 % com os dados tabelados.

Peneiras vibratórias de inclinação variada são concebidas para manuseio de elevada taxa de alimentação de material composto, em grande maioria, de partículas passantes pela abertura da malha do *deck*. A inclinação inicial de 25° a 30°, diminui na parte central para 10° a 15°, e chega a valores entre 0° e 5°. As peneiras dispõem de um movimento linear de vibração no final para o escoamento do material, devido à pequena inclinação. A mudança de velocidade decresce com a mudança de inclinação.

Nesse tipo de peneira, a consecutiva mudança de inclinação do *deck* ao longo do seu comprimento diminui a velocidade de transporte, mas a quantidade sobre a tela é também cada vez menor, mantendo a camada de material em nível otimizado. A última parte da peneira, quase horizontal, completa a separação, garantindo a eficiência.

Soldinger (2001) elaborou um modelo que torna possível prever, pelo método de Monte Carlo, a velocidade de transporte de um material britado em um leito ao longo de

uma peneira. Para validar seu modelo, foram feitas experiências para medir as velocidades de transporte, para diferentes inclinações, movimentos e frequências.

Durante um processo de peneiramento deve-se considerar também os processos de estratificação e de probabilidade de passagem das partículas através da abertura da peneira (este segundo fator será mais detalhado posteriormente).

A taxa de estratificação varia com a proporção de material fino e com o tamanho das partículas. Já a taxa de passagem é dependente da probabilidade das partículas passarem através da peneira e da percentagem de finos sobre sua superfície (Soldinger 1999).

Hudson e colaboradores (1968), realizaram um estudo para medir o comportamento de partículas finas durante sua separação das partículas grossas em processo de peneiramento em batelada. Os experimentos foram realizados para estabelecer a taxa de peneiramento e os efeitos da profundidade do leito e da distribuição do material sobre a abertura da peneira nesta taxa.

A malha investigada pelos autores citados no parágrafo anterior foi a de 0,35 mm. Esferas de vidro foram usadas como material a ser peneirado. Uma fração do tamanho contendo partículas de 1,65 vezes a abertura da tela foi usada como sobretamanho e duas outras frações contendo partículas de 0,5 e 0,84 vezes o tamanho da abertura foram empregadas como subtamanho.

Os resultados experimentais do trabalho de Hudson e colaboradores (1968), foram interpretados em termos de um modelo teórico, o qual permitiu avaliar três efeitos possíveis de mecanismos de taxa controlada, isto é, segregação, dispersão e resistência ao fluxo através da abertura da peneira, sobre a taxa de peneiramento. Curvas de resíduo teóricas foram obtidas numericamente de equações diferenciais parciais e foram comparadas com os dados obtidos experimentalmente.

Foi encontrada uma grande resistência para remoção do *undersize*, exceto no caso das partículas muito finas onde a taxa de segregação aparentemente controlava o leito no processo de peneiramento.

Esse artigo mostra que para os sistemas investigados a passagem de partículas pequenas e menores que 85% a abertura da tela era controlada pelo coeficiente de peneiramento, ou seja, quando há grande quantidade de sobretamanho presente. Quando as partículas pequenas do *undersize* foram usadas com o mesmo leito de sobretamanho, foi observado que a segregação dentro do leito foi controlada pelos mecanismos de transporte.

3.1. Eficiência das Peneiras

A eficiência de peneiramento é determinada pelo grau de perfeição da separação de um material em frações acima ou abaixo da dimensão de abertura da tela. Uma equação de eficiência pode ser calculada a partir da massa que passa pela peneira.

Uma curva de eficiência ou partição para o peneiramento é obtida plotando-se o coeficiente de partição, definido como a porcentagem em massa de alimentação que vai para o retido (*oversize*), contra os tamanhos médios das classes granulométricas.

Embora a curva de partição (como utilizada no modelo de Karra ou de outros pesquisadores) descreva o processo de separação com maior perfeição, historicamente é praxe descrevê-lo em termos de um único parâmetro, dito eficiência global, E (ou, simplesmente, eficiência). A eficiência global pode ser entendida como uma medida do desempenho na remoção dos finos alimentados e na retenção dos grossos. Ela mede a efetividade da peneira para separar o material mais grosso do passante e o material mais fino do retido (Wills 1992).

Usando-se o esquema da figura 3.1, uma dedução para o cálculo da eficiência global pode ser feita do seguinte modo:

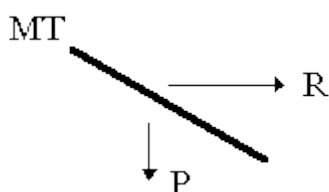


Figura 3. 1 - Modelo esquemática mostrando-se o processo de separação em uma peneira

$$MT \times p_a = R \times p_r + P \times p_p \quad (3.04)$$

onde:

MT – massa de material na alimentação;

R – massa de material retida;

P – massa de material passante;

p_r – proporção de material acima do tamanho da abertura no retido;

p_a – proporção de material acima do tamanho da abertura na alimentação;

p_p – proporção de material acima do tamanho da abertura no passante.

$$MT = R + P \quad (3.05)$$

$$R = MT - P \quad (3.06)$$

$$MT \times p_a = P \times p_p - P \times p_r + MT \times p_r \quad (3.07)$$

$$MT \times (p_a - p_r) = P \times (p_p - p_r) \quad (3.08)$$

$$\frac{P}{MT} = \frac{(p_a - p_r)}{(p_p - p_r)} \quad (3.09)$$

e

$$\frac{R}{MT} = \frac{(p_a - p_p)}{(p_r - p_p)} \quad (3.10)$$

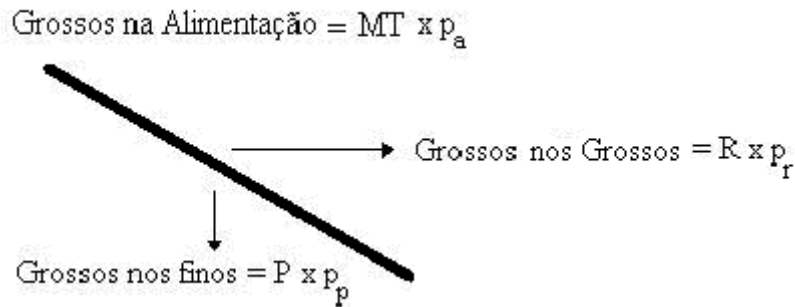


Figura 3. 2 - Modelo esquemático mostrando-se o processo de separação em uma peneira.

$$E_G = \frac{R \times p_r}{MT \times p_a} \quad (3.11)$$

EG – é a eficiência na recuperação de grossos;

$$E_F = \frac{P \times (1 - p_p)}{MT(1 - p_a)} \quad (3.12)$$

EF – é a eficiência na recuperação de finos;

Sendo a Eficiência global (EGL) dada por:

$$E_{GL} = E_G \times E_F \quad (3.13)$$

Substituindo-se:

$$E_{GL} = \frac{P \times R \times p_r \times (1 - p_p)}{MT^2 \times p_a \times (1 - p_a)} \quad (3.14)$$

Ou ainda:

$$E_{GL} = \frac{p_r \times (p_a - p_p) \times (1 - p_p) \times (p_r - p_a)}{p_a \times (p_r - p_p)^2 \times (1 - p_a)} \quad (3.15)$$

Se não houver nenhuma ruptura ou deformação nas aberturas ou as partículas não forem alongadas, a quantidade de material mais grosso que a abertura no passante é muito

baixa e a simplificação da equação pode ser obtida assumindo-se que seja igual a zero (isto é: operação ideal na retenção de grossos), chega-se a equação:

$$E_{GL} = \frac{P_r - P_a}{p_r \times (1 - p_a)} \quad (3.16)$$

Essa fórmula é muito usada e assume que a recuperação de sobretamanho no retido (*oversize*) é 100 %.

Essa dedução foi feita para massas, mas, naturalmente, é também aplicável para vazões.

3.2. Modelos de Peneiramento

Gaudin (1939) estabeleceu uma expressão simplificada para a probabilidade de passagem de uma partícula isolada, em uma só apresentação (ou incidência) da partícula à superfície de separação (tela ou crivo). Para uma tela de aberturas quadradas com abordagem da partícula ortogonal à sua superfície, tem-se:

$$p_1 = \left(\frac{a - d}{a - \phi} \right)^2 \quad (3.17)$$

onde:

p_1 – probabilidade de passagem de uma partícula da classe i sob condições de uma única apresentação à tela [-];

a – abertura [m];

d – diâmetro da partícula [m];

ϕ – diâmetro do fio da tela [m].

Quando se tem uma peneira inclinada de um ângulo α e de malha retangular a generalização da expressão anterior resulta a equação:

$$p_1 = \frac{(l_b \times \cos \alpha - d) \times (l_a - d)}{(l_b \times \cos \alpha + \phi) \times (l_a + \phi)} \quad (3.18)$$

onde:

l_b – abertura na direção inclinada [m];

l_a – abertura na direção horizontal [m];

α – ângulo de inclinação da peneira plana [°].

A probabilidade de uma partícula passar após deflexão no fio (bater e passar), citada por Kelly & Spottswood (1982), é dada por:

$$p_1 = \frac{[(a + \phi) - (\phi + d) \times \cos \theta_p]^2}{(a + \phi)^2} \quad (3.19)$$

onde:

$$\cos \theta_p = \frac{1 + \sqrt{1 + 8 \times k^2}}{4 \times k} \quad (3.20)$$

e

$$k = \frac{2 \times a + \phi - d}{\phi + d} \quad (3.21)$$

Mogensen (Mogensen 1965) desenvolveu a seguinte expressão analítica alternativa para a probabilidade de passagem de uma partícula em uma só apresentação (tela de abertura quadrada):

$$p_1 = \frac{\left[a - \phi \times f\left(\frac{d}{a}\right) - d \right] \times \left[(a + \phi) \times \cos \alpha - \left(1 - f\left(\frac{d}{a}\right) \right) \times \phi - d \right]}{(a + \phi) \times [(a + \phi) \times \cos \alpha]} \quad (3.22)$$

onde:

$f\left(\frac{d}{a}\right)$ é uma função de ajuste.

- ✓ Se a relação d/a for maior ou igual a 1, $f\left(\frac{d}{a}\right)$ será 1;
- ✓ Se a relação d/a for menor ou igual a 0, $f\left(\frac{d}{a}\right)$ será 0,27;
- ✓ Se a relação d/a for maior que 0 e menor que 1, a partir dos dados de Mogensen, durante o presente trabalho, obteve-se a seguinte equação de regressão:

$$f\left(\frac{d}{a}\right) = -0,274 \times \frac{d}{a} + 0,27 \quad (3.23)$$

com uma correlação de 97,96 %

A probabilidade p_n de uma partícula isolada da classe de tamanhos i passar pela peneira somente na n -ésima tentativa de passagem (apresentações) é:

$$p_n = 1 - (1 - p_1)^n \quad (3.24)$$

onde:

- p_n – probabilidade para n tentativas de passagem, de uma classe de tamanhos i [-];
- p_1 – probabilidade de passagem de uma partícula da classe i sob condições de uma única apresentação à tela [-];
- n – número de apresentações (tentativas) de passagem [-].

Para n tentativas de passagem, a fração de quantidade residual de subtamanho (finos) da classe i sobre a superfície da peneira é:

$$\frac{M_i}{M_{oi}} = (1 - p_1)^n \quad (3.25)$$

onde:

M_i – massa da partícula da classe i sobre a peneira após n tentativas [kg];

M_{oi} – massa inicial da classe i [kg];

3.2.1. Modelo de Grozubinsky e colaboradores

Experimentalmente tem sido mostrado que a cinética de peneiramento pode ser adotada segundo a equação de primeira ordem:

$$\frac{dm}{dt} = -\lambda \times m \quad (3.26)$$

Donde, integrando-se:

$$m(t) = m_0 \times \exp[-\lambda \times t] \quad (3.27)$$

Por outro lado, quanto maior a diferença $(a - d)$, maior a probabilidade de passagem e, portanto, é de se esperar que em um processo convencional de um peneiramento vibratório, o parâmetro cinético, λ , do processo possa ser expresso pela equação diferencial:

$$\frac{d\lambda}{dt} = q \times (a - d) \quad (3.28)$$

Essa abordagem foi adotada por Grozubinsky e colaboradores (1998).

A variável $x = (a - d)$ pode ser expressa segundo a equação diferencial:

$$\frac{d(a - d_i)}{dt} = -\beta \times (a - d_i) \quad (3.29)$$

ou

$$(a - d_i) = (a - d_0) \times \exp(-\beta \times t) \quad (3.30)$$

Portanto

$$\frac{d\lambda}{dt} = q \times (a - d_0) \times \exp(-\beta \times t) \quad (3.31)$$

e

$$\lambda = (a - d) \times [1 - \exp(-\beta \times t)] \times \frac{q}{\beta} \quad (3.32)$$

A partir dessa expressão pode-se modelar o peneiramento, conforme a equação a seguir:

$$m = m_0 \times \exp\left\{- (a - d_0) \times [1 - \exp(-\beta \times t)] \times \frac{qt}{\beta}\right\} \quad (3.33)$$

Os parâmetros β e q podem ser obtidos a partir de dados experimentais (calibração do modelo).

3.2.2. Modelo de peneiramento de Karra.

Karra (1979) propôs este modelo para curva de eficiência baseado no modelo de Plitt para hidrociclones, esse modelo possui como parâmetro: tamanho mediano de separação d_{50} que é função de condições operacionais e do grau de perfeição m que é dependente das propriedades do material. A seguir são apresentadas as equações para calcular a curva de eficiência de peneiramento para uma classe granulométrica (i):

$$E(i) = 1 - \exp\left(-0,6931 \times \left(\frac{d}{d_{50}}\right)^m\right) \quad (3.34)$$

$$d_{50} = a \times \left(\frac{f_1 f_2 \dots f_6 f_7}{Q}\right)^c \quad (3.35)$$

Os fatores de correção f_i estão apresentados na tabela 3.1, a seguir:

Tabela 3. 1 - Expressão para os cálculos dos fatores de correção de Karra

$f_1 =$	$12,13 a \times 0,32 - 10,30$	$a < 0,0508 \text{ m}$
	$0,34 \times a + 14,41$	$a > 0,0508 \text{ m}$
$f_2 =$	$1,60 - 0,012 \times P_{a+}$	$P_{a+} < 87 \%$
	$4,28 + 0,043 \times P_{a+}$	$P_{a+} > 87 \%$
$f_3 =$	$0,0120 \times P_{a1/2} + 0,700$	$0 < P_{a1/2} < 30 \%$
	$0,1528 \times P_{a1/2}^{0,564}$	$30 < P_{a1/2} < 55 \%$
	$0,0061 \times P_{a1/2}^{1,37}$	$55 < P_{a1/2} < 80\%$
	$0,0500 \times P_{a1/2} - 1,50$	$80 < P_{a1/2} < 99\%$
$f_4 =$	$1,1 - 0,1 \times \checkmark \text{Índice do } deck$	
$f_5 =$	1,0	$0 < T < 1$
	T	$1 < T < 2$
	$1,5 + 0,25 \times T$	$2 < T < 4$
	2,5	$4 < T < 6$
	$3,25 - 0,125 \times T$	$6 < T < 10$
	$4,5 - 0,25 \times T$	$10 < T < 12$
	$2,1 - 0,05 \times T$	$12 < T < 16$
	$1,5 - 0,125 \times T$	$16 < T < 24$
	$1,35 - 0,00625 \times T$	$24 < T < 32$
	1,15	$32 < T$
$f_6 =$	$\frac{\rho}{2700}$	
$f_7 =$	$0,844 \times (1 - N)^{3,453}$	

simbologia:

a – abertura da peneira [m];

T – abertura característica do modelo ($T = 1,26 \times a$) [m];

Q – vazão ideal de passante (com eficiência de 100 %) [t/h];

$P_{1/2}$ – proporção de material com diâmetro menor que $0,5 \times a$ na alimentação [%];

P_{a+} – proporção de sobretamanho na alimentação do *deck* [%];

ρ – massa específica real de sólidos [kg/m^3];

N – proporção de material próximo da malha (entre $0,75 \times a$ e $1,25 \times a$) na alimentação [%].

3.2.3. Modelo de peneiramento de um *deck* adotado pelo *JKSimet*®

O *JKSimet* é um dos programas de simulação de processos disponíveis no mercado desde a década de 80 do século XX. O modelo utilizado por este sistema propõe que a curva de eficiência para a região B da figura 3.1 seja dado pela seguinte equação:

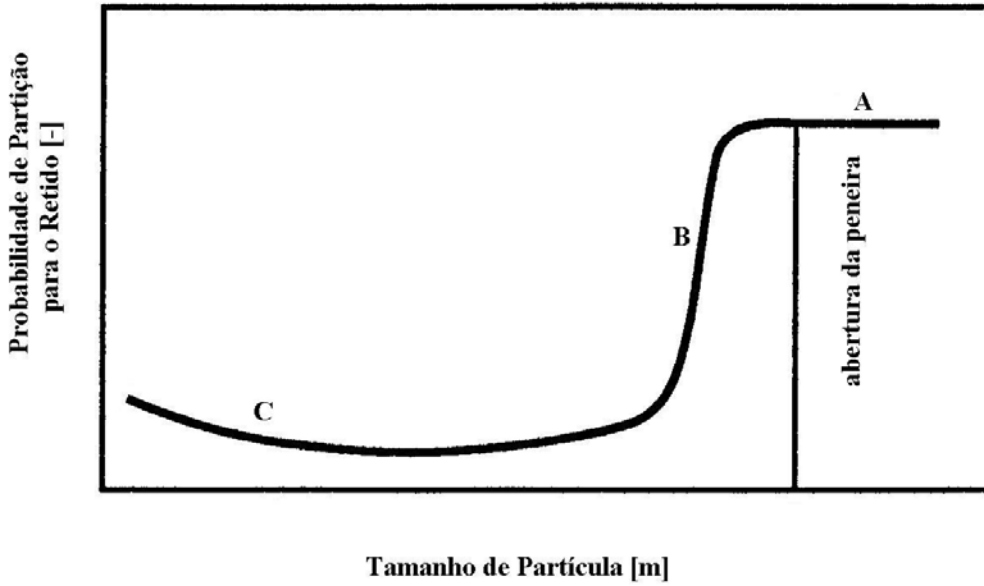


Figura 3. 3 - Curva de eficiência de peneira vibratória

$$R_{(d)} = \exp[-n \times P / S_t] \quad (3.36)$$

onde:

$$P = f_a \times \left(1 - \frac{C}{L}\right) \times \left(\frac{d}{a}\right)^2 + \frac{C}{L} \times \left(1 - \frac{d}{a}\right) \times S_t \quad (3.37)$$

$R_{(d)}$ – partição das partículas de tamanho d para o retido;
 n – número de apresentações;
 a – abertura da peneira;
 C – comprimento da peneira;
 L – largura da peneira;
 f_a – fração de área aberta;
 S_t – área total da peneira.

Para a região A:

$$R_{(d)} = 1.$$

Para a região C:

O desempenho da peneira, na região C, somente poderá ser determinada experimentalmente dependendo das condições locais, por exemplo, uma mistura de minérios na qual as partículas finas aderem-se às grossas.

$$R_{(d)} = \exp[-n \times P / S_t] \quad (3.38)$$

onde:

$$P = f_a \times \left(1 - \frac{C}{L}\right) \times \left(\frac{d}{a}\right)^2 + \frac{C}{L} \times \left(1 - \frac{d}{a}\right) \times S_t \quad (3.39)$$

$R_{(d)}$ – fração de partículas na alimentação de tamanho d ;
 n – número de apresentações à tela da peneira;
 a – abertura da peneira;
 C – comprimento da peneira;
 L – largura da peneira;
 f_a – fração de área aberta;
 S_t – área total da peneira.

O número de apresentações n é dado por equações de regressão da seguinte forma:

$$n = \exp\left(E + F \times \frac{Q}{L} + U \times P_1 + V \times P_2\right) \quad (3.40)$$

onde:

E, F, U, V – são parâmetros de regressão;
 n – número de apresentações à tela da peneira;
 Q – taxa alimentação
 L – largura da peneira;
 P_1 – percentagem de alimentação entre X_1 e X_2 ;
 P_2 – percentagem de alimentação menor que X_3 ;
 X_1, X_2 e X_3 – parâmetros de tamanhos de alimentação críticos.

O fator de subtamanho é relacionado com os parâmetros operacionais por uma equação de regressão linear.

3.2.4. Modelo de peneiramento para um peneira DMS com d_{50c} fixo no *JKSimet*®

Esse modelo mantém d_{50c} fixo e usa a partição de água para quantificar a partição de finos. Os valores de α_{ac} e β para um peneira DMS são 4 e 0 respectivamente, sendo α_{ac} o parâmetro de acurácia da curva de eficiência e β o fator de inclinação da curva de eficiência. O modelo pode ser usado para muitos classificadores.

A curva de eficiência é dada por uma equação de distribuição tipo logística (função de Whiten), adequadamente arranjada, a qual é expressa por:

$$E_0\left(\frac{d}{d_{50c}}\right) = \frac{R_f \times \left(1 + \left(b_{in} \times b^* \times \frac{d}{d_{50c}}\right)\right) \times (\exp(a_c) - 1)}{\exp\left(a_c \times b^* \times \frac{d}{d_{50c}}\right) + (\exp(a_c) - 2)} \quad (3.41)$$

Quando $b = 0$ e $b^* = 1$ a equação 3.29 se reduz a:

$$E_0\left(\frac{d}{d_{50c}}\right) = \frac{R_f \times (\exp(a_c) - 1)}{\exp\left(a_c \times \frac{d}{d_{50c}}\right) + (\exp(a_c) - 2)} \quad (3.42)$$

onde:

d – tamanho das partículas;

d_{50c} – tamanho de partículas na alimentação que tem probabilidade igual de irem para os produtos finos ou grossos;

a_c – parâmetro de acurácia da curva de eficiência reduzida;

b_{in} – parâmetro de inclinação da curva de eficiência reduzida;

b^* – parâmetro que descreve a curva de eficiência reduzida;

R_f – partição de água para o passante.

Os valores a_c e b_{in} são normalmente constantes para uma dada alimentação de sólidos, os valores de b^* são calculados iterativamente neste modelo. A forma deste modelo não permite que ele seja usado para escalonamento.

3.2.5. Modelo de peneiramento para um peneira DMS com d_{50c} variável no JKSimet®

Esse modelo é uma sofisticação do caso anterior que inclui uma relação de regressão para o d_{50c} .

Está relação é dada por:

$$d_{50c} = \exp\left[\frac{(A \times \ln(l_a) + 2,303 \times B \times Q_{af} \times R_f)}{(100 + E \times c_m + D)}\right] \quad (3.43)$$

onde:

A, B, E, D – parâmetros de regressão;

R_f – partição de água para o passante;

l_a – largura da abertura;

Q_{af} – vazão de água na alimentação;

c_m – percentagem de sólidos da alimentação.

assim a equação que representa a curva de eficiência será dada por:

$$E_0\left(\frac{d}{d_{50c}}\right) = \frac{100 \times R_f \times \left(1 + \left(b_{in} \times b^* \times \frac{d}{d_{50c}}\right)\right) \times (\exp(a_c) - 1)}{\exp\left(a_c \times b^* \times \frac{d}{d_{50c}}\right) + (\exp(a_c) - 2)} \quad (3.44)$$

Quando $b = 0$ e $b^* = 1$ a equação 3.32 se reduz a:

$$E_0 \left(\frac{d}{d_{50c}} \right) = \frac{100 \times R_f \times (\exp(a_c) - 1)}{\exp \left(a_c \times \frac{d}{d_{50c}} \right) + (\exp(a_c) - 2)} \quad (3.45)$$

onde:

d – tamanho das partículas;

d_{50c} – tamanho de partículas na alimentação que tem probabilidade igual de ir para os produtos finos ou grossos;

a_c – parâmetro de acurácia da curva de eficiência reduzida;

b_{in} – parâmetro de inclinação da curva de eficiência reduzida;

b^* – parâmetro que descreve a curva de eficiência reduzida;

R_f – partição de água para o passante.

Os valores a_c e b_{in} são normalmente constantes para uma dada alimentação de sólidos, os valores de b^* são calculados iterativamente neste modelo. A forma deste modelo não permite que ele seja usado para escalonamento.

3.2.6. Peneiramento vibratório em um *deck* simples no MODSIM, MODular SIMulator for Mineral Processing Plants (King R.P., 2001) .

Esse é um modelo simples para peneiramento. O corte em uma tela de tamanho especificada, mas em certas frações o passante é carregado para o sobretamanho da peneira. Isto é definido como sendo a transmissão de eficiência. Aspersores de água podem ser adicionados à peneira.

Parâmetros de entrada necessários para simulação desse modelo:

1 - tamanho de abertura; 2 - transmissão da eficiência para o *undersize*; 3 - superfície de mistura dos sobretamanho sobre a tela; 4 - dimensões da peneira. (opcional) checar as dimensões específicas na caixa se você quiser especificar as dimensões da peneira; 5 - número de peneiras em paralelo.

3.2.7. Peneiramento vibratório em um *deck* simples para peneiramento a úmido no MODSIM, MODular SIMulator for Mineral Processing Plants. (King R.P., 2001)

Esse modelo para peneiramento a úmido foi desenvolvido por Rogers R.S.C.(*appud* King R.P., 2001),

A função de classificação é descrita por:

$$e = \frac{x}{x + \exp(\alpha \times (1 - x^3))} \quad (3.46)$$

com

$$x = \frac{d_p}{d_{50c}} \quad (3.47)$$

O curto-circuito para o sobretamanho segue o fluxo de água. A classificação atual é descrita por:

$$c = 1 - R_f(1 - e) \quad (3.48)$$

Onde R_f é água reportada para o *undersize*.

Esse modelo tem sido usado por ser mais efetivo em peneiramento a úmido e tem sido testado para lamas de carvão em peneiras de alta frequência.

Parâmetros de entrada necessários para simulação desse modelo:

1 - d_{50c} em m; 2 - água reportada ao *undersize*; 3 - parâmetro de eficiência α , usualmente na faixa 0.8 até 4.

3.2.8. Modelo de Menne

Um método independente é o de Menne (Menne 2002) para cálculo de área (S , dada em metros quadrados) de peneiras vibratórias:

$$S = \left\{ \left[\frac{(1-s)-m}{7,8 \times a \times f_a^2} \right] \times \ln \left[\frac{(1-s)-m}{E_f \times (1-s)-m} \right] + K \right\} \times Q_a \quad (3.49)$$

Onde:

Q_a – vazão mássica de alimentação [t/h];

m – fração de material menor que a metade de a , no fluxo de alimentação do *deck* [-];

s – fração de material maior que a , na alimentação do *deck* [-];

f_a – fração de área aberta da peneira [-];

E_f – eficiência de remoção de finos [-];

K – parâmetro dado por:

$$\left\{ \begin{array}{l} K = 0; \text{ se } a > 400 \text{ mm;} \\ K = \frac{2,5 \times (424 - a)}{10000} \end{array} \right. \quad \text{caso contrário:} \quad (3.50)$$

4. METODOLOGIA

4.1 Desenvolvimento do modelo computacional (*SimPeneira*)

O *SimPeneira* é constituído de dois sub-sistemas que são: um módulo de simulação e um módulo de dimensionamento clássico, baseado no método Allis Chalmers modificado. Esta metodologia clássica apresenta uma série de simplificações, pois não leva em conta, por exemplo, a inclinação da peneira e a frequência de vibração, parâmetros importantíssimos em um processo de peneiramento.

Primeiramente foi realizada a construção de um banco de dados, utilizando-se o *Microsoft Access*. A interface do sistema foi desenvolvida em *Borland Delphi 7.0* e possibilita a simulação de diversos cenários operacionais relativos a um peneiramento em escala industrial, como, por exemplo, a abertura da peneira, a velocidade do fluxo do material, comprimento da peneira, inclinação da peneira, etc.

O sistema foi concebido de tal modo que, para entrada de dados no módulo de simulação, é necessário entrar com os seguintes dados:

- ✓ a análise granulométrica da alimentação;
- ✓ a abertura da peneira;
- ✓ a velocidade do fluxo do material;
- ✓ comprimento da peneira;
- ✓ largura da peneira
- ✓ inclinação da peneira;
- ✓ frequência;
- ✓ massa específica aparente;
- ✓ zona morta;
- ✓ diâmetro do fio;
- ✓ tempo de amostragem;
- ✓ fração do fluxo amostrado;
- ✓ coeficiente de efetividade ou, alternativamente, análise granulométrica do material passante (para que o sistema encontre o melhor coeficiente de efetividade).

Todos esses dados apresentam valores pré-definidos (*defaults*), que serão assumidos no caso do não preenchimento dos campos de entrada correspondentes. Para o usuário calibrar o sistema para um dado peneiramento é necessário que ele entre com a análise granulométrica do material passante de um ensaio na peneira, assim o sistema ajustará o coeficiente de efetividade através da avaliação e escolha, da soma do menor erro quadrático, para o peneiramento em questão.

Para entrada de dados no módulo de dimensionamento clássico do *SimPeneira*, é necessário primeiramente escolher se se deseja entrar com os parâmetros de uma distribuição de Rosin-Rammler (que são: a agudez – ou módulo da distribuição – e o parâmetro de escala), ou com os dados de uma análise granulométrica.

Em seguida deve-se escolher:

- ✓ qual *deck* de peneiramento;
- ✓ o tipo de peneiramento (se a úmido ou a seco);
- ✓ o formato das partículas;
- ✓ o tipo de malha;
- ✓ a abertura da peneira;
- ✓ a vazão da alimentação;
- ✓ o coeficiente de incerteza que normalmente varia de 1 a 1,4;
- ✓ a relação entre os eixos (lados) da abertura.

Todos esses dados apresentam valores pré-definidos (*defaults*), que serão assumidos no caso do não preenchimento dos campos de entrada correspondentes.

O apêndice B mostra o fluxograma conceitual do *SimPeneira*, tanto da parte de dimensionamento clássico quanto a de simulação.

4.2 Formalismo matemático do módulo de simulação

O sistema sugere a inclinação e a frequência, embora o usuário tenha autonomia para selecionar e alterar os campos correspondentes. O cálculo da inclinação e frequência sugeridas, utiliza as equações 3.0.1 e 3.0.2, respectivamente.

A espessura efetiva média do peneiramento é calculada da seguinte maneira:

$$E_1 = \left(\frac{Q_m}{\rho_{ap} \times v \times L} \right) \quad (4.01)$$

onde:

Q_m – vazão mássica do *oversize* [kg/s];

ρ_{ap} – massa específica do material [kg/m³];

v – velocidade média de progresso do material sobre a tela [m/s];

L – largura efetiva da peneira [m];

E_1 – espessura do leito [m].

A espessura relativa é dada por:

$$E^* = \frac{E_1}{a} \quad (4.02)$$

onde:

E^* – espessura relativa [-];

a – abertura equivalente da peneira [m].

É necessário o conhecimento do coeficiente de efetividade ou, alternativamente, a granulometria do material passante, para que o sistema ajuste o coeficiente de efetividade.

O sistema calcula a probabilidade de uma partícula passar pela tela de uma peneira de tela quadrada, utilizando-se a expressão analítica de Mogensen (equação 3.22) com a função de ajuste dada pela equação 3.23.

Por seu turno, o tempo de residência é dado por:

$$\tau = \frac{C}{v} \quad (4.03)$$

onde:

C – comprimento da peneira [m];

v – velocidade média de fluxo [m/s].

O número de apresentações de cada partícula de subtamanho (*undersize*) às aberturas da tela é, em geral, apenas uma fração do número de ciclos da peneira, durante o tempo de residência. Portanto, devido às interações das partículas no leito, a efetividade representa a razão entre o número de ciclos durante o percurso sobre a tela e o número efetivo de apresentações.

$$y = \frac{n}{f \times \tau} \quad (4.04)$$

O número de apresentações de cada partícula à tela, será calculado com base no tempo de residência, τ , considerando-se uma “efetividade (y)” da frequência operacional, conforme o disposto na equação a seguir:

$$n = f \times \tau \times y \quad (4.05)$$

onde:

y – efetividade [-];

f – frequência [Hz];

τ – tempo de residência [s].

Assim, sendo, é natural supor que a dificuldade de migração dos subtamanhos dentro do leito, em direção a superfície de separação (tela), seja crescente com a espessura relativa do leito:

$$y = \frac{k}{(E^*)^z} \quad (4.06)$$

onde:

k – coeficiente de efetividade [-];

z – ponderador exponencial de espessura.

Para efeito de simplificação adotou-se para esse trabalho, z igual a 1, assim o erro associado à adoção desse valor para esse parâmetro, na realidade será incorporado pela efetividade (y).

Para o caso de o coeficiente de efetividade estar sendo inferido por valores experimentais da partição, isto é, durante a fase de calibração do modelo, o sistema utiliza uma rotina simplificada de minimização de erro quadrático como descrita pelo algoritmo a seguir:

Procedimento ajusta fração de frequência;

Início;

atribuição das variáveis

Módulo de repetição

Início

*Fração de frequência => passo*i;*

Calcula probabilidade;

Calcula análise granulométrica da alimentação;

Calcula eficiência;

Calcula vazões;

Calcula área;

Início

Módulo de repetição: calculo do vetor de desvios;

Cálculo dos desvios entre a granulometria experimental e simulada ;

Módulo de repetição: calculo do desvio quadrático mínimo;

Atribuição do erro quadrático mínimo e Coeficiente de efetividade ótimo;

Fim;

Fim.

A probabilidade P_n , para n tentativas de passagem (apresentações), de uma classe de tamanhos i na peneira, é dada pela equação 3.24.

Em suma, a determinação de y para dado caso operacional é o ponto chave para o modelamento do processo, no algoritmo adotado pelo *SimPeneira*.

O sistema calcula também as vazões mássicas da alimentação, do retido e do passante:

$$Q_m = \frac{\sum m}{\tau \times F_f} \quad (4.07)$$

onde:

$\sum m$ – somatório das massas retidas em cada faixa granulométrica;

F_f – fração de fluxo amostrado;

Para o cálculo da área se utiliza:

$$A = C \times L \quad (4.08)$$

onde:

A – área efetiva de peneiramento;

C – comprimento da peneira (dado de entrada) [m];

L – largura da peneira [m].

A eficiência de peneiramento (eficiência de remoção de finos), poderá ser calculada pela expressão:

$$E_F = \frac{m_u}{m_a} \quad (4.09)$$

onde:

m_u – massa passante [kg];

m_a – massa de subtamanho alimentada [kg].

4.3 Formalismo matemático do módulo de dimensionamento de peneiras vibratórias

Inicialmente, para se evitar o uso de tabelas no programa e conseqüentemente o mau uso de rotinas de interpolação, uma criteriosa análise de regressão foi realizada com os valores tabelados para dimensionamento pelo método Allis-Chalmers. (Faço 1994). Tais equações são apresentadas nos parágrafos seguintes, a equação que dá a área requerida para o peneiramento pelo método clássico (dito Allis-Chalmers) é:

$$S = \frac{Q_a \times F_p}{Q_{bas} \times \prod k_i} \quad (4.10)$$

onde:

Q_a – vazão mássica [t/h];

F_p – Coeficiente de incerteza [-];

Q_{bas} – capacidade específica do peneiramento [(m³/h)/m² = m/h];

$\prod k_i$ – produto dos vários fatores de correção, k_i [-];

ρ_{ap} – massa específica aparente do material [t/m³].

Naturalmente, é necessário possuir ou a análise granulométrica ou os parâmetros da distribuição estatística que a descreva.

A determinação do fator k_1 , o qual é o fator de correção em função do "tamanho metade" (m , dado em milímetros), utiliza a seguinte fórmula de regressão:

$$k_1 = \sqrt{4,815 \times \frac{m^2}{1000} + 0,193} \quad (4.11)$$

onde:

m – fração de material menor que a metade da abertura equivalente da peneira no fluxo de alimentação do *deck*;

O fator de correção para a fração retida (fator de grossos), k_2 , é calculado utilizando-se a seguinte fórmula:

$$k_2 = -2,72 \times (1 - \exp(-0,08 \times (90,1 - s))) + 3,7 \quad (4.12)$$

onde:

s – fração de material acima da abertura efetiva da peneira na alimentação do *deck*;

Se os parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica na alimentação forem conhecidos, as frações de material abaixo do “tamanho metade” (m) e a de grossos (s) podem ser calculadas substituindo o argumento da equação por $a/2$ e por a , respectivamente.

O fator de tipo de abertura k_3 é calculado do seguinte modo:

- ✓ Se a malha for quadrada k_3 será 1;
- ✓ Se a malha for redonda k_3 será 0,8;
- ✓ Se a malha for retangular k_3 será dado pela seguinte fórmula:

$$k_3 = 0,274 \times (1 - \exp(-0,738 \times (k_d - 1))) + 1 \quad (4.13)$$

onde:

k_d – relação entre os lados (eixos) da abertura (d_1/d_2);

O fator formato das partículas k_4 é calculado do seguinte modo:

- ✓ Se as partículas forem cúbicas k_4 será 1;
- ✓ Se as partículas forem lamelares k_4 será 0,9;

O fator de eficiência da abertura k_5 é calculado do seguinte modo:

- ✓ Se o peneiramento for a seco k_5 será igual a 1;
- ✓ Se o peneiramento for a úmido k_5 será dado pela seguinte fórmula:

$$k_5 = -0,04 \times \sqrt{a - 3,37} + 1,407 \quad (4.14)$$

onde:

a – abertura padrão da peneira [mm];

O fator de umidade k_6 é calculado do seguinte modo:

- ✓ Se a umidade for maior que 6 % e menor 9% k_6 será igual a 0,75;
- ✓ Se a umidade for maior que 3 % e menor 6% k_6 será igual a 0,85;
- ✓ Se o peneiramento for a úmido ou se a umidade for menor que 3 % k_6 será igual a 1;

O fator de área efetiva k_7 é calculado do seguinte modo:

- ✓ Se o peneiramento ocorrer no primeiro *deck* k_7 será igual a 0,9;
- ✓ Se o peneiramento ocorrer no segundo *deck* k_7 será igual a 0,8;
- ✓ Se o peneiramento ocorrer no terceiro *deck* k_7 será igual a 0,7;

O fator de área aberta k_8 é calculado do seguinte modo:

$$k_8 = \frac{f_a}{50} = \frac{34 \times (1 - \exp(-0,05 \times (a - 1,9))) + 40}{50} \quad (4.15)$$

onde:

a – abertura efetiva da peneira [mm];

A capacidade básica de peneiramento Q_{bas} é dada por:

$$Q_{bas} = 0,36423 \times \sqrt{a^2 + 251,28 \times a} \quad (4.16)$$

onde:

a – abertura efetiva da peneira [mm];

4.4 Formalismo matemático do módulo de dimensionamento de peneiras revolventes

Nos próximos parágrafos descreve-se o procedimento equivalente para dimensionamento de peneiras revolventes (trômeis). Para o cálculo da área requerida deve-se utilizar a equação a seguir:

$$S = \pi \times D \times L_t \quad (4.19)$$

onde:

D – Diâmetro efetivo do trômel [m];

L_t – Comprimento efetivo do trômel [m].

O tempo de residência das partículas dentro do trômel (em segundos) pode ser previsto utilizando-se a equação a seguir (Porter, 1984):

$$\tau = \frac{0,23 \times L_t}{N_{tr}^{0,9} \times D \times \text{tg}(\alpha)} \quad (4.20)$$

onde:

N_{tr} – velocidade de rotação do trômel [rpm];

α – inclinação do eixo longitudinal do trômel [°].

O comprimento do trômel é dado pela equação apresentada a seguir (Gomide, 1983):

$$L_t = \frac{\left(\frac{Q_a}{\rho_{ap}} \right)}{0,4 \times \pi \times D \times Q_{bastr} \times k_{2tr} \times k_{5tr} \times k_{6tr} \times k_{9tr}} \quad (4.21)$$

Onde a capacidade básica (ou vazão volumétrica de alimentação por área de tela do trômel), Q_{bastr} , é dada pela equação de regressão seguinte:

$$Q_{bastr} = 1,06 \times \ln(0,562 \times a) \quad (4.22)$$

onde a , abertura da tela, é dada em milímetros e Q_{bastr} , [m/h].

O fator de correção para a fração retida (fator de grossos), k_{2tr} , pode ser calculado utilizando-se a seguinte fórmula:

$$k_{2tr} = -2,5203 \times s^3 + 2,2569 \times s^2 - 0,8943 \times s + 1,1623 \quad (4.23)$$

O fator de eficiência do peneiramento k_{5tr} é calculado do seguinte modo, em função da eficiência de remoção de finos:

$$k_{5tr} = -0,000029 \times \varepsilon^3 + 0,0064 \times \varepsilon^2 - 0,4875 \times \varepsilon + 14,145 \quad (4.24)$$

O fator de inclinação, k_{9tr} , por sua vez, é calculado do seguinte modo (em função da inclinação α [°]):

$$k_{9tr} = 0,01976 \times \alpha^2 - 0,3974 \times \alpha + 2,51 \quad (4.25)$$

O fator de umidade e tipo de abertura de passagem, k_{6tr} , é dado por:

- ✓ peneiramento a úmido e aberturas redondas: $k_{6tr} = 1$;
- ✓ peneiramento a úmido e aberturas quadradas: $k_{6tr} = 1,2$;
- ✓ peneiramento a seco e aberturas redondas: $k_{6tr} = 1,6$;
- ✓ peneiramento a seco e aberturas quadradas: $k_{6tr} = 1,9$.

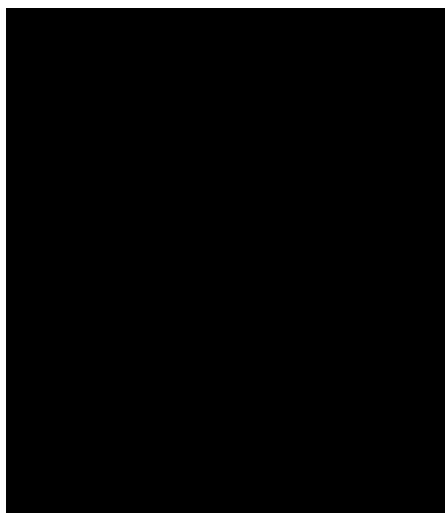
4.5 Ensaios de validação do modelo

Para que um modelo computacional possa ser aplicado em qualquer sistema de peneiramento em escala industrial é necessário realizar a validação do mesmo.

Uma campanha de ensaios em escala piloto, utilizando-se uma peneira vibratória, permitiu a calibração e ajuste do modelo (determinação do coeficiente de efetividade em várias simulações).

4.4.1. Preparação de amostras

O material britado utilizado neste trabalho é um minério dolomítico proveniente da mineração Bemil. Todo o material inicialmente estava em uma granulometria grossa, por isso foi realizada uma fragmentação manual. Em seguida, esse material passou por uma britagem primária em um britador de mandíbulas com as seguintes dimensões: boca 10 cm x 13 cm e saída 0,4 mm na posição fechada e 1,5 mm na posição aberta. Todo o material foi passado em uma peneira de 9,52 mm, sendo o material retido britado em um britador de rolos secundário com abertura de 9 mm e rebitado no mesmo britador, mas com uma abertura de 7,5 mm, como apresentado no fluxograma a seguir.



Com o auxílio da balança mecânica (Filizola), pesou-se todo o material obtendo-se uma massa para os testes de 133,51 kg;

Realizou-se em seguida a homogeneização e quarteamento de todo o material da seguinte maneira: inicialmente foi construída uma pilha na forma de um cone para a homogeneização do material, retirou-se o material da base da pilha e o mesmo foi despejado novamente no topo, repetindo-se este procedimento em volta de toda a pilha.

O quarteamento foi realizado da seguinte maneira: retomou-se o material da pilha cônica formando-se uma pilha na forma aproximada de um tronco de pirâmide. Tomou-se o cuidado de se manter a quantidade despejada e a velocidade sempre constante. A pilha foi dividida em diversas porções iguais e numerada, realizando-se o quarteamento retomando-se os índices pares ou ímpares, preconizado no procedimento clássico (Goes e colaboradores, 2002).

Os resultados da análise granulométrica da alimentação (dolomita) encontram-se na tabela A.2 do apêndice A. A malha que deixa passar 50 % da alimentação é 3,048 mm.

4.4.2. Ensaios contínuos

4.4.2.1. Equipamentos

Como já mencionado anteriormente, foi realizada uma campanha de ensaios em escala piloto, utilizando-se uma peneira vibratória (com área efetiva de 680 x 225 mm²), de inclinação variável (disponibilizada pelo CEFETOP).

4.4.2.2. Procedimento

Primeiramente foi realizada a medida da velocidade de fluxo do material sobre a peneira, utilizando-se somente o material acima do tamanho da abertura (sobretamanho). Os traçadores utilizados foram: Cubos de isopor e madeira, e amostras do material (sobretamanho).

Ensaios preliminares com isopor e gabarito de madeira

Foram realizados ensaios preliminares com o objetivo medir a velocidade de fluxo do material (dolomita), sobre a peneira. O seguinte procedimento foi adotado:

- ✓ Colocou-se a peneira em funcionamento para realização das medidas de frequência e amplitude;
- ✓ Mediu-se a velocidade de fluxo de um paralelepípedo de isopor em vazio;
- ✓ Mediu-se a velocidade de fluxo de um paralelepípedo (toco) de madeira também em vazio;
- ✓ Mediu-se a velocidade de fluxo do paralelepípedo de isopor sobre o material (dolomita) utilizando-se a inclinação de 21°;
- ✓ Pesou-se o material retido e passante;
- ✓ Quartearam-se as amostras e retiraram-se alíquotas para a realização das análises granulométricas (estas análises estão apresentadas no apêndice C);
- ✓ Posteriormente mudou-se a inclinação da peneira para 16°;
- ✓ Mediu-se a velocidade de fluxo do paralelepípedo de isopor sobre o material (dolomita) utilizando-se a inclinação de 16°;
- ✓ Pesou-se o material retido e passante;
- ✓ Quartearam-se as amostras e retirou-se alíquota para a realização das análises granulométricas (estas análises estão apresentadas no apêndice C);
- ✓ Realizaram-se as análises granulométricas para as duas inclinações.

Ensaios preliminares em presença de traçadores

Esses ensaios também foram realizados com o objetivo medir a velocidade de fluxo do material (dolomita), sobre a peneira. Traçadores constituídos de partículas de dolomita previamente pintadas e numeradas foram imersos no material a ser peneirado (como pode ser observado na figura 4.1). Os tempos de residência de cada um dos traçadores sobre a tela foram registrados.

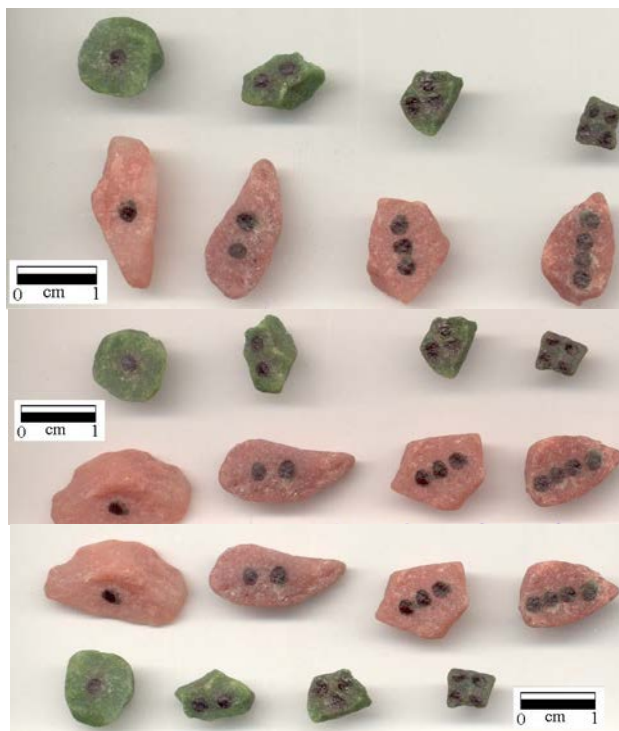


Figura 4. 1 - Traçadores em algumas diferentes posições.

O seguinte procedimento foi adotado:

- ✓ Colocou-se a peneira em funcionamento para realização das medidas de frequência e amplitude;
- ✓ Mediu-se a velocidade de fluxo de cada uma das 12 amostras de dolomita coloridas e de diferentes tamanhos utilizando-se a inclinação de 21°;
- ✓ Pesou-se o material retido e passante;
- ✓ Quartearam-se as amostras e retiraram-se alíquotas para a realização das análises granulométricas (estas análises estão apresentadas no apêndice D);
- ✓ Posteriormente mudou-se a inclinação da peneira para 16°;
- ✓ Mediu-se a velocidade de fluxo de cada uma das 12 amostras de dolomita coloridas e de diferentes tamanhos utilizando-se a inclinação de 16°;
- ✓ Pesou-se o material retido e passante;
- ✓ Quartearam-se as amostras e retirou-se alíquota para a realização das análises granulométricas (estas análises estão apresentadas no apêndice D);
- ✓ Posteriormente mudou-se a inclinação da peneira para 11°;
- ✓ Mediu-se a velocidade de fluxo de cada uma das 12 amostras de dolomita coloridas e de diferentes tamanhos utilizando-se a inclinação de 11°;
- ✓ Pesou-se o material retido e passante;
- ✓ Quartearam-se as amostras e retirou-se alíquota para a realização das análises granulométricas (estas análises estão apresentadas no apêndice D);

Realizaram-se as análises granulométricas para as três inclinações.

Ensaio de Calibração da Vazão

Foi construído um silo e uma calha de alimentação sobre a peneira do CEFETFOP como pode-se observar na figura 4.2. A calha é solidária à peneira inclinada e aproveita o movimento de vibração da mesma, quando a inclinação da peneira era mudada, a inclinação da calha de alimentação também era alterada. Com isso, tornou-se necessário à construção de uma curva de calibração para que a vazão, em todos os ensaios, pudesse ser ajustada para o valor desejado.



Figura 4. 2 - silo e calha de alimentação solidários à peneira inclinada.

Foram então realizados dois ensaios em cada uma das três inclinações, da seguinte maneira:

- ✓ Colocou-se a peneira em funcionamento com uma inclinação de 11°;
- ✓ Mediu-se o tempo de esvaziamento do silo de alimentação;
- ✓ Pesou-se o material retido e passante;
- ✓ Repetiram-se os procedimentos;

- ✓ Colocou-se a peneira em funcionamento com uma inclinação de 16°;
- ✓ Mediu-se o tempo de esvaziamento do silo de alimentação;
- ✓ Pesou-se o material retido e passante;
- ✓ Repetiram-se os procedimentos;

- ✓ Colocou-se a peneira em funcionamento com uma inclinação de 21°;
- ✓ Mediu-se o tempo de esvaziamento do silo de alimentação;
- ✓ Pesou-se o material retido e passante;
- ✓ Repetiram-se os procedimentos;

Ensaio de Validação do Modelo

Os ensaios de validação foram realizados na peneira do CEFETOP, figura 4.3, utilizando-se as duas vazões determinadas nos ensaios de calibração 0,265 kg/s e 0,34 kg/s. Esses ensaios foram realizados em três inclinações 11°, 16° e 21° de acordo com a figura 4.4 e também em três aberturas de telas distintas, 6 mm, 3,35 mm e 0,833 mm como se observa na figura 4.5.

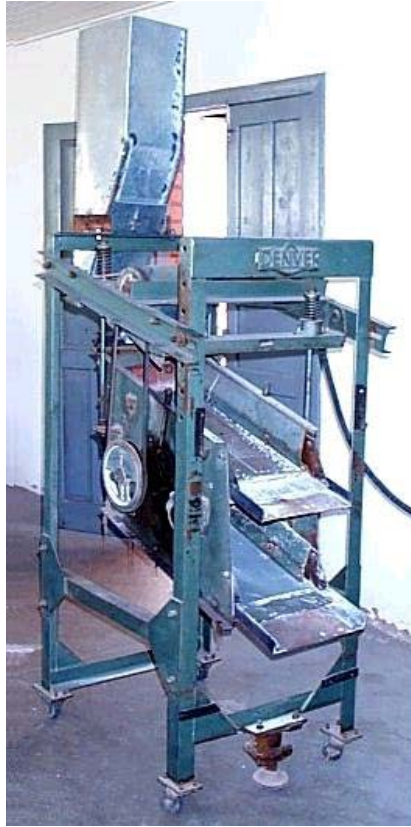


Figura 4. 3 - peneira onde foram realizados os ensaios de peneiramento piloto.



Figura 4. 4 - furos de regulagem (os números são a atribuição dos ângulos aos respectivos furos) de inclinação da peneira

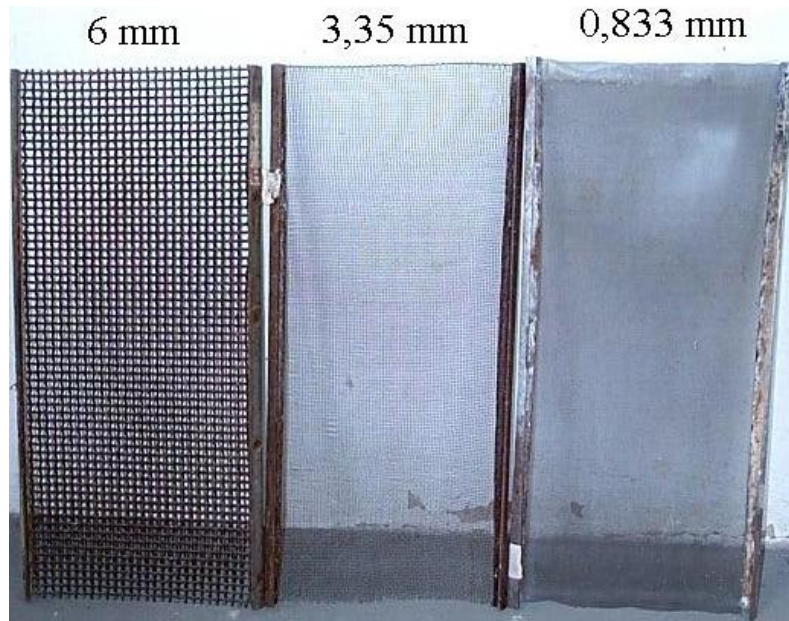


Figura 4. 5 - telas utilizadas nos ensaios

O seguinte procedimento foi adotado:

- ✓ Colocou-se a tela de 6 mm;
- ✓ Colocou-se a peneira em funcionamento na inclinação de 11°;
- ✓ Ajustou-se a abertura da calha;
- ✓ Realizou o peneiramento;
- ✓ Pesou-se o material retido e passante;
- ✓ Quartearam-se as amostras e retiraram-se alíquotas para a realização das análises granulométricas (estas análises estão apresentadas no apêndice E);
- ✓ Posteriormente mudou-se a inclinação da peneira para 16°;
- ✓ Realizou o peneiramento;
- ✓ Pesou-se o material retido e passante;
- ✓ Quartearam-se as amostras e retirou-se alíquota para a realização das análises granulométricas (estas análises estão apresentadas no apêndice E);
- ✓ Mudou-se a inclinação da peneira para 21°;
- ✓ Realizou o peneiramento;
- ✓ Pesou-se o material retido e passante;
- ✓ Quartearam-se as amostras e retirou-se alíquotas para a realização das análises granulométricas (estas análises estão apresentadas no apêndice E);
- ✓ Mudou-se a tela para 3,35 mm;
- ✓ Repetiram-se todos os procedimentos;
- ✓ Mudou-se a tela para 0,833 mm;
- ✓ Repetiram-se novamente todos os procedimentos;
- ✓ Realizaram-se as análises granulométricas para as três telas e para as três inclinações (estas análises estão apresentadas no apêndice E).

Os peneiramentos foram simulados utilizando-se o módulo de simulação do *SimPeneira*, com os mesmos dados dos ensaios de validação, porém variando-se: inclinação da peneira; velocidade de fluxo; coeficiente de efetividade; frequência; tempo de peneiramento; abertura da peneira.

Os dados obtidos foram comparados com os dados da prática, e realizaram-se os ajustes necessários para que o modelo representasse o que acontece em uma peneira contínua. Os mesmos encontram-se apresentados nos resultados e discussões. As análises granulométricas dos ensaios simulados estão apresentadas no apêndice F.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Programa *SimPeneira*, como dito anteriormente, é um software desenvolvido para o dimensionamento e simulação de peneiras em escala industrial e piloto, na figura 5.1 podemos observar a interface do módulo de simulação apresentando a tela de entrada com alguns dados simulados e com a rotina de ajuste do coeficiente de efetividade desabilitada.

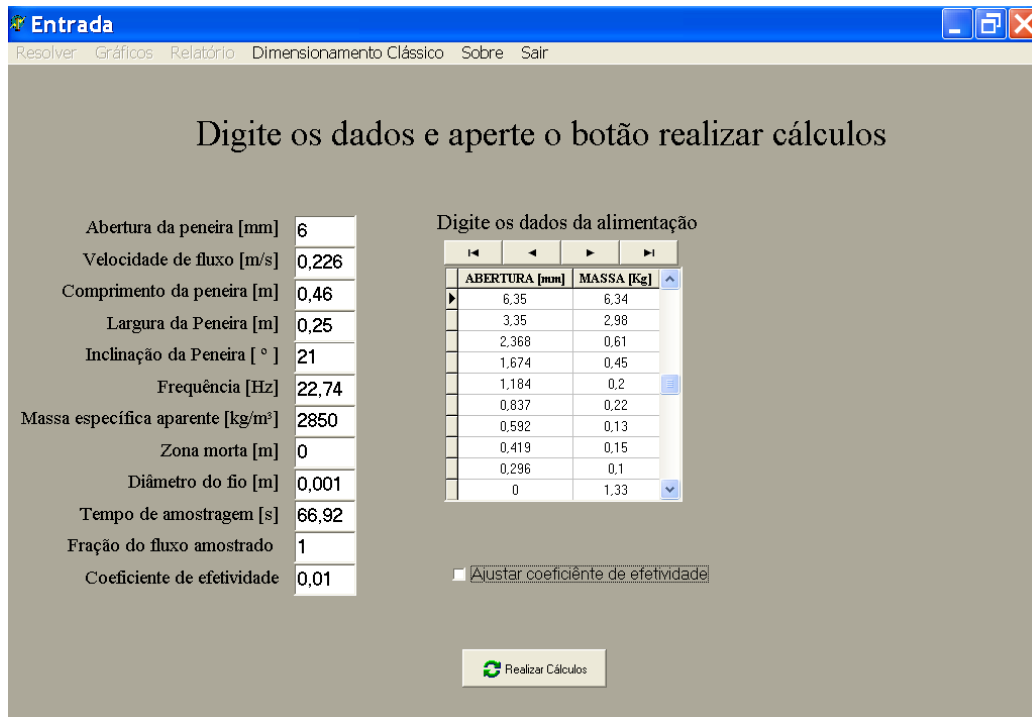


Figura 5. 1 - Tela inicial do Módulo de simulação do programa *SimPeneira* (com desabilitação da rotina de ajuste do coeficiente de efetividade)

A figura 5.2 apresenta também a interface do módulo de simulação, porém com a rotina de ajuste do coeficiente de efetividade habilitada, nesse caso torna-se necessário entrar com os dados práticos de um ensaio de peneiramento, no exemplo entramos com os dados de um dos ensaios realizados.

Entrada Resolver Gráficos Relatório Dimensionamento Clássico Sobre Sair

Digite os dados e aperte o botão realizar cálculos

Abertura da peneira [mm]	6
Velocidade de fluxo [m/s]	0,226
Comprimento da peneira [m]	0,46
Largura da Peneira [m]	0,25
Inclinação da Peneira [°]	21
Frequência [Hz]	22,74
Massa específica aparente [kg/m³]	2850
Zona morta [m]	0
Diâmetro do fio [m]	0,001
Tempo de amostragem [s]	66,92
Fração do fluxo amostrado	1

Digite os dados da alimentação

ABERTURA [mm]	MASSA [Kg]
6,35	6,34
3,35	2,98
2,368	0,61
1,674	0,45
1,184	0,2
0,837	0,22
0,592	0,13
0,419	0,15
0,296	0,1
0	1,33

Digite a % passante realizada

% Passante Realizada
97,71
54,11
43,86
36,21
32,77
29,06
26,85
24,31
22,67
0

Ajustar coeficiente de efetividade

Realizar Cálculos

Figura 5. 2 - Módulo de simulação do programa *SimPeneira* entrando-se com o Análise Granulométrica do material passante (para calibração do modelo)

A interface do módulo de dimensionamento clássico figura 5.3 é apresentada, quando o usuário pressiona Dimensionamento Clássico na tela principal do módulo de Simulação. A tela de dimensionamento clássico apresenta os dados do manual de britagem da Faço (Faço 1994), os quais foram lançados, a título de verificação do algoritmo implementado (figura 5.3). Os resultados podem ser avaliados observando-se a figura 5.4.

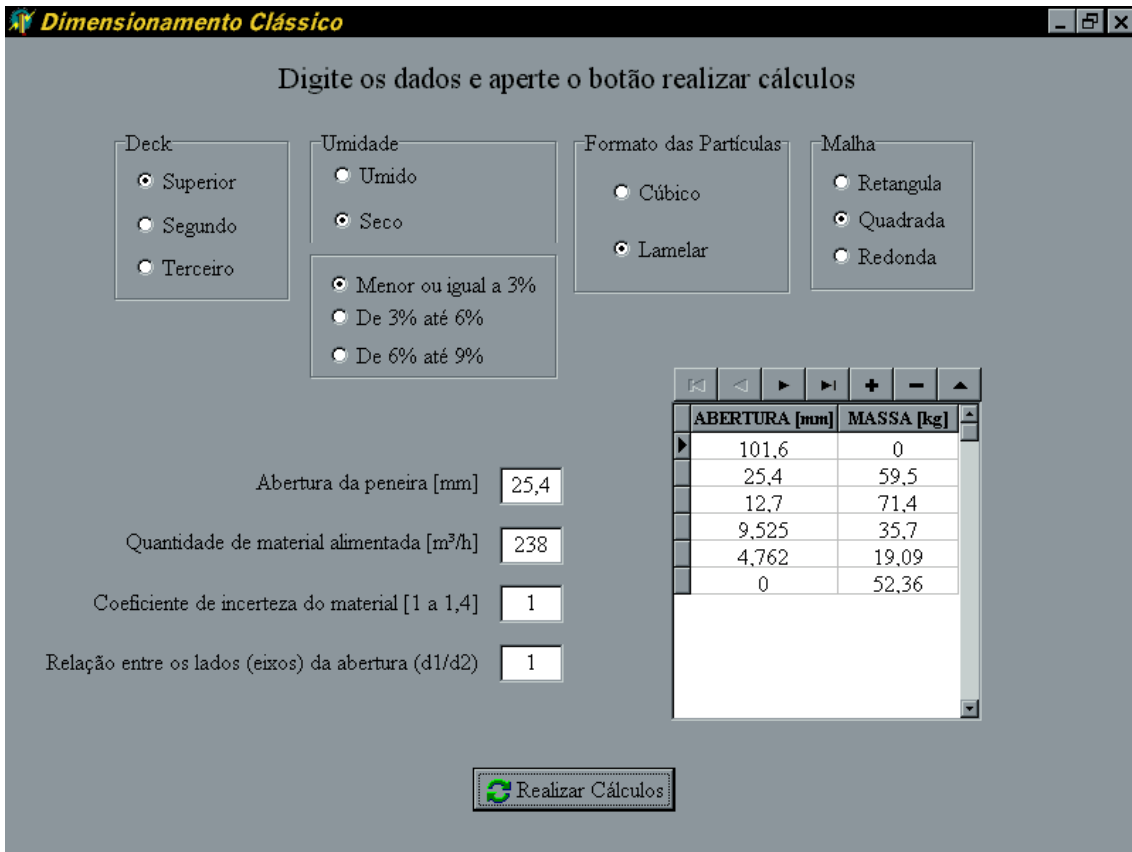


Figura 5. 3 - módulo de dimensionamento do programa *SimPeneira*

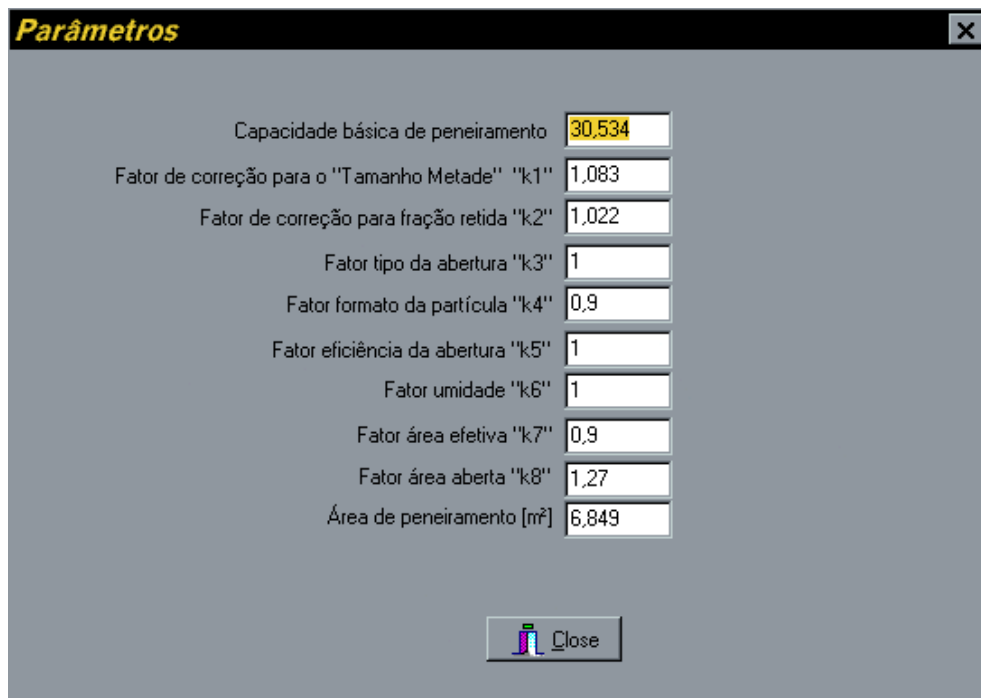


Figura 5. 4 - Resultados do *SimPeneira* módulo de dimensionamento.

Comparando-se a área calculada pelo programa ($6,849 \text{ m}^2$) com o resultado do manual de britagem ($6,4 \text{ m}^2$), vê-se que houve boa precisão. Deve-se registrar que o desvio observado poderia ser diminuído com ulteriores melhorias nas equações de regressão. Entretanto, os próprios valores tabelados pela antiga Allis-Chalmers representam cifras aproximadas e não exatas.

Devido à falta de explicitação dos parâmetros de operação no exemplo do manual de britagem selecionado para a verificação, não foi possível sua comparação, com os resultados obtidos pelo modelo de simulação.

5.1 Resultados dos ensaios preliminares com isopor e gabarito de madeira

Nos ensaios preliminares em escala piloto, foram obtidos os seguintes resultados:

Para uma inclinação de 11° da peneira mediu-se uma frequência $23,97 \text{ Hz}$, para uma inclinação de 16° da peneira mediu-se uma frequência $24,61 \text{ Hz}$, para uma inclinação de 21° da peneira mediu-se uma frequência $22,74 \text{ Hz}$. Como a frequência só depende do motor e não da inclinação utilizou-se a frequência média de $23,77 \text{ Hz}$.

Utilizou-se um paralelepípedo de isopor, como traçador, para determinação da velocidade média de progresso (ou fluxo) sobre a tela, em ensaios em vazio e com material.

A velocidade de progresso referente ao ensaio em vazio foi de $0,144 \text{ m/s}$, ao passo que, no ensaio com alimentação de material (dolomita), esta foi de $0,261 \text{ m/s}$. A massa de dolomita alimentada na peneira foi $29,04 \text{ kg}$, durante o tempo de esvaziamento do silo ($1' 10''$). Portanto, a vazão média da alimentação foi $0,415 \text{ kg/s}$.

Alternativamente, utilizou-se também um paralelepípedo de madeira, numa tentativa de evitar-se o efeito de saltação do traçador sobre a tela. A velocidade em vazio com esse traçador foi de $0,0751 \text{ m/s}$.

Mudando-se a inclinação da peneira para 16° e mantendo-se os demais parâmetros já citados anteriormente fixos têm-se que a velocidade de progresso referente a esta inclinação, com alimentação de material (dolomita), foi de $0,228 \text{ m/s}$. A massa de dolomita alimentada na peneira foi $29,044 \text{ kg}$, durante o tempo de esvaziamento do silo ($3' 43''$). Portanto, a vazão média da alimentação foi $0,130 \text{ kg/s}$.

5.2 Resultados dos ensaios preliminares com o material (dolomita) coloridos

Os resultados da medida da velocidade de fluxo utilizando-se como traçador as amostras de dolomita pintadas estão apresentados nas tabelas 5.1, 5.2, e 5.3:

Tabela 5. 1 - Resultado das medidas de velocidade de fluxo para a inclinação de 11°

Abertura Silo [cm]	Inclinação peneira [°]	Inclinação calha [°]	Nº da Partícula [-]	Tempo de deslocamento traçador [s]	Velocidade de fluxo [m/s]	Desvio Padrão	Vazão [kg/s]
12	11	19	1.1	8.88	0.041	0,0082	0.1144
12	11	19	1.2	9.18	0.039		
12	11	19	1.3	10.88	0.033		
12	11	19	1.4	12.38	0.029		
12	11	19	2.1	7.6	0.047		
12	11	19	2.2	8.47	0.043		
12	11	19	2.3	6.47	0.056		
12	11	19	2.4	7.97	0.045		
				média	0.042		
15	11	19	1.1	5.13	0.070	0,0155	0.1783
15	11	19	1.2	8.47	0.043		
15	11	19	1.3	7.16	0.050		
15	11	19	1.4	5.81	0.062		
15	11	19	2.1	5.5	0.065		
15	11	19	2.2	5.03	0.072		
15	11	19	2.3	4.44	0.081		
15	11	19	2.4	3.97	0.091		
				média	0.067		
20	11	19	1.1	14.5	0.025	0,0219	0.2766
20	11	19	1.2	20.69	0.017		
20	11	19	1.3	25.18	0.014		
20	11	19	1.4	16.88	0.021		
20	11	19	2.1	5.06	0.071		
20	11	19	2.2	6.62	0.054		
20	11	19	2.3	7.75	0.046		
20	11	19	2.4	5.94	0.061		
				média	0.039		
				média Geral	0.0490	0,0197	

Tabela 5. 2 - Resultado das medidas de velocidade de fluxo para a inclinação de 16°

Abertura Silo [cm]	Inclinação peneira [°]	Inclinação calha [°]	Nº da Partícula [-]	Tempo de deslocamento traçador [s]	Velocidade de fluxo [m/s]	Desvio Padrão	Vazão [kg/s]
12	16	21	1.1	3.6	0.100	0,02168	0.1096
12	16	21	1.2	6	0.060		
12	16	21	1.3	5	0.072		
12	16	21	1.4	4.1	0.088		
12	16	21	2.1	3.21	0.112		
12	16	21	2.2	3.4	0.106		
12	16	21	2.3	4.41	0.082		
12	16	21	2.4	2.88	0.125		
				média	0.093		
15	16	21	1.1	2.1	0.171	0,03952	0.1922
15	16	21	1.2	4.4	0.082		
15	16	21	1.3	8	0.045		
15	16	21	1.4	4.4	0.082		
15	16	21	2.1	3.29	0.109		
15	16	21	2.2	3.9	0.092		
15	16	21	2.3	5.62	0.064		
15	16	21	2.4	2.81	0.128		
				média	0.097		
20	16	21	1.1	3.9	0.092	0,02658	0.3307
20	16	21	1.2	10.2	0.035		
20	16	21	1.3	6.9	0.052		
20	16	21	1.4	5.08	0.071		
20	16	21	2.1	4.91	0.073		
20	16	21	2.2	5.53	0.065		
20	16	21	2.3	4.5	0.080		
20	16	21	2.4	2.9	0.124		
				média	0.074		
				média geral	0.0880	0,02994	

Tabela 5.3 - Resultado das medidas de velocidade de fluxo para a inclinação de 21°

Abertura Silo [cm]	Inclinação peneira [°]	Inclinação calha [°]	Nº da Partícula [-]	Tempo de deslocamento traçador [s]	Velocidade de fluxo [m/s]	Desvio Padrão	Vazão [kg/s]
12	21	24	1.1	2.22	0.162	0,16277	0.1479
12	21	24	1.2	2.6	0.138		
12	21	24	1.3	1.12	0.321		
12	21	24	1.4	1.2	0.300		
12	21	24	2.1	1.84	0.196		
12	21	24	2.2	1.4	0.257		
12	21	24	2.3	0.69	0.522		
12	21	24	2.4	0.62	0.581		
				média	0.310		
15	21	24	1.1	2.29	0.157	0,05480	0.2691
15	21	24	1.2	1.53	0.235		
15	21	24	1.3	1.82	0.198		
15	21	24	1.4	2.85	0.126		
15	21	24	2.1	1.91	0.188		
15	21	24	2.2	1.93	0.187		
15	21	24	2.3	1.75	0.206		
15	21	24	2.4	1.16	0.310		
				média	0.201		
20	21	24	1.1	2.81	0.128	0,06853	0.4826
20	21	24	1.2	2	0.180		
20	21	24	1.3	2.28	0.158		
20	21	24	1.4	5.44	0.066		
20	21	24	2.1	2.13	0.169		
20	21	24	2.2	2.03	0.177		
20	21	24	2.3	1.16	0.310		
20	21	24	2.4	2.4	0.150		
				média	0.167		
				média Geral	0.2260	0,11688	

Foi observado em campo que os resultados obtidos com os gabaritos de amostra de dolomita coloridos foram muito mais confiáveis, pois o isopor e o gabarito de madeira apenas escorregavam rapidamente até a saída da peneira, já os gabaritos de dolomitas coloridos apresentaram diversos caminhos no leito (algumas vezes até em sentido oposto ao fluxo de peneiramento).

5.3 Resultados dos ensaios de calibração do sistema de alimentação

A vazão máxima medida em todos os testes foi de 0,4826 kg/s e a vazão mínima medida em todos os testes foi de 0,1096 kg/s. Utilizando-se as equações 5.01 e 5.02 determinamos as vazões intermediárias a serem usadas nos ensaios de validação.

$$Q_{m1} = Q_{\min} + 0,4 \times (Q_{\max} - Q_{\min}) \Rightarrow Q_{m1} = 0,265 \text{ kg/s} \quad (5.01)$$

$$Q_{m2} = Q_{\min} + 0,6 \times (Q_{\max} - Q_{\min}) \Rightarrow Q_{m2} = 0,34 \text{ kg/s} \quad (5.02)$$

Posteriormente construíram-se curvas de calibração, para que pudéssemos regular a abertura mantendo-se as duas vazões determinadas pelas equações 5.01 e 5.02 foram encontradas as seguintes equações a partir dos gráficos mostrados nas figuras 5.5, 5.6 e 5.7:

Para a inclinação de 11°

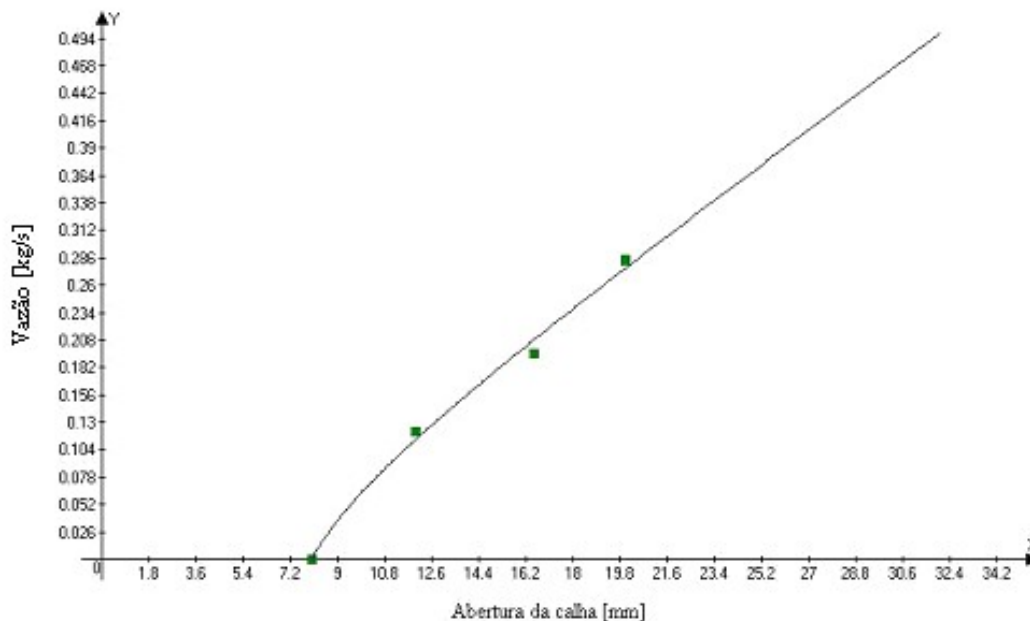


Figura 5. 5 - Vazão do alimentador para inclinação 11 °

$$a_{calha} = 0,0177 \times \sqrt{Q^2 - 54,96} - 0,053 \quad (5.03)$$

Usando-se a equação 5.03, obtiveram-se as aberturas da calha de 19,4 e 23,36 mm respectivamente.

Para a inclinação de 16°

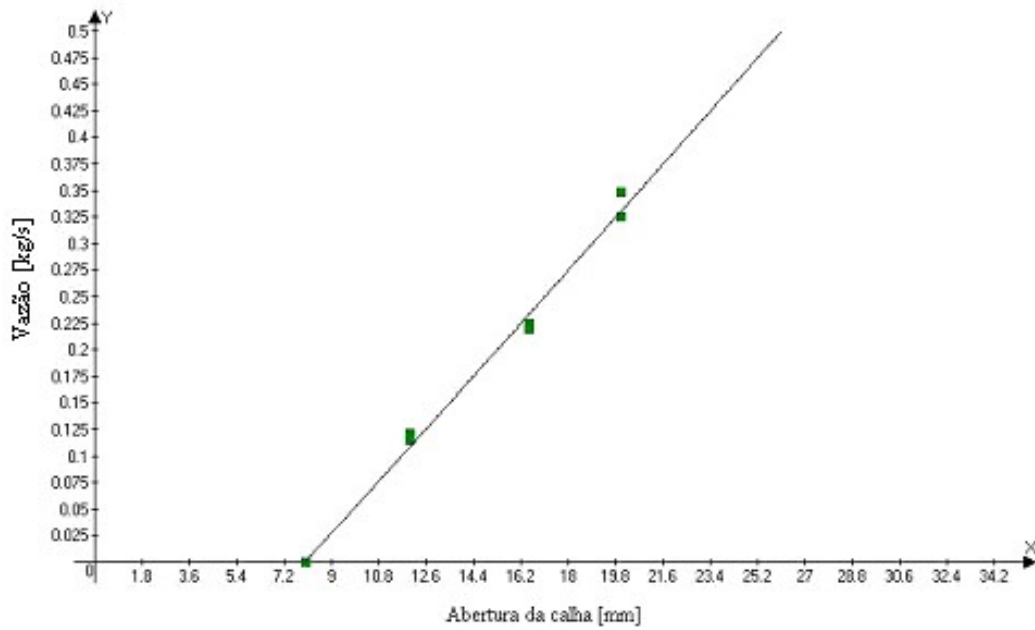


Figura 5. 6 - Vazão do alimentador para inclinação 16 °

$$a_{calha} = 0,02797 \times \sqrt{Q^2 + 5,958} - 0,2396 \quad (5.04)$$

Usando-se a equação 5.04, obtiveram-se as aberturas da calha de 17,63 e 20,34 mm respectivamente.

Para a inclinação de 21°

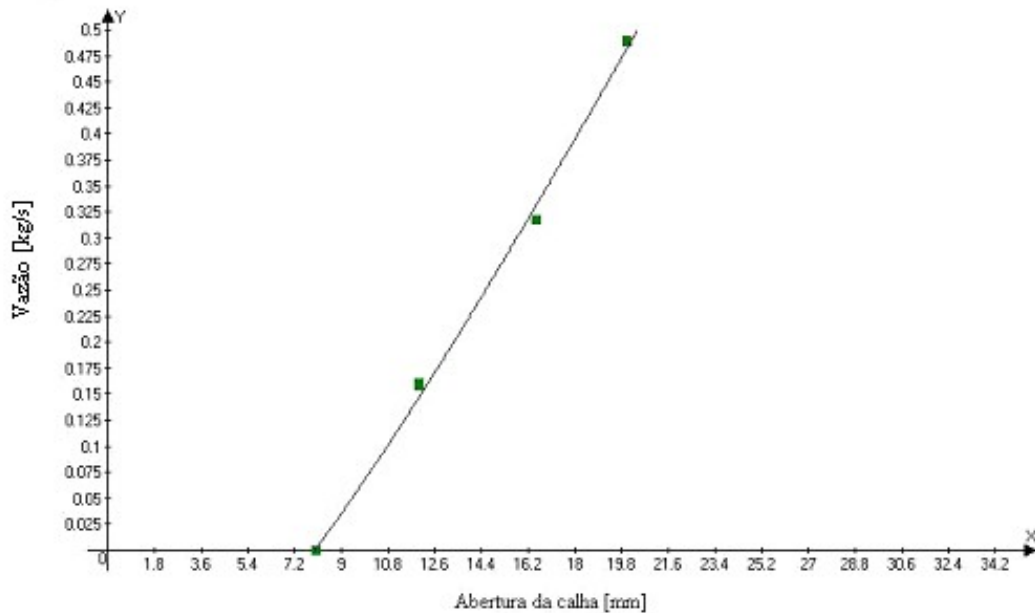


Figura 5. 7 - Vazão do alimentador para inclinação 21 °

$$a_{calha} = 0,047 \times \sqrt{Q^2 - 63,881} - 0,5298 \quad (5.05)$$

Usando-se a equação 5.05, obtiveram-se as aberturas da calha de 14,9 e 16,69 mm respectivamente.

Esses valores da abertura da calha foram utilizados nas respectivas inclinações, para que a vazão fosse de aproximadamente 0,265 e 0,34 em todos os ensaios.

5.4 Resultados dos ensaios de validação do modelo

As análises granulométricas dos ensaios de validação realizados estão apresentadas no apêndice E.

As análises granulométricas dos ensaios de validação simulados estão apresentadas no apêndice F.

As principais rotinas técnicas do programa fonte do SimPeneira, tanto do módulo de dimensionamento quanto do módulo de simulação, estão apresentadas no apêndice G.

As Tabelas abaixo nos mostram resultados obtidos com as simulações para as inclinações 11, 16 e 21° respectivamente.

Tabela 5. 4 - Resultados das simulações no *SimPeneira* para inclinação 11°

Ensaio	Inclinação da peneira [°]	Velocidade de fluxo [m/s]	Coefficiente de efetividade (k) ajustado pelo <i>SimPeneira</i>	Tempo de peneiramento [s]	Abertura da peneira [mm]
19	11	0.049	1,835	41,62	3,35
20	11	0.049	0,100	41,75	3,35
29	11	0.049	0,055	48,05	6
30	11	0.049	0,665	37,03	6
31	11	0.049	2,000	42,19	0,833
32	11	0.049	1,860	46,25	0,833

Tabela 5. 5 - Resultados das simulações no *SimPeneira* para inclinação 16°

Ensaio	Inclinação da peneira [°]	Velocidade de fluxo [m/s]	Coefficiente de efetividade (k) ajustado pelo <i>SimPeneira</i>	Tempo de peneiramento [s]	Abertura da peneira [mm]
21	16	0.088	1,570	48	3,35
22	16	0.088	0,075	36,31	3,35
27	16	0.088	0,600	45,9	6
28	16	0.088	0,740	35,53	6
33	16	0.088	1,450	33,72	0,833
34	16	0.088	0,660	34,78	0,833

Tabela 5. 6 - Resultados das simulações no *SimPeneira* para inclinação 21°

Ensaio	Inclinação da peneira [°]	Velocidade de fluxo [m/s]	Coefficiente de efetividade (k) ajustado pelo <i>SimPeneira</i>	Tempo de peneiramento [s]	Abertura da peneira [mm]
23	21	0,226	1,370	60	3,35
24	21	0,226	1,825	43,4	3,35
25	21	0,226	0,480	60	6
26	21	0,226	0,030	40	6
35	21	0,226	0,625	34,62	0,833
36	21	0,226	0,370	41,75	0,833

Tabela 5. 7 - Quadro resumo comparando-se os resultados simulados.

Coefficiente de efetividade K	Espessura do leito E(x) [mm]	Espessura relativa Ea(x)	Abertura [mm]	Ensaio	Vazão [kg/s]	Inclinação da peneira [°]
1,84	0,007	2,19	3,35	19	0,26	11
0,10	0,009	2,90	3,35	20	0,34	11
1,57	0,003	1,15	3,35	21	0,26	16
0,08	0,005	1,59	3,35	22	0,33	16
1,37	0,001	0,36	3,35	23	0,26	21
1,83	0,002	0,48	3,35	24	0,34	21
0,48	0,001	0,19	6,00	25	0,26	21
0,03	0,001	0,21	6,00	26	0,34	21
0,60	0,004	0,66	6,00	27	0,26	16
0,74	0,005	0,81	6,00	28	0,34	16
0,06	0,005	0,85	6,00	29	0,26	11
0,67	0,008	1,27	6,00	30	0,34	11
2,00	0,007	8,97	0,83	31	0,26	11
1,86	0,006	7,77	0,83	32	0,34	11
1,45	0,005	5,60	0,83	33	0,26	16
0,66	0,005	6,54	0,83	34	0,34	16
0,63	0,002	2,44	0,83	35	0,26	21
0,37	0,001	1,70	0,83	36	0,34	21

Os gráficos dos dados experimentais *versus* simulados figura 5,8 até 5,25. A partir dos dados experimentais, o *SimPeneira* ajustou o coeficiente de efetividade, pela minimização da soma do erro quadrático (das análises granulométricas do material passante *versus* material passante simulado), em cada um dos 18 ensaios de validação. As Análises granulométricas dos ensaios de validação realizados e simulados estão apresentados nos apêndices 6 e 7 respectivamente.

Ensaio 19:

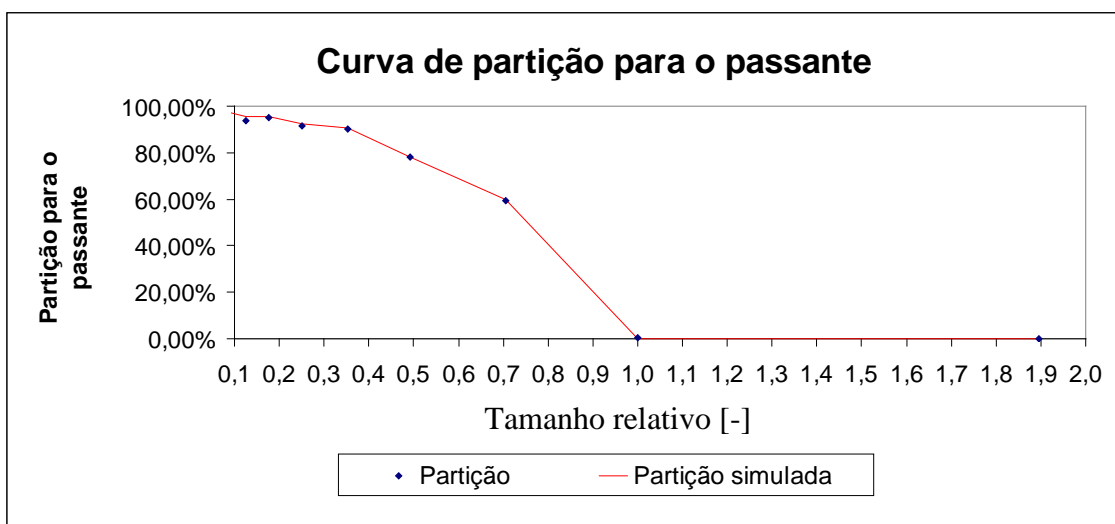


Figura 5. 8 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 3,35 mm, inclinação de 11° e com vazão de 0,26 kg/s.

Ensaio 20:

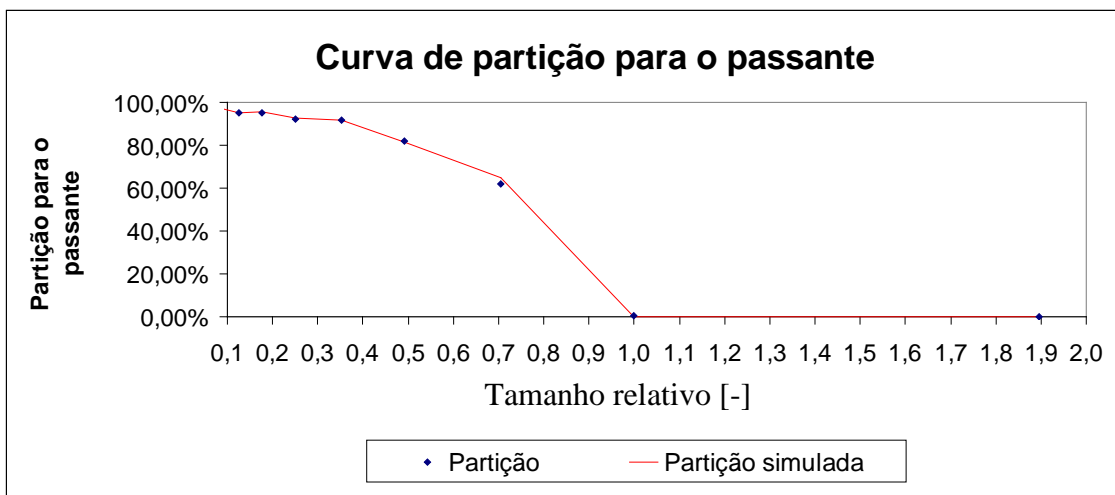


Figura 5. 9 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 3,35 mm, inclinação de 11° e com vazão de 0,33 kg/s.

Ensaio 21:

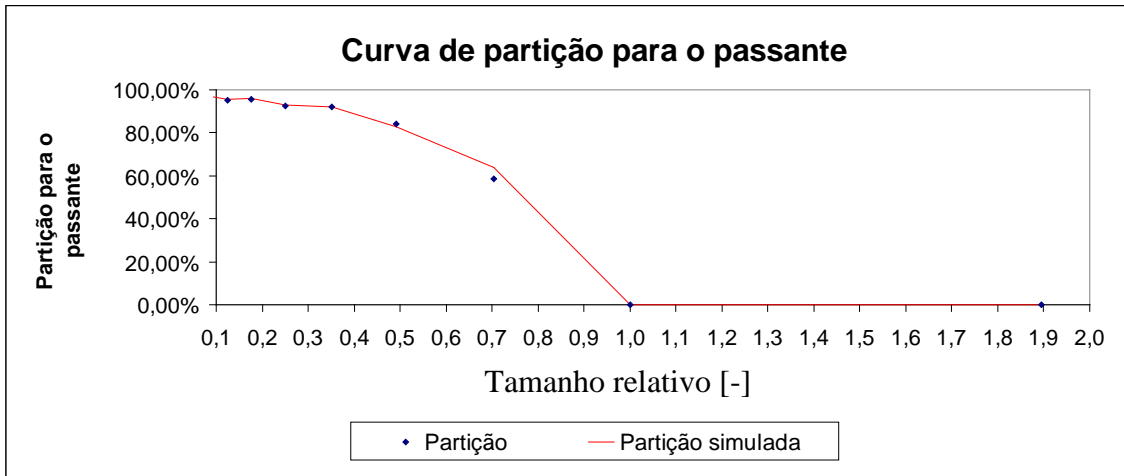


Figura 5. 10 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 3,35 mm, inclinação de 16° e com vazão de 0,26 kg/s.

Ensaio 22:

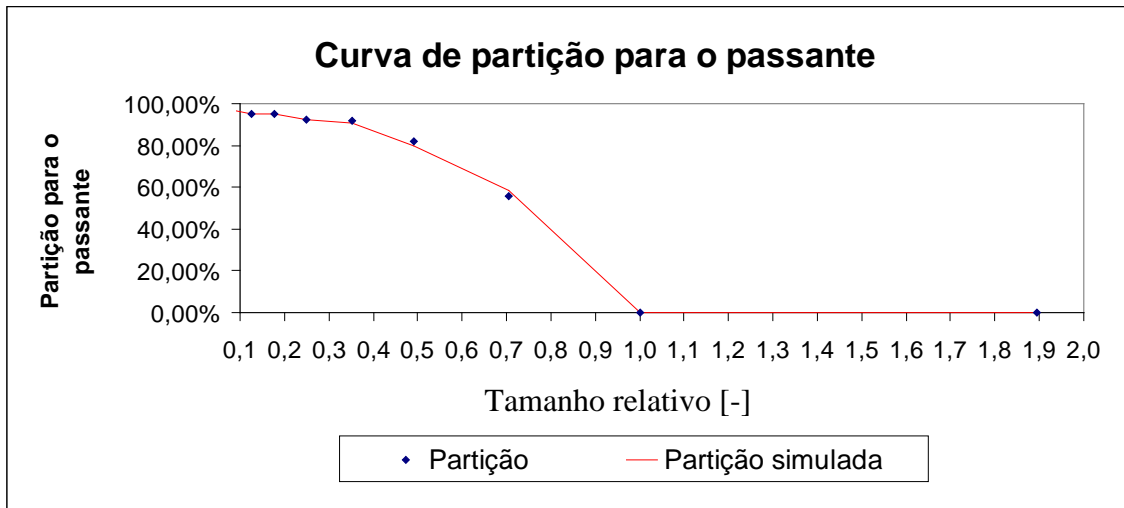


Figura 5. 11 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 3,35 mm, inclinação de 16° e com vazão de 0,33 kg/s .

Ensaio 23:

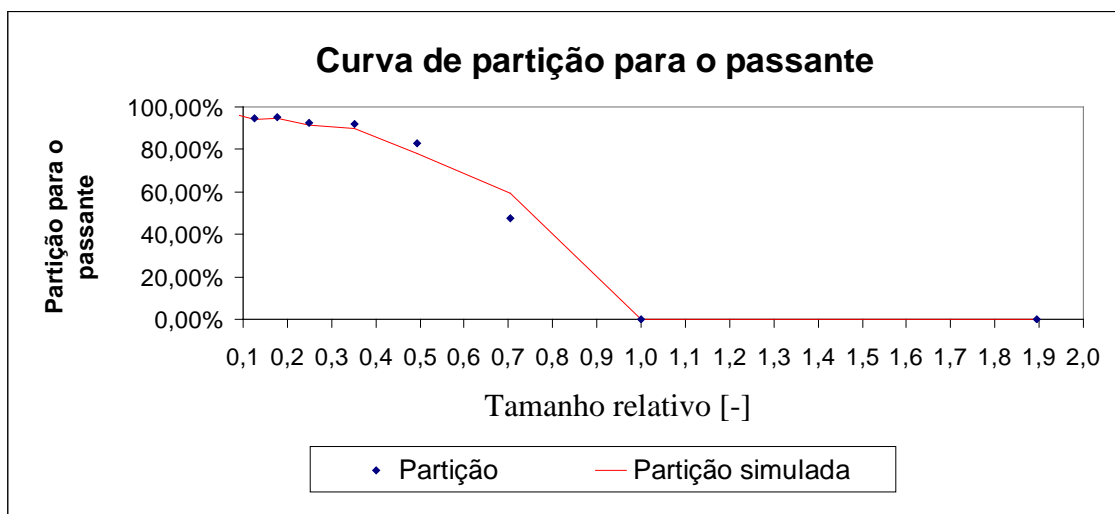


Figura 5. 12 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 3,35 mm, inclinação de 21° e com vazão de 0,24 kg/s.

Ensaio 24:

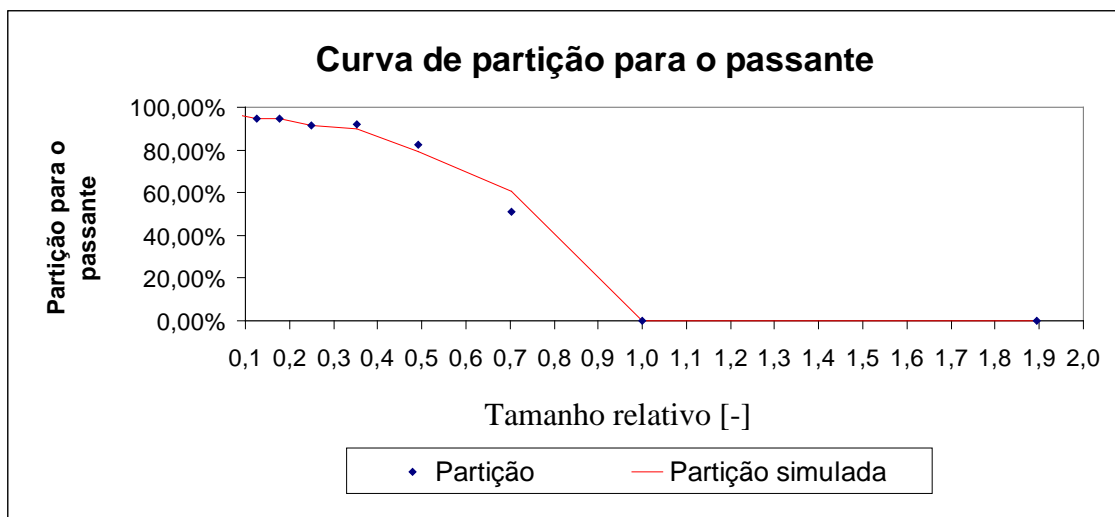


Figura 5. 13 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 3,35 mm, inclinação de 21° e com vazão de 0,32 kg/s .

Ensaio 25:

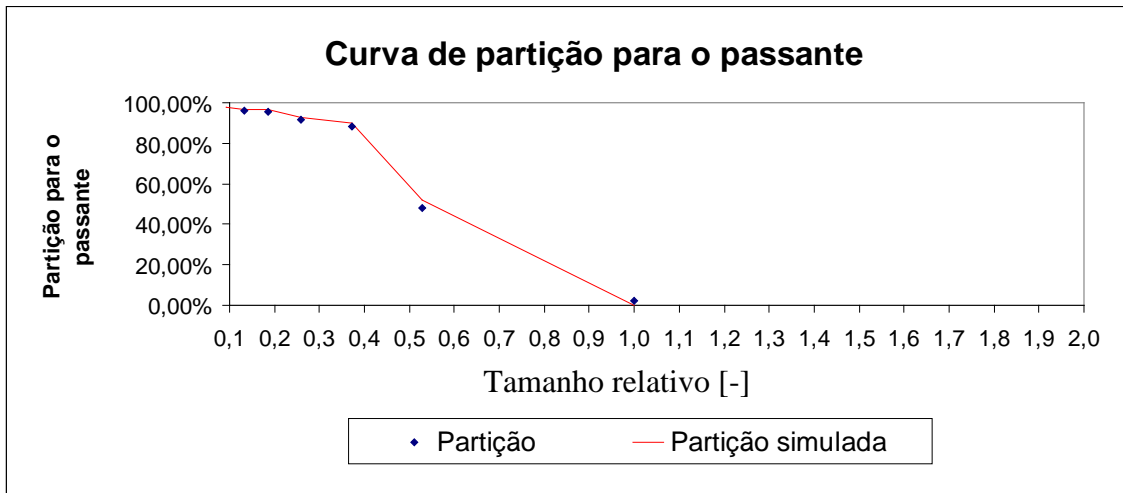


Figura 5. 14 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 6 mm, inclinação de 21° e com vazão de 0,21 kg/s.

Ensaio 26:

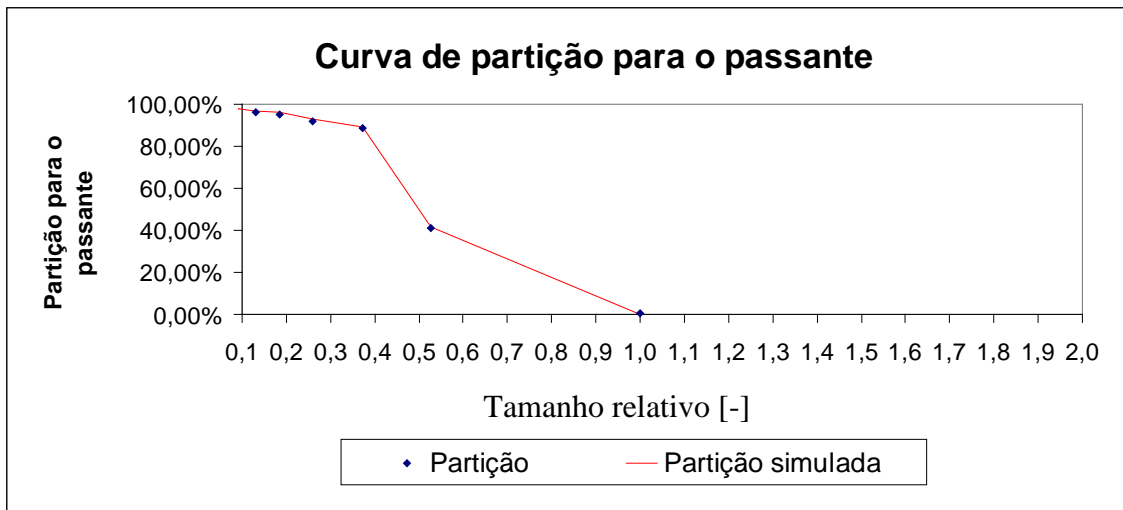


Figura 5. 15 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 6 mm, inclinação de 21° e com vazão de 0,33 kg/s.

Ensaio 27:

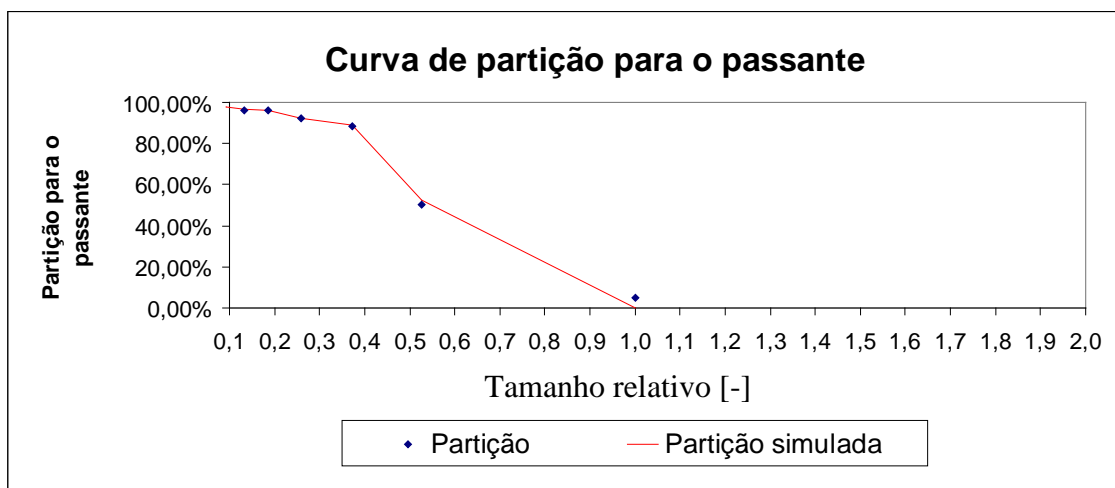


Figura 5. 16 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 6 mm, inclinação de 16° e com vazão de 0,25 kg/s.

Ensaio 28:

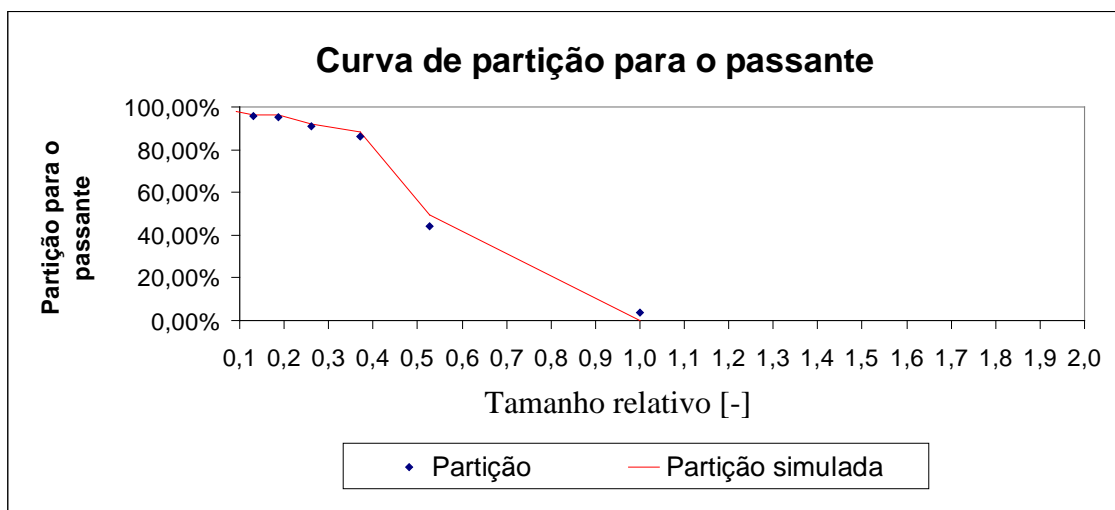


Figura 5. 17 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 6 mm, inclinação de 16° e com vazão de 0,31 kg/s.

Ensaio 29:

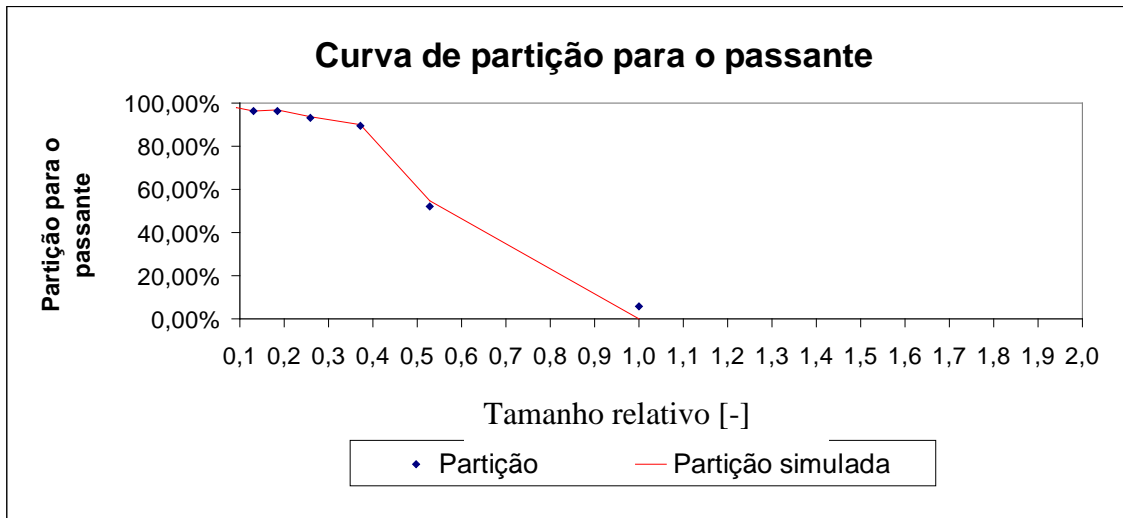


Figura 5. 18 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 6 mm, inclinação de 11° e com vazão de 0,21 kg/s.

Ensaio 30:

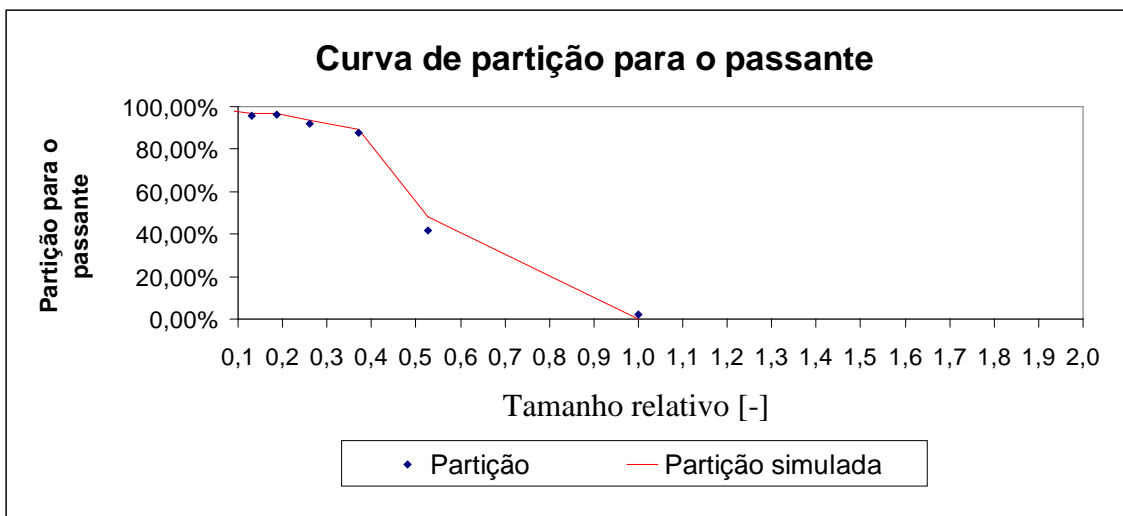


Figura 5. 19 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 6 mm, inclinação de 11° e com vazão de 0,27 kg/s.

Ensaio 31:

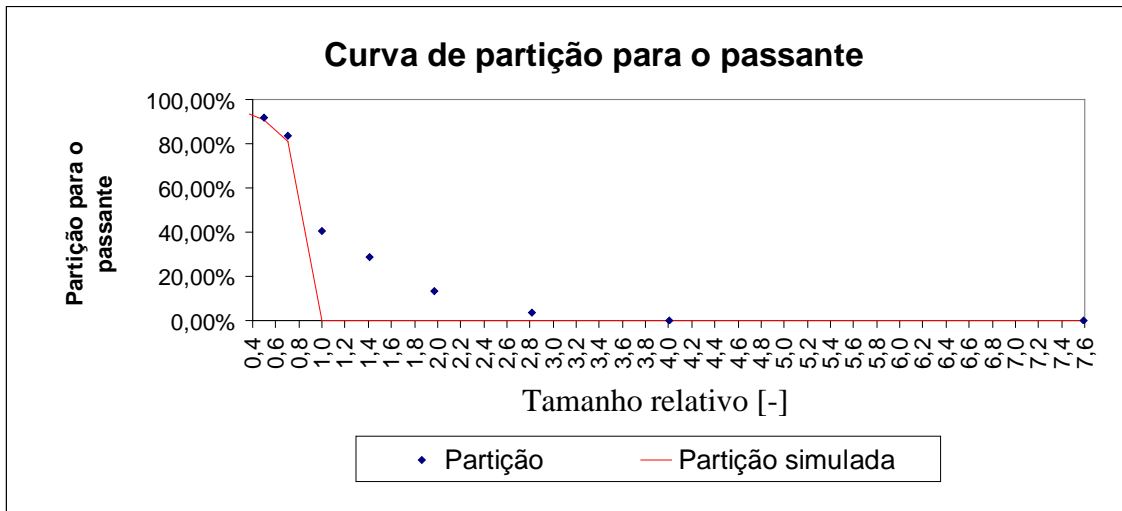


Figura 5. 20 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 0,833 mm, inclinação de 11° e com vazão de 0,26 kg/s.

Ensaio 32:

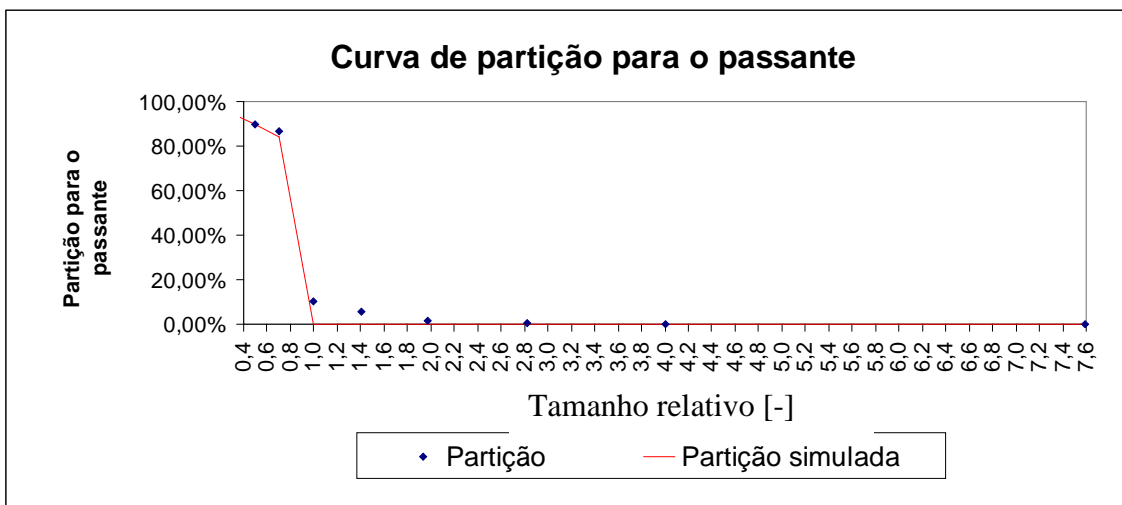


Figura 5. 21 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 0,833 mm, inclinação de 11° e com vazão de 0,23 kg/s.

Ensaio 33:

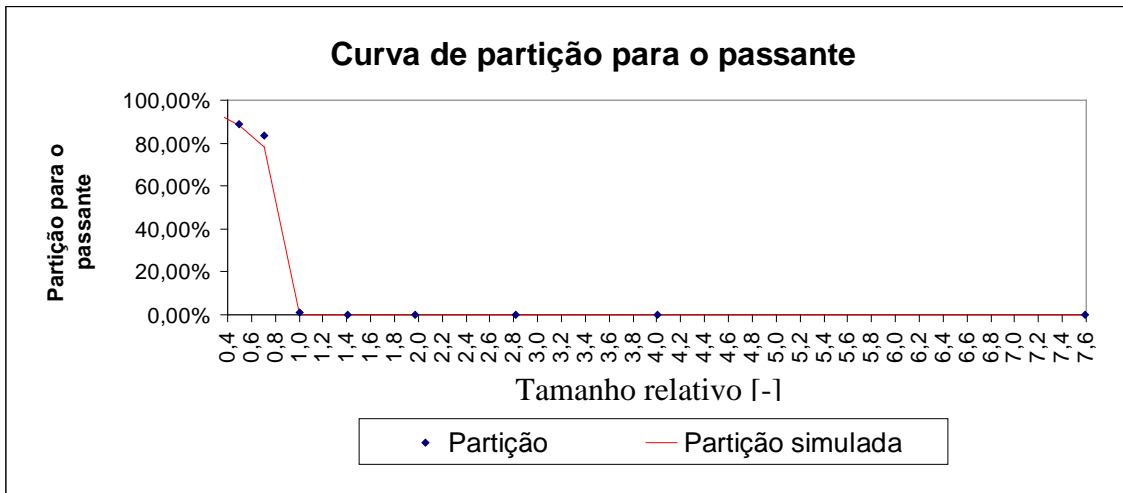


Figura 5. 22 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 0,833 mm, inclinação de 16° e com vazão de 0,29 kg/s.

Ensaio 34:

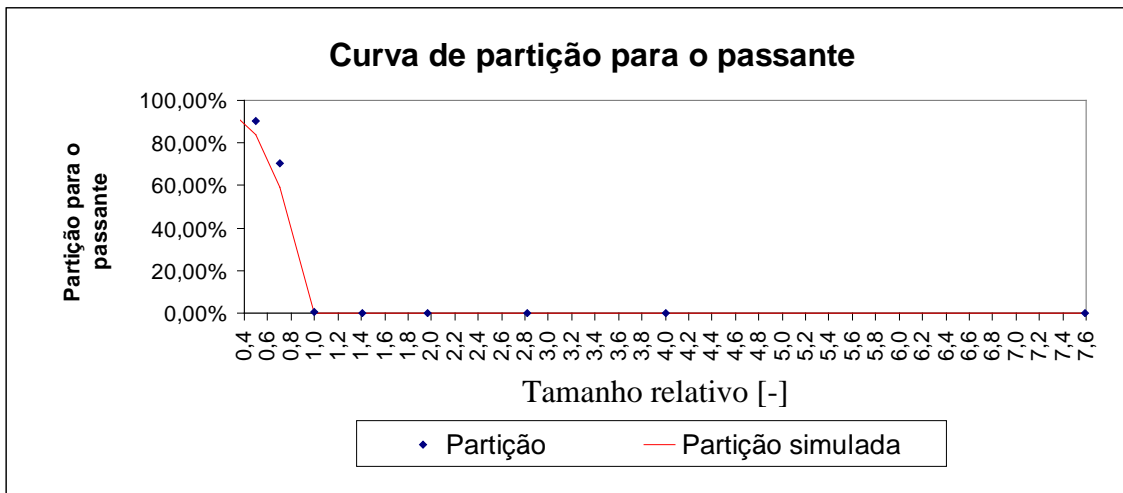


Figura 5. 23 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 0,833 mm, inclinação de 16° e com vazão de 0,34 kg/s.

Ensaio 35:

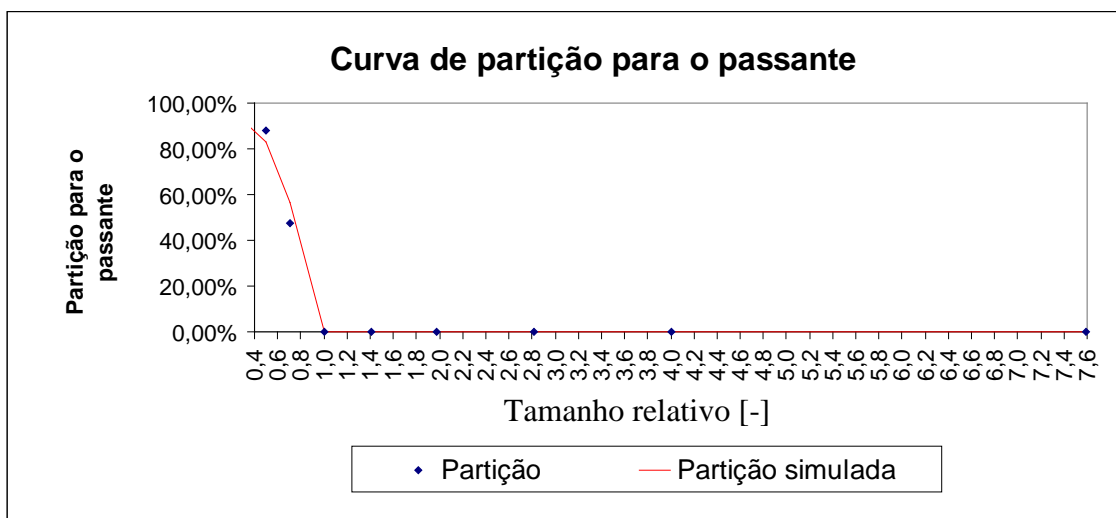


Figura 5. 24 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 0,833 mm, inclinação de 21° e com vazão de 0,33 kg/s.

Ensaio 36:

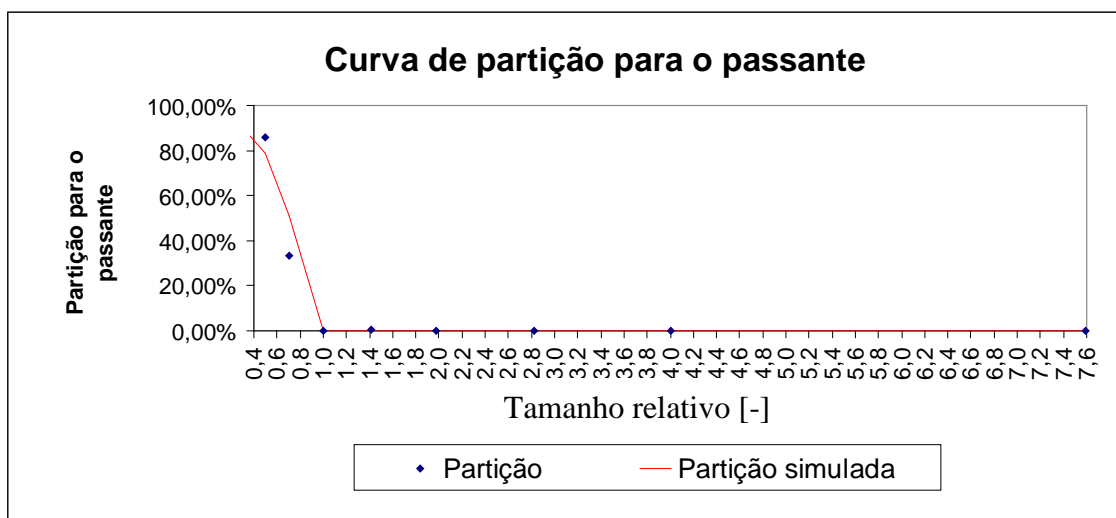


Figura 5. 25 - Partição realizada x Partição simulada com abertura de tela de 0,833 mm, inclinação de 21° e com vazão de 0,26 kg/s.

O efeito da variação da abertura da tela pode ser facilmente observado nos gráficos, os gráficos de 19 à 24 representam a abertura de 3,35 mm, os gráficos de 25 à 30 representam a abertura de 6 mm e os gráficos de 31 à 36 representam a abertura de 0,833 mm.

Pudemos observar também que quanto menor a espessura efetiva do leito maior a inclinação como era de se esperar. Analisando os dados com cuidado podemos perceber também que, uma maior abertura de tela, apresenta um tendência de espessura relativa menor e maior inclinação.

Para abertura de 3,35 mm os ensaios com inclinação de 21° foram os que apresentaram maior desvio, para abertura de 6 mm foram os ensaios 28 e 30, ou seja, inclinações de 16° e 11° respectivamente, e para abertura de 0,833 mm foram os ensaios com inclinação de 11°.

Não conseguimos definir uma regra ou equação a qual descrevesse o comportamento do coeficiente de efetividade.

6. CONCLUSÕES

O principal resultado dessa dissertação foi a elaboração e validação de um modelo computacional para simulação e dimensionamento de peneiras, em escala piloto e industrial denominado *SimPeneira*, partindo-se do formalismo de Mogensen (Mogensen 1965, Kelly & Spottiswood 1982). Contudo, a inserção de um módulo de dimensionamento de peneiras, baseado na análise de regressão de dados obtidos no procedimento clássico, possibilita sua utilização para o dimensionamento direto de uma planta de peneiramento, piloto ou industrial. A utilização do módulo de simulação probabilística no dimensionamento indireto, leva em conta parâmetros tais como: a abertura, comprimento e inclinação da peneira, velocidade do fluxo do material, área efetiva de peneiramento, frequência e amplitude das vibrações

Foi determinado o comportamento do coeficiente de efetividade para várias condições experimentais, com uma grande vantagem do modelo proposto em relação a outros estudados. Com a variação de apenas um parâmetro, o coeficiente de efetividade, consegue-se um bom ajuste do modelo com dados experimentais.

Realizou-se também uma série de estudos da velocidade de fluxo dos materiais sobre a tela de uma peneira (utilizando-se partículas coloridas e um traçador de isopor). Devido a grande variabilidade dos resultados experimentais obtidos, não foi possível obter-se uma regra ou equação, a qual descrevesse o movimento das partículas sobre a tela da peneira.

Praticamente todos os ensaios de validação realizados se aderiram bem aos ensaios simulados, com exceção do ensaio 31, isso porque tivemos um erro experimental devido mudança da tela de 6 mm para a tela de 0,833 mm, ou seja, um pouco de material grosseiro certamente, contaminou o material passante prejudicando o ajuste ideal do modelo simulado com o experimental.

O programa *SimPeneira* também pode servir como excelente suporte didático nos cursos regulares de engenharias de minas, metalúrgica e química.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Deixamos com grande pesar algumas sugestões para trabalhos futuros, as quais não fizeram parte do âmbito desse trabalho devido uma série de fatores.

- Ajuste das equações de Mogensen, para que o efeito da umidade seja considerado (ou seja, ajuste do módulo de simulação para podermos simular um peneiramento a seco com alguma umidade e peneiramento a úmido);
- Criação um outro módulo ou sistema para simular peneiras desaguadoras;
- Realização de ensaios com esferas de vidro ou outros materiais que não a dolomita, com intuito de calibrar e verificar o ajuste modelo para outros tipos de material.
- Realização de um estudo mais detalhado da velocidade de fluxo dos materiais sobre a tela de uma peneira, com intuito de se conseguir uma regra ou equação que descreva o movimento das partículas sobre a peneira.
- Investigar o efeito de jigagem e a estratificação granulodensitária do leito sobre a peneira.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHAVES, A. P. & PERES A. E. C. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios - Britagem, Peneiramento e Moagem. Vol 3, 1ª ed. São Paulo: Signus, 1999. 238p.
- CLEARY, P. W., MARK, SAWLEY, L., *DEM Modelling of industrial granular flows: 3D case studies and the effect of particle shape on hopper discharge, Applied Mathematical Modelling*, vol 26, p. 89–111, 2001, Elsevier Science Inc.;
- FAÇO. Manual de britagem da Faço. São Paulo: Allis Mineral Systems, 1994.
- GAUDIN, A. M., Principles of mineral dressing. New York, London: 1939.
- GOES, M.A.C.de *et alii*. Amostragem. In: LUZ, A.B. *et alii* (ed). *Tratamento de Minérios (3ª ed)*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 2002.
- GOMIDE, R. Operações Unitárias. Vol 1. São Paulo: Edição do Autor 1983. 293p.
- GROZUBINSKY, V., SULTANOVITCH, E., LIN, I. J. *Efficiency of solid particle screening as a function of screen slot size, particle size, duration of screening the theoretical approach, International Journal of Mineral Processing*, vol 52, N 4, p.261-272, 1998, Elsevier Science Inc.;
- HUDSON, R. B., JANSEN, M.,L. and LINKSON, P.B., *Batch sieve of deep particulate beds on a vibratory sieve, Department of Chemical Engineering, University of Sydney, N.S.W. (Australia), november 1968, Powder Technology*.;
- JKSIMMET, *Steady state mineral processing simulator (User manual), Isles Road, Queensland, (Australia) 1991. Appendix A3, A4 e A5.*
- KARRA, V. K. *Development of a model for predicting the screening performance of a vibrating screen, CIM Bulletin, April 1979, pp. 167 - 171.*
- KELLY, E. G. & SPOTTISWOOD, D. J. Introduction to Mineral Processing. New York: John Wiley, 1982.
- KING R.P., *Modular Simulator for Mineral Processing Plants (User manual), 425 South 1000 East Suite 410 Salt Lake City, UT 84102 USA, (4ª ed). May 2001, Mineral Technologies, Inc.*
- MEMME, D. Screening Solids and Slurries. Disponível em: <<http://membros.iinet.net.au/~menne/screen2.htm>>. Acesso em: 31 de maio 2002.
- MOGENSEN, F. A New Screening Method of Screening Granular Materials. The Quarry Managers' Journal, p. 409-414. Oct., 1965.

PORTER, H. F. et alii. Solid Drying and Gas Solid Systems. In: PERRY, R. H. & GREEN, D. Perry's Chemical Engineers' Handbook. New York: MacGraw-Hill, 1984.

SOLDINGER, M., *Transport velocity of a crushed rock material bed on a screen*, *Minerals Engineering*, vol 15, p.7-17, 2001, Elsevier Science Inc.;

SOLDINGER, M., *Interrelation of stratification and passage in the screening process*, *Minerals engineering*, vol 12 n° 5, p.497-516 , 1999, Elsevier Science Inc.;

STANDISH N. & META I. A., *Some Kinetic Aspects of Continuous Screening*, *Department of metallurgy, University of Wollongong, N.S.W_ 2500 (Australia)*, *Powder Technol*, vol. 41 pp. 165-171 1985;

SUBASINGHE, G. K. N. S., SCHAAP, W. and KELLY, E. G. *Modelling the process: A probabilistic approach*, *Chemical and Materials Engineering, University of Auckland, Private Bag, Auckland (New Zealand)*, n° 59, p.37-44 , 1989, *Powder Technology*.;

WILLS, B.A., *Mineral processing technology*, 5^a ed, 1992.

APÊNDICE A - Tipos Clássicos de operação com peneiras.

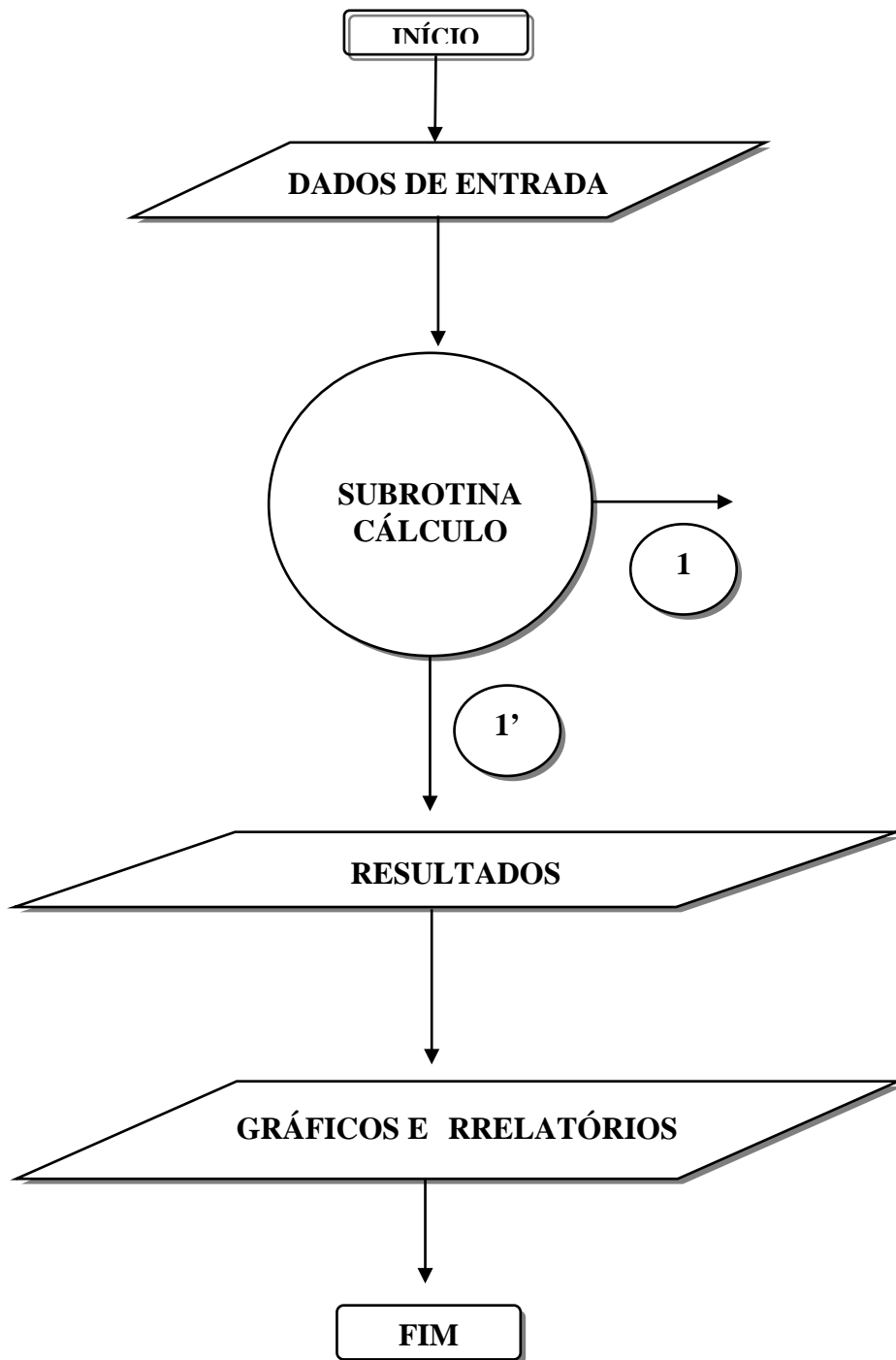
Tabela A. 1 - Tipos Clássicos de operação com peneiras

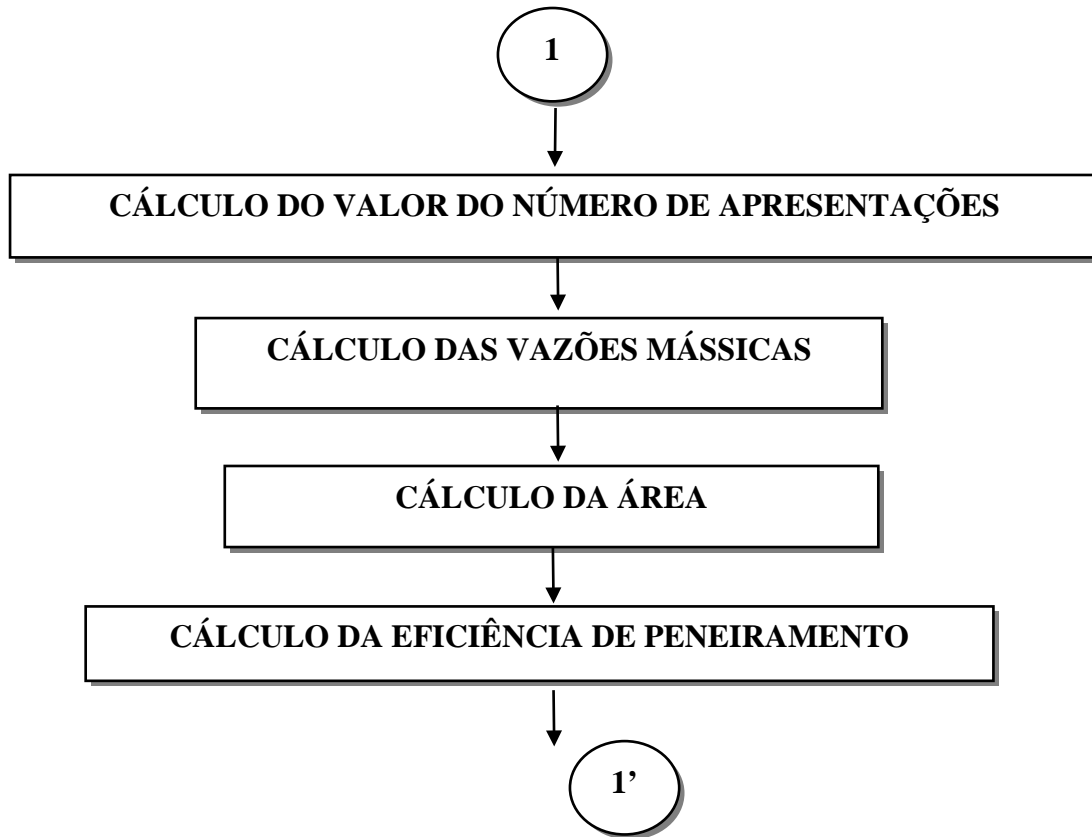
Operação e descrição	Tipos de peneiras
Predominantemente fina: tipicamente a remoção de um <i>oversize</i> .	Grelha.
Separação grosseira: > 4,75 mm.	Peneira vibratória, horizontal ou inclinada.
Separação intermediária: < 4,75 mm e > 0,425 mm.	Peneira vibratória, alta frequência, separador, peneira centrífuga.
Separação fina: < 0,425 mm.	Peneira de alta frequência, separador e peneiras centrífugas.
Desaguamento.	Peneiras vibratórias horizontais, inclinadas (10°) e centrífugas.
Remoção de lixo: remoção de material estranho ao processo.	Peneiras horizontais, inclinadas. Peneira oscilante centrífuga.
Outras aplicações: deslamagem, recuperação do meio, recuperação.	Peneiras horizontais, inclinadas. Peneira oscilante centrífuga.

Tabela A. 2 - Análise Granulométrica Alimentação

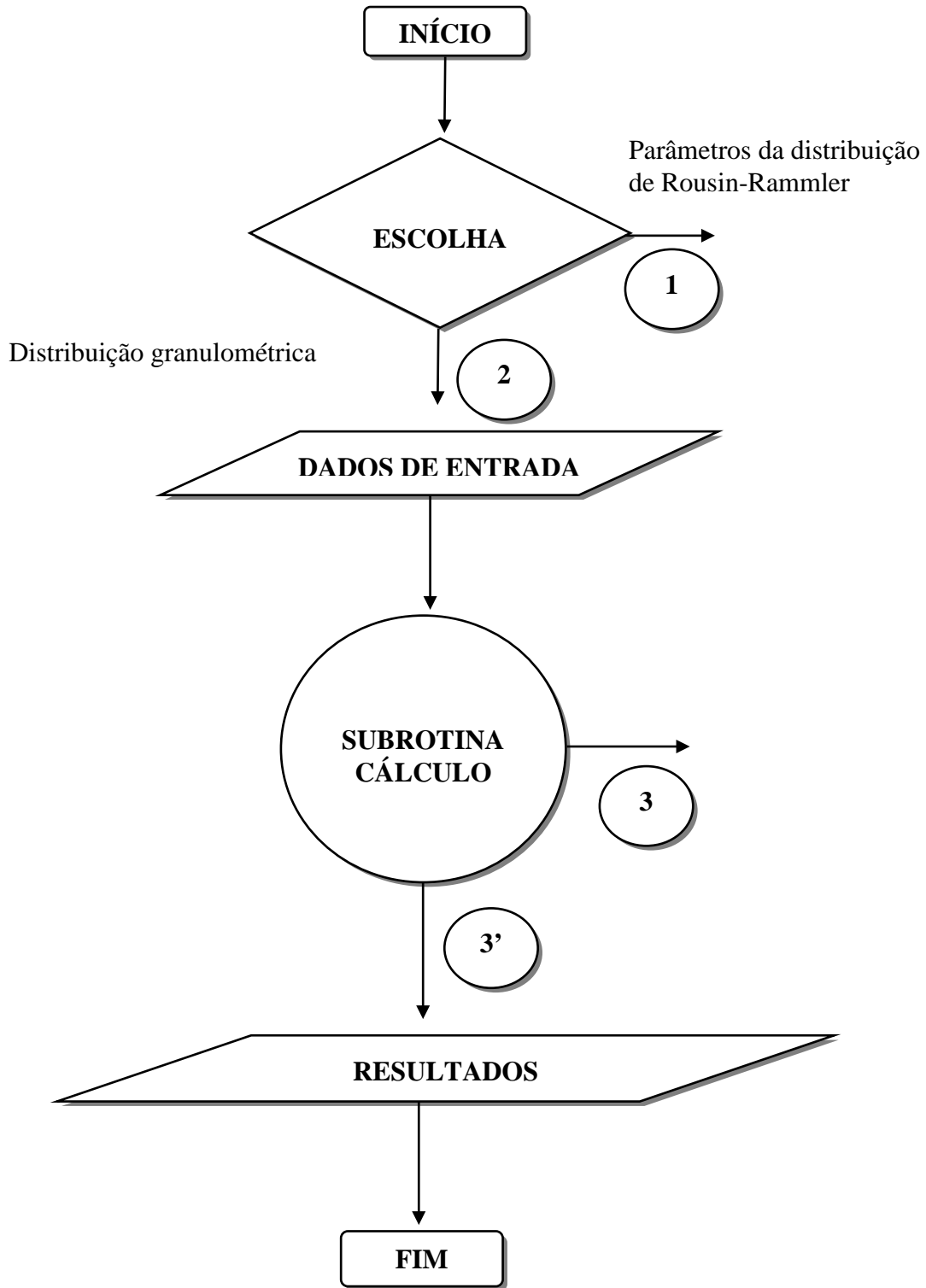
Análise Granulométrica Alimentação				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
4,736	194,07	37,30	37,30	62,70
3,349	17,42	3,35	40,65	59,35
2,368	158,64	30,49	71,14	28,86
1,674	24,16	4,64	75,78	24,22
1,184	14,99	2,88	78,67	21,33
0,837	12,99	2,50	81,16	18,84
0,592	7,81	1,50	82,66	17,34
0,419	9,09	1,75	84,41	15,59
0,296	5,17	0,99	85,40	14,60
0,209	8,55	1,64	87,05	12,95
0,148	8,43	1,62	88,67	11,33
0,105	12,72	2,44	91,11	8,89
0,074	14,59	2,80	93,92	6,08
0,052	12,70	2,44	96,36	3,64
0,037	13,48	2,59	98,95	1,05
Fundo	5,47	1,05	100,00	0,00
Total	520,28	100,00	---	---

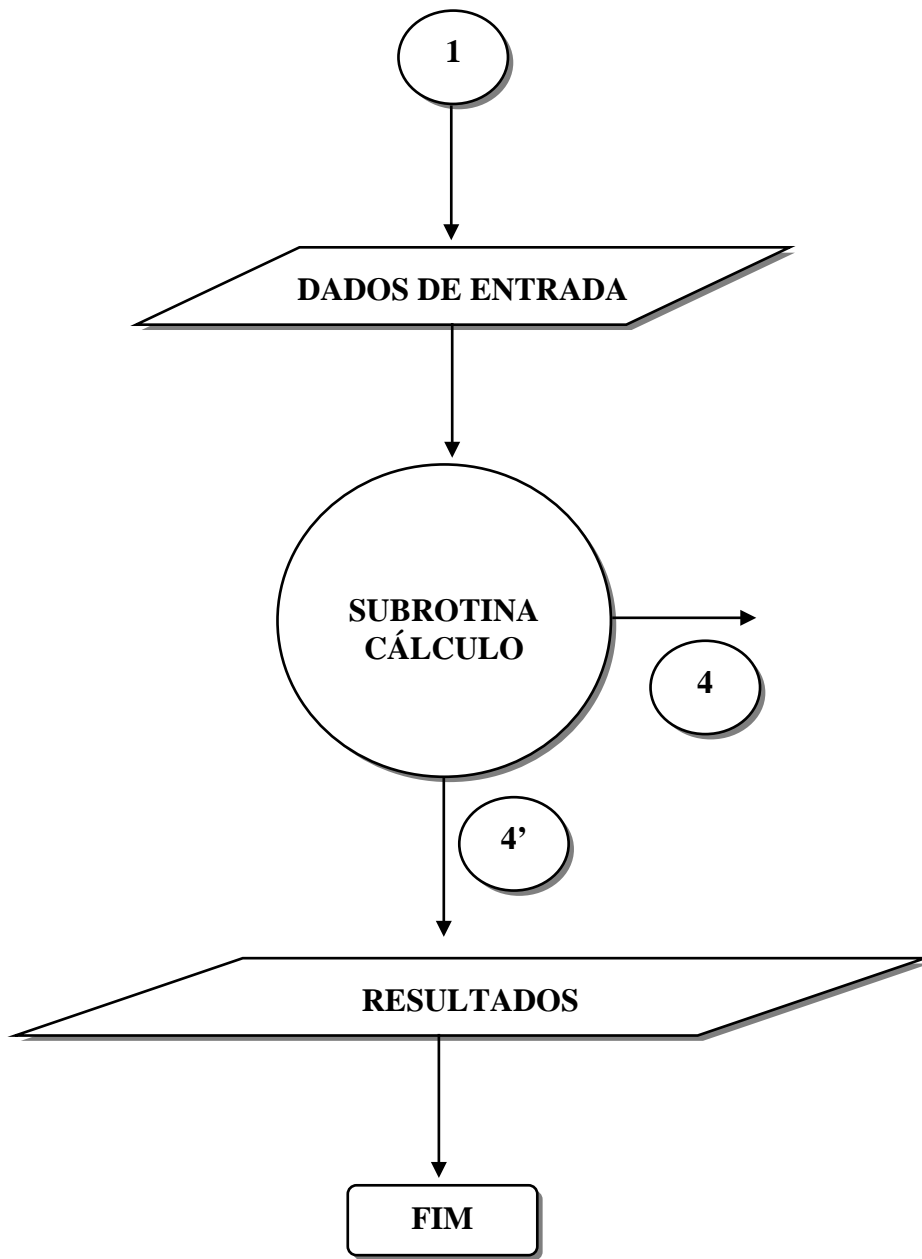
APÊNDICE B – Fluxograma conceitual do sistema computacional *SimPeneira*.

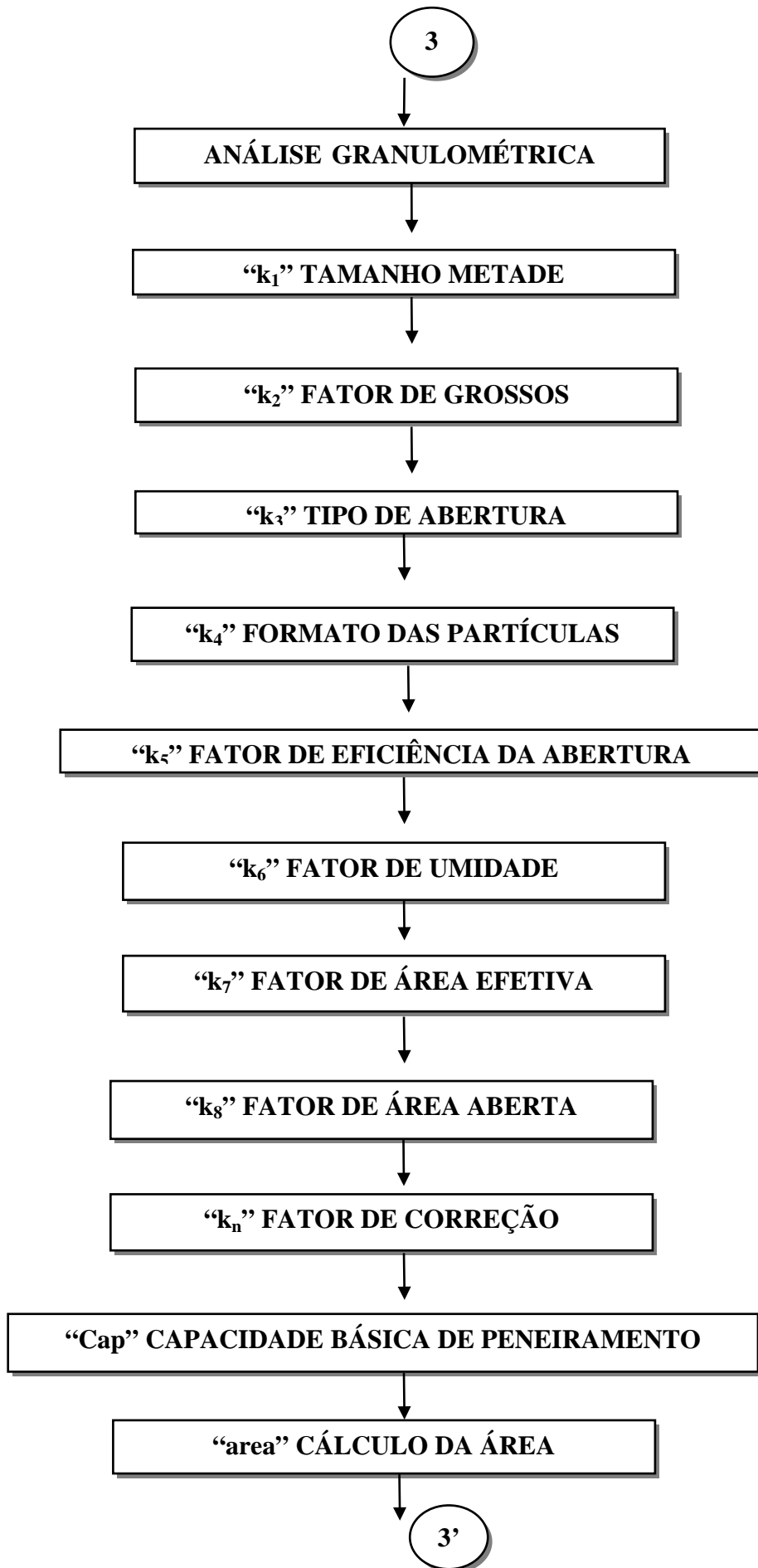


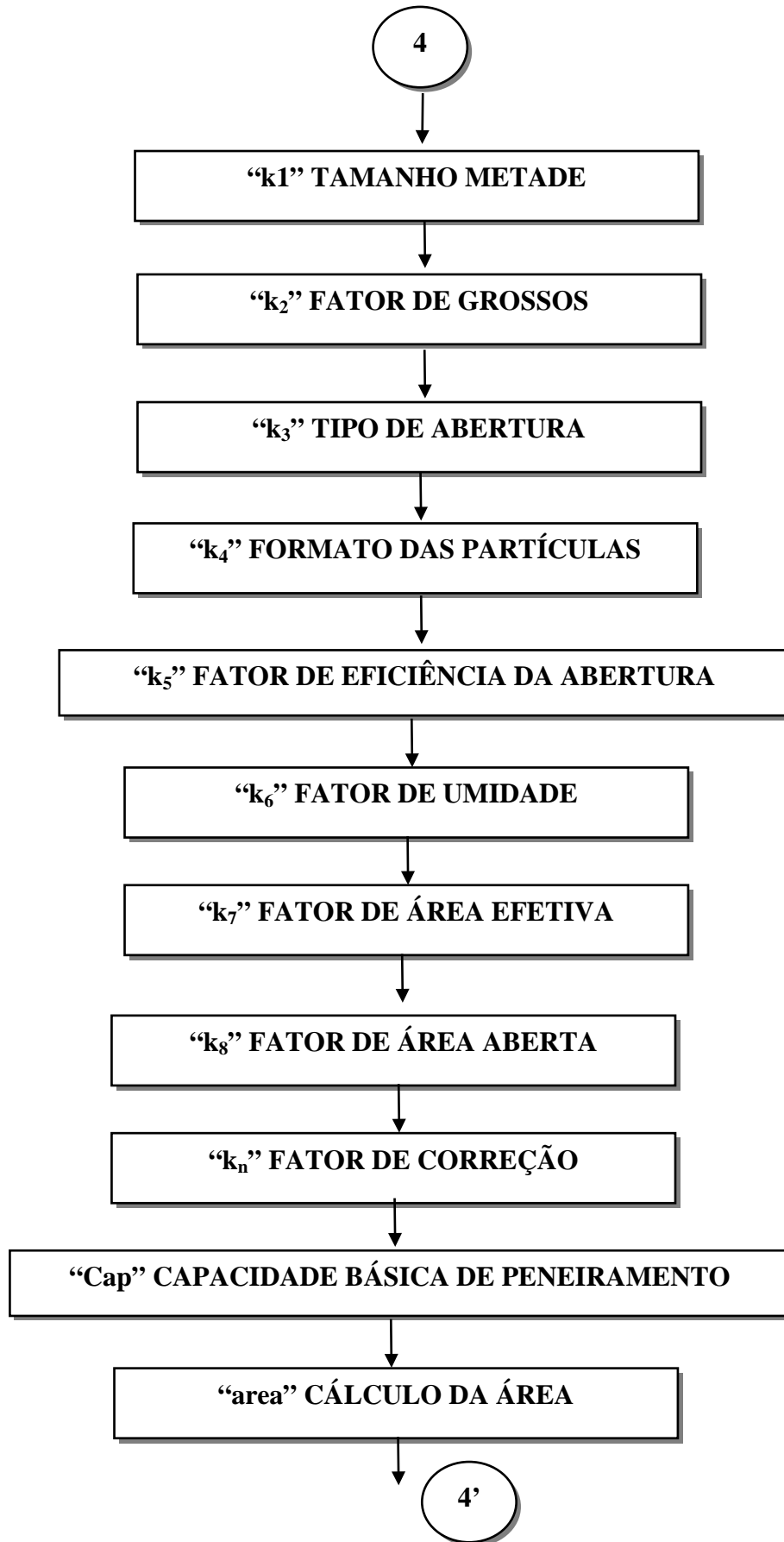


APÊNDICE B – Fluxograma conceitual do sistema computacional *SimPeneira*.









APÊNDICE C – Tabelas das análises granulométricas dos ensaios preliminares em Peneira Inclinada.

Tabela C. 1 - Análise Granulométrica do material passante (21°)

Análise Granulométrica do material passante				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6,35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3,35	0,54	0,12%	0,12%	99,88%
2,36	60,30	12,87%	12,99%	87,01%
1,65	73,14	15,61%	28,60%	71,40%
1,18	46,52	9,93%	38,53%	61,47%
0,837	36,56	7,80%	46,34%	53,66%
0,592	20,20	4,31%	50,65%	49,35%
0,419	13,49	2,88%	53,53%	46,47%
0,296	24,20	5,17%	58,69%	41,31%
Fundo	193,50	41,31%	100,00%	0,00%
Total	468,45	---	---	---

Tabela C. 2 - Análise Granulométrica do material retido (21°)

Análise Granulométrica do material retido				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6,35	348,74	56,85%	56,85%	43,15%
3,35	218,33	35,59%	92,44%	7,56%
2,36	40,86	6,66%	99,10%	0,90%
1,65	3,37	0,55%	99,65%	0,35%
1,18	0,55	0,09%	99,74%	0,26%
0,837	0,28	0,05%	99,78%	0,22%
0,592	0,10	0,02%	99,80%	0,20%
0,419	0,02	0,00%	99,80%	0,20%
0,296	0,08	0,01%	99,82%	0,18%
fundo	1,12	0,18%	100,00%	0,00%
total	613,45	---	---	---

Tabela C. 3 - Análise Granulométrica do material passante (16°)

Análise Granulométrica do material passante				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6,35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3,35	1,07	0,18%	0,18%	99,82%
2,36	92,74	15,77%	15,95%	84,05%
1,65	82,84	14,08%	30,03%	69,97%
1,18	49,65	8,44%	38,47%	61,53%
0,837	42,80	7,28%	45,75%	54,25%
0,592	25,81	4,39%	50,14%	49,86%
0,419	17,08	2,90%	53,04%	46,96%
0,296	30,95	5,26%	58,30%	41,70%
fundo	245,29	41,70%	100,00%	0,00%
total	588,23	---	---	---

Tabela C. 4 - Análise Granulométrica do material retido (16°)

Análise Granulométrica do material retido				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6,35	186,42	55,87%	55,87%	44,13%
3,35	125,37	37,57%	93,44%	6,56%
2,36	19,79	5,93%	99,37%	0,63%
1,65	0,50	0,15%	99,52%	0,48%
1,18	0,20	0,06%	99,58%	0,42%
0,837	0,20	0,06%	99,64%	0,36%
0,592	0,09	0,03%	99,67%	0,33%
0,419	0,07	0,02%	99,69%	0,31%
0,296	0,09	0,03%	99,72%	0,28%
fundo	0,94	0,28%	100,00%	0,00%
total	333,67	---	---	---

APÊNDICE D – Tabelas das análises granulométricas com os dados dos ensaios preliminares em Peneira Inclinada, simulados no *SimPeneira*.

Tabela D. 1 - Análise Granulométrica do material passante simulado (21°)

Análise Granulométrica do material passante simulado				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0	0	0	100
3.349	5.91	2.68	2.68	97.32
2.368	91.69	41.62	44.30	55.70
1.674	16.83	7.64	51.94	48.06
1.184	11.41	5.18	57.12	42.88
0.837	10.37	4.71	61.82	38.18
0.592	6.41	2.91	64.73	35.27
0.419	7.59	3.45	68.18	31.82
0.296	4.41	2.00	70.18	29.82
Fundo	65.70	29.82	100.00	0.00
Total	220.32	100,00	---	---

Tabela D. 2 - Análise Granulométrica do material retido simulado (21°)

Análise Granulométrica do material retido simulado				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	194.07	64.70	64.70	35.30
3.349	11.51	3.84	68.54	31.46
2.368	66.95	22.32	90.86	9.14
1.674	7.33	2.44	93.30	6.70
1.184	3.58	1.19	94.49	5.51
0.837	2.62	0.87	95.37	4.63
0.592	1.40	0.47	95.83	4.17
0.419	1.50	0.50	96.33	3.67
0.296	0.76	0.25	96.58	3.42
Fundo	10.24	3.42	100.00	0.00
Total	299.96	100,00	---	---

Tabela D. 3 - Análise Granulométrica do material passante simulado (16°)

Análise Granulométrica do material passante simulado				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00	0,00	100,00
3.349	6,55	2,79	2,79	97,21
2.368	99,33	42,33	45,12	54,88
1.674	17,99	7,67	52,79	47,21
1.184	12,08	5,15	57,94	42,06
0.837	10,92	4,66	62,60	37,40
0.592	6,73	2,87	65,46	34,54
0.419	7,95	3,39	68,85	31,15
0.296	4,61	1,96	70,82	29,18
Fundo	68,48	29,18	100,00	0,00
Total	234,65	100,00	---	---

Tabela D. 4 - Análise Granulométrica do material retido simulado (16°)

Análise Granulométrica do material retido simulado				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	194,07	67,94	67,94	32,06
3.349	10,87	3,81	71,75	28,25
2.368	59,31	20,76	92,51	7,49
1.674	6,17	2,16	94,67	5,33
1.184	2,91	1,02	95,69	4,31
0.837	2,07	0,72	96,41	3,59
0.592	1,08	0,38	96,79	3,21
0.419	1,14	0,40	97,19	2,81
0.296	0,56	0,20	97,39	2,61
Fundo	7,46	2,61	100,00	0,00
Total	285,63	100,00	---	---

APÊNDICE E – Tabelas das análises granulométricas dos ensaios de validação em Peneira Inclinada.

Tabela E. 1 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 19 (11°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,32	0,18%	0,18%	99,82%
2.368	38,56	21,11%	21,29%	78,71%
1.674	39,90	21,85%	43,13%	56,87%
1.184	17,20	9,42%	52,55%	47,45%
0.837	15,08	8,26%	60,80%	39,20%
0.592	8,30	4,54%	65,35%	34,65%
0.419	8,30	4,54%	69,89%	30,11%
0.296	5,18	2,84%	72,73%	27,27%
Fundo	49,81	27,27%	100,00%	0,00%
Total	182,65	100,00%	---	---

Tabela E. 2 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 19 (11°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	117,39	49,01%	49,01%	50,99%
3.349	108,53	45,31%	94,31%	5,69%
2.368	12,74	5,32%	99,63%	0,37%
1.674	0,09	0,04%	99,67%	0,33%
1.184	0,04	0,02%	99,69%	0,31%
0.837	0,02	0,01%	99,70%	0,30%
0.592	0,02	0,01%	99,70%	0,30%
0.419	0,14	0,06%	99,76%	0,24%
0.296	0,04	0,02%	99,78%	0,22%
Fundo	0,53	0,22%	100,00%	0,00%
Total	239,54	100,00%	---	---

Tabela E. 3 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 20 (11°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	1,01	0,37%	0,37%	99,63%
2.368	41,06	15,04%	15,41%	84,59%
1.674	46,64	17,08%	32,49%	67,51%
1.184	21,50	7,88%	40,37%	59,63%
0.837	20,25	7,42%	47,79%	52,21%
0.592	11,89	4,36%	52,14%	47,86%
0.419	12,75	4,67%	56,81%	43,19%
0.296	8,39	3,07%	59,89%	40,11%
Fundo	109,51	40,11%	100,00%	0,00%
Total	273,00	100,00%	---	---

Tabela E. 4 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 20 (11°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	98,67	39,49%	39,49%	60,51%
3.349	131,90	52,79%	92,28%	7,72%
2.368	17,69	7,08%	99,36%	0,64%
1.674	0,41	0,16%	99,52%	0,48%
1.184	0,06	0,02%	99,55%	0,45%
0.837	0,05	0,02%	99,57%	0,43%
0.592	0,02	0,01%	99,58%	0,42%
0.419	0,03	0,01%	99,59%	0,41%
0.296	0,02	0,01%	99,60%	0,40%
Fundo	1,01	0,40%	100,00%	0,00%
Total	249,86	100,00%	---	---

Tabela E. 5 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 21 (16°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,06	0,02%	0,02%	99,98%
2.368	32,39	13,21%	13,23%	86,77%
1.674	37,44	15,26%	28,50%	71,50%
1.184	18,57	7,57%	36,07%	63,93%
0.837	17,73	7,23%	43,30%	56,70%
0.592	10,60	4,32%	47,62%	52,38%
0.419	11,47	4,68%	52,29%	47,71%
0.296	7,46	3,04%	55,33%	44,67%
Fundo	109,55	44,67%	100,00%	0,00%
Total	245,27	100,00%	---	---

Tabela E. 6 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 21 (16°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	123,89	46,80%	46,80%	53,20%
3.349	124,36	46,98%	93,77%	6,23%
2.368	15,46	5,84%	99,61%	0,39%
1.674	0,26	0,10%	99,71%	0,29%
1.184	0,05	0,02%	99,73%	0,27%
0.837	0,06	0,02%	99,75%	0,25%
0.592	0,02	0,01%	99,76%	0,24%
0.419	0,02	0,01%	99,77%	0,23%
0.296	0,04	0,02%	99,78%	0,22%
Fundo	0,57	0,22%	100,00%	0,00%
Total	264,73	100,00%	---	---

Tabela E. 7 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 22 (16°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,12	0,05%	0,05%	99,95%
2.368	32,16	13,43%	13,48%	86,52%
1.674	41,63	17,38%	30,86%	69,14%
1.184	19,14	7,99%	38,85%	61,15%
0.837	17,46	7,29%	46,14%	53,86%
0.592	10,97	4,58%	50,72%	49,28%
0.419	11,28	4,71%	55,43%	44,57%
0.296	7,20	3,01%	58,43%	41,57%
Fundo	99,56	41,57%	100,00%	0,00%
Total	239,52	100,00%	---	---

Tabela E. 8 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 22 (16°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	98,67	39,49%	39,49%	60,51%
3.349	131,90	52,79%	92,28%	7,72%
2.368	17,69	7,08%	99,36%	0,64%
1.674	0,41	0,16%	99,52%	0,48%
1.184	0,06	0,02%	99,55%	0,45%
0.837	0,05	0,02%	99,57%	0,43%
0.592	0,02	0,01%	99,58%	0,42%
0.419	0,03	0,01%	99,59%	0,41%
0.296	0,02	0,01%	99,60%	0,40%
Fundo	1,01	0,40%	100,00%	0,00%
Total	249,86	100,00%	---	---

Tabela E. 9 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 23 (21°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,19	0,07%	0,07%	99,93%
2.368	24,16	8,99%	9,06%	90,94%
1.674	41,22	15,33%	24,39%	75,61%
1.184	19,86	7,39%	31,78%	68,22%
0.837	19,46	7,24%	39,02%	60,98%
0.592	12,24	4,55%	43,57%	56,43%
0.419	13,69	5,09%	48,67%	51,33%
0.296	8,86	3,30%	51,96%	48,04%
Fundo	129,13	48,04%	100,00%	0,00%
Total	268,81	100,00%	---	---

Tabela E. 10 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 23 (21°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	186,50	52,23%	52,23%	47,77%
3.349	146,61	41,06%	93,29%	6,71%
2.368	21,99	6,16%	99,45%	0,55%
1.674	0,99	0,28%	99,73%	0,27%
1.184	0,13	0,04%	99,76%	0,24%
0.837	0,10	0,03%	99,79%	0,21%
0.592	0,06	0,02%	99,81%	0,19%
0.419	0,05	0,01%	99,82%	0,18%
0.296	0,02	0,01%	99,83%	0,17%
Fundo	0,62	0,17%	100,00%	0,00%
Total	357,07	100,00%	---	---

Tabela E. 11 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 24 (21°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,10	0,04%	0,04%	99,96%
2.368	25,72	9,48%	9,52%	90,48%
1.674	40,73	15,02%	24,54%	75,46%
1.184	21,32	7,86%	32,40%	67,60%
0.837	21,30	7,85%	40,26%	59,74%
0.592	12,80	4,72%	44,98%	55,02%
0.419	13,94	5,14%	50,12%	49,88%
0.296	9,17	3,38%	53,50%	46,50%
Fundo	126,11	46,50%	100,00%	0,00%
Total	271,19	100,00%	---	---

Tabela E. 12 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 24 (21°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	169,80	50,14%	50,14%	49,86%
3.349	146,60	43,29%	93,43%	6,57%
2.368	19,95	5,89%	99,32%	0,68%
1.674	1,15	0,34%	99,66%	0,34%
1.184	0,07	0,02%	99,68%	0,32%
0.837	0,13	0,04%	99,72%	0,28%
0.592	0,05	0,01%	99,73%	0,27%
0.419	0,06	0,02%	99,75%	0,25%
0.296	0,04	0,01%	99,76%	0,24%
Fundo	0,81	0,24%	100,00%	0,00%
Total	338,66	100,00%	---	---

Tabela E. 13 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 25 (21°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	6,23	2,29%	2,29%	97,71%
3.349	118,70	43,60%	45,89%	54,11%
2.368	27,91	10,25%	56,14%	43,86%
1.674	20,83	7,65%	63,79%	36,21%
1.184	9,37	3,44%	67,23%	32,77%
0.837	10,10	3,71%	70,94%	29,06%
0.592	6,01	2,21%	73,15%	26,85%
0.419	6,91	2,54%	75,69%	24,31%
0.296	4,49	1,65%	77,33%	22,67%
Fundo	61,71	22,67%	100,00%	0,00%
Total	272,26	100,00%	---	---

Tabela E. 14 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 25 (21°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	290,11	92,99%	92,99%	7,01%
3.349	20,76	6,65%	99,64%	0,36%
2.368	0,40	0,13%	99,77%	0,23%
1.674	0,20	0,06%	99,84%	0,16%
1.184	0,10	0,03%	99,87%	0,13%
0.837	0,05	0,02%	99,88%	0,12%
0.592	0,10	0,03%	99,92%	0,08%
0.419	0,02	0,01%	99,92%	0,08%
0.296	0,02	0,01%	99,93%	0,07%
Fundo	0,22	0,07%	100,00%	0,00%
Total	311,98	100,00%	---	---

Tabela E. 15 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 26 (21°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	1,33	0,49%	0,49%	99,51%
3.349	141,13	51,75%	52,24%	47,76%
2.368	28,20	10,34%	62,58%	37,42%
1.674	19,31	7,08%	69,66%	30,34%
1.184	9,51	3,49%	73,15%	26,85%
0.837	9,00	3,30%	76,45%	23,55%
0.592	5,57	2,04%	78,49%	21,51%
0.419	5,78	2,12%	80,61%	19,39%
0.296	3,67	1,35%	81,96%	18,04%
Fundo	49,21	18,04%	100,00%	0,00%
Total	272,71	100,00%	---	---

Tabela E. 16 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 26 (21°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	307,67	92,09%	92,09%	7,91%
3.349	25,23	7,55%	99,64%	0,36%
2.368	0,37	0,11%	99,75%	0,25%
1.674	0,20	0,06%	99,81%	0,19%
1.184	0,14	0,04%	99,86%	0,14%
0.837	0,07	0,02%	99,88%	0,12%
0.592	0,02	0,01%	99,88%	0,12%
0.419	0,02	0,01%	99,89%	0,11%
0.296	0,01	0,00%	99,89%	0,11%
Fundo	0,36	0,11%	100,00%	0,00%
Total	334,09	100,00%	---	---

Tabela E. 17 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 27 (16°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	11,27	5,13%	5,13%	94,87%
3.349	91,26	41,55%	46,68%	53,32%
2.368	23,81	10,84%	57,52%	42,48%
1.674	16,75	7,63%	65,14%	34,86%
1.184	8,06	3,67%	68,81%	31,19%
0.837	7,99	3,64%	72,45%	27,55%
0.592	5,07	2,31%	74,76%	25,24%
0.419	5,28	2,40%	77,16%	22,84%
0.296	3,56	1,62%	78,78%	21,22%
Fundo	46,61	21,22%	100,00%	0,00%
Total	219,66	100,00%	---	---

Tabela E. 18- Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 27 (16°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	11,27	5,13%	5,13%	94,87%
3.349	91,26	41,55%	46,68%	53,32%
2.368	23,81	10,84%	57,52%	42,48%
1.674	16,75	7,63%	65,14%	34,86%
1.184	8,06	3,67%	68,81%	31,19%
0.837	7,99	3,64%	72,45%	27,55%
0.592	5,07	2,31%	74,76%	25,24%
0.419	5,28	2,40%	77,16%	22,84%
0.296	3,56	1,62%	78,78%	21,22%
Fundo	46,61	21,22%	100,00%	0,00%
Total	219,66	100,00%	---	---

Tabela E. 19 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 28 (16°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	7,42	3,76%	3,76%	96,24%
3.349	84,35	42,71%	46,47%	53,53%
2.368	25,60	12,96%	59,43%	40,57%
1.674	17,37	8,80%	68,23%	31,77%
1.184	8,11	4,11%	72,34%	27,66%
0.837	8,06	4,08%	76,42%	23,58%
0.592	4,74	2,40%	78,82%	21,18%
0.419	4,57	2,31%	81,13%	18,87%
0.296	3,02	1,53%	82,66%	17,34%
Fundo	34,24	17,34%	100,00%	0,00%
Total	197,48	100,00%	---	---

Tabela E. 20 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 28 (16°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	187,00	87,86%	87,86%	12,14%
3.349	25,32	11,90%	99,76%	0,24%
2.368	0,21	0,10%	99,86%	0,14%
1.674	0,01	0,00%	99,86%	0,14%
1.184	0,05	0,02%	99,89%	0,11%
0.837	0,03	0,01%	99,90%	0,10%
0.592	0,01	0,00%	99,91%	0,09%
0.419	0,02	0,01%	99,92%	0,08%
0.296	0,01	0,00%	99,92%	0,08%
Fundo	0,17	0,08%	100,00%	0,00%
Total	212,83	100,00%	---	---

Tabela E. 21 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 29 (11°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	11,21	5,34%	5,34%	94,66%
3.349	83,03	39,53%	44,87%	55,13%
2.368	20,72	9,86%	54,73%	45,27%
1.674	13,64	6,49%	61,23%	38,77%
1.184	6,91	3,29%	64,52%	35,48%
0.837	7,58	3,61%	68,13%	31,87%
0.592	4,54	2,16%	70,29%	29,71%
0.419	5,26	2,50%	72,79%	27,21%
0.296	3,91	1,86%	74,65%	25,35%
Fundo	53,24	25,35%	100,00%	0,00%
Total	210,04	100,00%	---	---

Tabela E. 22- Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 29 (11°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	178,35	93,05%	93,05%	6,95%
3.349	13,00	6,78%	99,83%	0,17%
2.368	0,13	0,07%	99,90%	0,10%
1.674	0,03	0,02%	99,91%	0,09%
1.184	0,04	0,02%	99,93%	0,07%
0.837	0,01	0,01%	99,94%	0,06%
0.592	0,01	0,01%	99,94%	0,06%
0.419	0,01	0,01%	99,95%	0,05%
0.296	0,01	0,01%	99,95%	0,05%
Fundo	0,09	0,05%	100,00%	0,00%
Total	191,68	100,00%	---	---

Tabela E. 23 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 30 (11°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	3,69	2,00%	2,00%	98,00%
3.349	81,43	44,17%	46,18%	53,82%
2.368	22,75	12,34%	58,52%	41,48%
1.674	13,58	7,37%	65,88%	34,12%
1.184	6,63	3,60%	69,48%	30,52%
0.837	6,69	3,63%	73,11%	26,89%
0.592	3,91	2,12%	75,23%	24,77%
0.419	4,59	2,49%	77,72%	22,28%
0.296	3,10	1,68%	79,40%	20,60%
Fundo	37,97	20,60%	100,00%	0,00%
Total	184,34	100,00%	---	---

Tabela E. 24 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 30 (11°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	174,32	86,30%	86,30%	13,70%
3.349	27,33	13,53%	99,83%	0,17%
2.368	0,02	0,01%	99,84%	0,16%
1.674	0,10	0,05%	99,89%	0,11%
1.184	0,02	0,01%	99,90%	0,10%
0.837	0,03	0,01%	99,92%	0,08%
0.592	0,01	0,00%	99,92%	0,08%
0.419	0,01	0,00%	99,93%	0,07%
0.296	0,01	0,00%	99,93%	0,07%
Fundo	0,14	0,07%	100,00%	0,00%
Total	201,99	100,00%	---	---

Tabela E. 25 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 31 (11°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,20	0,11%	0,11%	99,89%
2.368	0,89	0,48%	0,59%	99,41%
1.674	2,34	1,27%	1,86%	98,14%
1.184	2,58	1,40%	3,26%	96,74%
0.837	3,88	2,10%	5,36%	94,64%
0.592	9,61	5,21%	10,58%	89,42%
0.419	14,61	7,92%	18,50%	81,50%
0.296	10,18	5,52%	24,02%	75,98%
Fundo	140,09	75,98%	100,00%	0,00%
Total	184,38	100,00%	---	---

Tabela E. 26 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 31 (11°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	141,47	49,02%	49,02%	50,98%
3.349	96,49	33,43%	82,46%	17,54%
2.368	22,17	7,68%	90,14%	9,86%
1.674	14,87	5,15%	95,29%	4,71%
1.184	6,34	2,20%	97,49%	2,51%
0.837	5,53	1,92%	99,40%	0,60%
0.592	1,28	0,44%	99,85%	0,15%
0.419	0,08	0,03%	99,88%	0,12%
0.296	0,02	0,01%	99,88%	0,12%
Fundo	0,34	0,12%	100,00%	0,00%
Total	288,59	100,00%	---	---

Tabela E. 27 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 32 (11°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,10	0,03%	0,03%	99,97%
1.674	0,19	0,06%	0,09%	99,91%
1.184	0,36	0,12%	0,21%	99,79%
0.837	0,62	0,20%	0,41%	99,59%
0.592	16,33	5,31%	5,72%	94,28%
0.419	30,47	9,91%	15,63%	84,37%
0.296	20,72	6,74%	22,37%	77,63%
Fundo	238,76	77,63%	100,00%	0,00%
Total	307,55	100,00%	---	---

Tabela E. 28 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 32 (11°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	11,63	7,59%	7,59%	92,41%
3.349	96,25	62,83%	70,42%	29,58%
2.368	18,88	12,32%	82,74%	17,26%
1.674	12,72	8,30%	91,04%	8,96%
1.184	5,88	3,84%	94,88%	5,12%
0.837	5,56	3,63%	98,51%	1,49%
0.592	1,51	0,99%	99,50%	0,50%
0.419	0,12	0,08%	99,58%	0,42%
0.296	0,05	0,03%	99,61%	0,39%
Fundo	0,60	0,39%	100,00%	0,00%
Total	153,20	100,00%	---	---

Tabela E. 29 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 33 (16°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1.674	0,02	0,01%	0,01%	99,99%
1.184	0,00	0,00%	0,01%	99,99%
0.837	0,07	0,03%	0,04%	99,96%
0.592	13,40	5,91%	5,95%	94,05%
0.419	24,44	10,78%	16,73%	83,27%
0.296	16,65	7,34%	24,07%	75,93%
Fundo	172,15	75,93%	100,00%	0,00%
Total	226,73	100,00%	---	---

Tabela E. 30 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 33 (16°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	110,48	44,92%	44,92%	55,08%
3.349	88,06	35,80%	80,72%	19,28%
2.368	20,26	8,24%	88,95%	11,05%
1.674	13,25	5,39%	94,34%	5,66%
1.184	6,03	2,45%	96,79%	3,21%
0.837	5,60	2,28%	99,07%	0,93%
0.592	1,68	0,68%	99,75%	0,25%
0.419	0,13	0,05%	99,80%	0,20%
0.296	0,04	0,02%	99,82%	0,18%
Fundo	0,44	0,18%	100,00%	0,00%
Total	245,97	100,00%	---	---

Tabela E. 31 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 34 (16°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
1.674	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
1.184	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
0.837	0,0300	0,01%	0,01%	99,99%
0.592	10,0500	4,41%	4,42%	95,58%
0.419	20,6800	9,06%	13,48%	86,52%
0.296	13,6500	5,98%	19,47%	80,53%
Fundo	183,7300	80,53%	100,00%	0,00%
Total	228,14	100,00%	---	---

Tabela E. 32 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 34 (16°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	95,2000	31,66%	31,66%	68,34%
3.349	131,3100	43,67%	75,34%	24,66%
2.368	29,3800	9,77%	85,11%	14,89%
1.674	20,0000	6,65%	91,76%	8,24%
1.184	10,2300	3,40%	95,16%	4,84%
0.837	10,1000	3,36%	98,52%	1,48%
0.592	3,5500	1,18%	99,70%	0,30%
0.419	0,2000	0,07%	99,77%	0,23%
0.296	0,0500	0,02%	99,79%	0,21%
Fundo	0,6400	0,21%	100,00%	0,00%
Total	300,66	100,00%	---	---

Tabela E. 33 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 35 (21°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
1.674	0,0400	0,02%	0,02%	99,98%
1.184	0,0100	0,01%	0,03%	99,97%
0.837	0,0000	0,00%	0,03%	99,97%
0.592	3,3700	1,73%	1,76%	98,24%
0.419	15,7000	8,08%	9,84%	90,16%
0.296	12,2800	6,32%	16,16%	83,84%
Fundo	162,8500	83,84%	100,00%	0,00%
Total	194,25	100,00%	---	---

Tabela E. 34 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 35 (21°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	120,1400	42,34%	42,34%	57,66%
3.349	103,3100	36,40%	78,74%	21,26%
2.368	23,2400	8,19%	86,93%	13,07%
1.674	16,6400	5,86%	92,79%	7,21%
1.184	7,7200	2,72%	95,51%	4,49%
0.837	7,8300	2,76%	98,27%	1,73%
0.592	3,6300	1,28%	99,55%	0,45%
0.419	0,6800	0,24%	99,79%	0,21%
0.296	0,0500	0,02%	99,81%	0,19%
Fundo	0,5400	0,19%	100,00%	0,00%
Total	283,78	100,00%	---	---

Tabela E. 35 - Análise Granulométrica do material passante realizada ensaio 36 (21°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1.674	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1.184	0,02	0,01%	0,01%	99,99%
0.837	0,01	0,01%	0,02%	99,98%
0.592	2,17	1,25%	1,27%	98,73%
0.419	14,25	8,21%	9,48%	90,52%
0.296	11,39	6,56%	16,04%	83,96%
Fundo	145,74	83,96%	100,00%	0,00%
Total	173,58	100,00%	---	---

Tabela E. 36 - Análise Granulométrica do material retido realizada ensaio 36 (21°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	113,66	40,81%	40,81%	59,19%
3.349	104,63	37,57%	78,38%	21,62%
2.368	23,04	8,27%	86,65%	13,35%
1.674	15,36	5,52%	92,17%	7,83%
1.184	7,78	2,79%	94,96%	5,04%
0.837	8,20	2,94%	97,91%	2,09%
0.592	4,22	1,52%	99,42%	0,58%
0.419	0,95	0,34%	99,76%	0,24%
0.296	0,08	0,03%	99,79%	0,21%
Fundo	0,58	0,21%	100,00%	0,00%
Total	278,50	100,00%	---	---

APÊNDICE F – Tabelas das análises granulométricas com os dados dos ensaios de validação em Peneira Inclinada, simulados no *SimPeneira*.

Tabela F. 1 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 19 (11°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,9961	21,54%	21,54%	78,46%
1.674	0,9903	21,42%	42,96%	57,04%
1.184	0,4384	9,48%	52,44%	47,56%
0.837	0,3795	8,21%	60,65%	39,35%
0.592	0,2099	4,54%	65,19%	34,81%
0.419	0,2099	4,54%	69,73%	30,27%
0.296	0,1300	2,81%	72,54%	27,46%
Fundo	1,2698	27,46%	100,00%	0,00%
Total	4,62	100,00%	---	---

Tabela F. 2 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 19 (11°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	2,9700	49,12%	49,12%	50,88%
3.349	2,7500	45,48%	94,61%	5,39%
2.368	0,3039	5,03%	99,63%	0,37%
1.674	0,0197	0,33%	99,96%	0,04%
1.184	0,0016	0,03%	99,99%	0,01%
0.837	0,0005	0,01%	99,99%	0,01%
0.592	0,0001	0,00%	99,99%	0,01%
0.419	0,0001	0,00%	100,00%	0,00%
0.296	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
Fundo	0,0002	0,00%	100,00%	0,00%
Total	6,05	100,00%	---	---

Tabela F. 3 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 20 (11°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	1,0297	15,80%	15,80%	84,20%
1.674	1,0987	16,86%	32,67%	67,33%
1.184	0,5082	7,80%	40,47%	59,53%
0.837	0,4794	7,36%	47,83%	52,17%
0.592	0,2798	4,30%	52,12%	47,88%
0.419	0,2999	4,60%	56,72%	43,28%
0.296	0,2000	3,07%	59,79%	40,21%
Fundo	2,6196	40,21%	100,00%	0,00%
Total	6,52	100,00%	---	---

Tabela F. 4 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 20 (11°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	3,7800	49,32%	49,32%	50,68%
3.349	3,5500	46,32%	95,63%	4,37%
2.368	0,3103	4,05%	99,68%	0,32%
1.674	0,0213	0,28%	99,96%	0,04%
1.184	0,0018	0,02%	99,98%	0,02%
0.837	0,0006	0,01%	99,99%	0,01%
0.592	0,0002	0,00%	99,99%	0,01%
0.419	0,0001	0,00%	99,99%	0,01%
0.296	0,0000	0,00%	99,99%	0,01%
Fundo	0,0004	0,01%	100,00%	0,00%
Total	7,66	100,00%	---	---

Tabela F. 5 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 21 (16°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,8577	13,97%	13,97%	86,03%
1.674	0,9100	14,82%	28,79%	71,21%
1.184	0,4566	7,44%	36,22%	63,78%
0.837	0,4387	7,14%	43,37%	56,63%
0.592	0,2596	4,23%	47,59%	52,41%
0.419	0,2897	4,72%	52,31%	47,69%
0.296	0,1899	3,09%	55,40%	44,60%
Fundo	2,7386	44,60%	100,00%	0,00%
Total	6,14	100,00%	---	---

Tabela F. 6 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 21 (16°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	3,0900	47,11%	47,11%	52,89%
3.349	3,1000	47,26%	94,37%	5,63%
2.368	0,3323	5,07%	99,44%	0,56%
1.674	0,0300	0,46%	99,89%	0,11%
1.184	0,0034	0,05%	99,95%	0,05%
0.837	0,0013	0,02%	99,97%	0,03%
0.592	0,0004	0,01%	99,97%	0,03%
0.419	0,0003	0,00%	99,98%	0,02%
0.296	0,0001	0,00%	99,98%	0,02%
Fundo	0,0014	0,02%	100,00%	0,00%
Total	6,56	100,00%	---	---

Tabela F. 7 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 22 (16°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,8479	14,20%	14,20%	85,80%
1.674	0,9936	16,65%	30,85%	69,15%
1.184	0,4742	7,94%	38,80%	61,20%
0.837	0,4278	7,17%	45,96%	54,04%
0.592	0,2692	4,51%	50,47%	49,53%
0.419	0,2794	4,68%	55,15%	44,85%
0.296	0,1797	3,01%	58,16%	41,84%
Fundo	2,4972	41,84%	100,00%	0,00%
Total	5,97	100,00%	---	---

Tabela F. 8 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 22 (16°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	2,4500	39,64%	39,64%	60,36%
3.349	3,2800	53,07%	92,71%	7,29%
2.368	0,3921	6,34%	99,05%	0,95%
1.674	0,0464	0,75%	99,80%	0,20%
1.184	0,0058	0,09%	99,89%	0,11%
0.837	0,0022	0,04%	99,93%	0,07%
0.592	0,0008	0,01%	99,94%	0,06%
0.419	0,0006	0,01%	99,95%	0,05%
0.296	0,0003	0,00%	99,96%	0,04%
Fundo	0,0028	0,04%	100,00%	0,00%
Total	6,18	100,00%	---	---

Tabela F. 9 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 23 (21°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,6253	10,03%	10,03%	89,97%
1.674	0,8847	14,19%	24,22%	75,78%
1.184	0,4527	7,26%	31,48%	68,52%
0.837	0,4510	7,23%	38,71%	61,29%
0.592	0,2862	4,59%	43,30%	56,70%
0.419	0,3168	5,08%	48,38%	51,62%
0.296	0,2082	3,34%	51,72%	48,28%
Fundo	3,0099	48,28%	100,00%	0,00%
Total	6,23	100,00%	---	---

Tabela F. 10 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 23 (21°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	4,3500	51,94%	51,94%	48,06%
3.349	3,4200	40,84%	92,78%	7,22%
2.368	0,4547	5,43%	98,20%	1,80%
1.674	0,0953	1,14%	99,34%	0,66%
1.184	0,0173	0,21%	99,55%	0,45%
0.837	0,0090	0,11%	99,66%	0,34%
0.592	0,0038	0,05%	99,70%	0,30%
0.419	0,0032	0,04%	99,74%	0,26%
0.296	0,0018	0,02%	99,76%	0,24%
Fundo	0,0201	0,24%	100,00%	0,00%
Total	8,38	100,00%	---	---

Tabela F. 11 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 24 (21°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,6256	10,17%	10,17%	89,83%
1.674	0,8795	14,30%	24,46%	75,54%
1.184	0,4754	7,73%	32,19%	67,81%
0.837	0,4825	7,84%	40,03%	59,97%
0.592	0,2871	4,67%	44,70%	55,30%
0.419	0,3176	5,16%	49,86%	50,14%
0.296	0,2087	3,39%	53,25%	46,75%
Fundo	2,8761	46,75%	100,00%	0,00%
Total	6,15	100,00%	---	---

Tabela F. 12 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 24 (21°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	3,8700	49,89%	49,89%	50,11%
3.349	3,3500	43,18%	93,07%	6,93%
2.368	0,4144	5,34%	98,41%	1,59%
1.674	0,0805	1,04%	99,45%	0,55%
1.184	0,0146	0,19%	99,64%	0,36%
0.837	0,0075	0,10%	99,74%	0,26%
0.592	0,0029	0,04%	99,77%	0,23%
0.419	0,0024	0,03%	99,80%	0,20%
0.296	0,0013	0,02%	99,82%	0,18%
Fundo	0,0139	0,18%	100,00%	0,00%
Total	7,76	100,00%	---	---

Tabela F. 13 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 25 (21°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	2,9800	48,30%	48,30%	51,70%
2.368	0,6100	9,89%	58,18%	41,82%
1.674	0,4500	7,29%	65,48%	34,52%
1.184	0,2000	3,24%	68,72%	31,28%
0.837	0,2200	3,57%	72,29%	27,71%
0.592	0,1300	2,11%	74,39%	25,61%
0.419	0,1500	2,43%	76,82%	23,18%
0.296	0,1000	1,62%	78,44%	21,56%
Fundo	1,3300	21,56%	100,00%	0,00%
Total	6,17	100,00%	---	---

Tabela F. 14 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 25 (21°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	6,3400	100,00%	100,00%	0,00%
3.349	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
2.368	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
1.674	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
1.184	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.837	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.592	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.419	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.296	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
Fundo	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
Total	6,34	100,00%	---	---

Tabela F. 15 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 26 (21°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	3,1535	52,46%	52,46%	47,54%
2.368	0,6181	10,28%	62,74%	37,26%
1.674	0,4197	6,98%	69,72%	30,28%
1.184	0,2099	3,49%	73,22%	26,78%
0.837	0,2000	3,33%	76,54%	23,46%
0.592	0,1200	2,00%	78,54%	21,46%
0.419	0,1300	2,16%	80,70%	19,30%
0.296	0,0800	1,33%	82,03%	17,97%
Fundo	1,0800	17,97%	100,00%	0,00%
Total	6,01	100,00%	---	---

Tabela F. 16 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 26 (21°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	6,7200	93,48%	93,48%	6,52%
3.349	0,4665	6,49%	99,97%	0,03%
2.368	0,0019	0,03%	99,99%	0,01%
1.674	0,0003	0,00%	100,00%	0,00%
1.184	0,0001	0,00%	100,00%	0,00%
0.837	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.592	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.419	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.296	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
Fundo	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
Total	7,19	100,00%	---	---

Tabela F. 17 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 27 (16°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	2,7300	47,48%	47,48%	52,52%
2.368	0,6200	10,78%	58,26%	41,74%
1.674	0,4300	7,48%	65,74%	34,26%
1.184	0,2100	3,65%	69,39%	30,61%
0.837	0,2000	3,48%	72,87%	27,13%
0.592	0,1300	2,26%	75,13%	24,87%
0.419	0,1400	2,43%	77,57%	22,43%
0.296	0,0900	1,57%	79,13%	20,87%
Fundo	1,2000	20,87%	100,00%	0,00%
Total	5,75	100,00%	---	---

Tabela F. 18 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 27 (16°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	5,7000	100,00%	100,00%	0,00%
3.349	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
2.368	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
1.674	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
1.184	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.837	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.592	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.419	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.296	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
Fundo	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
Total	5,70	100,00%	---	---

Tabela F. 19 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 28 (16°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	2,9000	50,79%	50,79%	49,21%
2.368	0,6800	11,91%	62,70%	37,30%
1.674	0,4600	8,06%	70,75%	29,25%
1.184	0,2200	3,85%	74,61%	25,39%
0.837	0,2100	3,68%	78,28%	21,72%
0.592	0,1300	2,28%	80,56%	19,44%
0.419	0,1200	2,10%	82,66%	17,34%
0.296	0,0800	1,40%	84,06%	15,94%
Fundo	0,9100	15,94%	100,00%	0,00%
Total	5,71	100,00%	---	---

Tabela F. 20 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 28 (16°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	5,1500	100,00%	100,00%	0,00%
3.349	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
2.368	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
1.674	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
1.184	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.837	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.592	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.419	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.296	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
Fundo	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
Total	5,15	100,00%	---	---

Tabela F. 21 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 29 (11°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	2,4311	44,85%	44,85%	55,15%
2.368	0,5400	9,96%	54,81%	45,19%
1.674	0,3500	6,46%	61,26%	38,74%
1.184	0,1800	3,32%	64,58%	35,42%
0.837	0,1900	3,50%	68,09%	31,91%
0.592	0,1200	2,21%	70,30%	29,70%
0.419	0,1400	2,58%	72,88%	27,12%
0.296	0,1000	1,84%	74,73%	25,27%
Fundo	1,3700	25,27%	100,00%	0,00%
Total	5,42	100,00%	---	---

Tabela F. 22 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 29 (11°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	4,8600	99,41%	99,41%	0,59%
3.349	0,0289	0,59%	100,00%	0,00%
2.368	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
1.674	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
1.184	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.837	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.592	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.419	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.296	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
Fundo	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
Total	4,89	100,00%	---	---

Tabela F. 23 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 30 (11°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	2,7600	52,08%	52,08%	47,92%
2.368	0,5800	10,94%	63,02%	36,98%
1.674	0,3500	6,60%	69,62%	30,38%
1.184	0,1700	3,21%	72,83%	27,17%
0.837	0,1700	3,21%	76,04%	23,96%
0.592	0,1000	1,89%	77,92%	22,08%
0.419	0,1200	2,26%	80,19%	19,81%
0.296	0,0800	1,51%	81,70%	18,30%
Fundo	0,9700	18,30%	100,00%	0,00%
Total	5,30	100,00%	---	---

Tabela F. 24 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 30 (11°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	4,5200	100,00%	100,00%	0,00%
3.349	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
2.368	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
1.674	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
1.184	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.837	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.592	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.419	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
0.296	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
Fundo	0,0000	0,00%	100,00%	0,00%
Total	4,52	100,00%	---	---

Tabela F. 25 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 31 (11°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
1.674	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
1.184	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
0.837	0,0000	0,00%	0,00%	100,00%
0.592	0,2105	5,19%	5,19%	94,81%
0.419	0,3375	8,32%	13,50%	86,50%
0.296	0,2397	5,91%	19,41%	80,59%
Fundo	3,2697	80,59%	100,00%	0,00%
Total	4,06	100,00%	---	---

Tabela F. 26 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 31 (11°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	3,2900	47,32%	47,32%	52,68%
3.349	2,2500	32,36%	79,68%	20,32%
2.368	0,5400	7,77%	87,45%	12,55%
1.674	0,4000	5,75%	93,20%	6,80%
1.184	0,2100	3,02%	96,22%	3,78%
0.837	0,2200	3,16%	99,39%	0,61%
0.592	0,0395	0,57%	99,96%	0,04%
0.419	0,0025	0,04%	99,99%	0,01%
0.296	0,0003	0,00%	100,00%	0,00%
Fundo	0,0003	0,00%	100,00%	0,00%
Total	6,95	100,00%	---	---

Tabela F. 27 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 32 (11°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1.674	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1.184	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
0.837	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
0.592	0,36	5,20%	5,20%	94,80%
0.419	0,69	9,90%	15,09%	84,91%
0.296	0,47	6,76%	21,86%	78,14%
Fundo	5,43	78,14%	100,00%	0,00%
Total	6,95	100,00%	---	---

Tabela F. 28 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 32 (11°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,26	7,43%	7,43%	92,57%
3.349	2,19	62,55%	69,97%	30,03%
2.368	0,43	12,28%	82,25%	17,75%
1.674	0,29	8,28%	90,53%	9,47%
1.184	0,14	4,00%	94,53%	5,47%
0.837	0,14	4,00%	98,53%	1,47%
0.592	0,05	1,39%	99,92%	0,08%
0.419	0,00	0,07%	99,99%	0,01%
0.296	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
Fundo	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
Total	3,50	100,00%	---	---

Tabela F. 29 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 33 (16°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1.674	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1.184	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
0.837	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
0.592	0,25	5,36%	5,36%	94,64%
0.419	0,50	10,71%	16,08%	83,92%
0.296	0,35	7,42%	23,50%	76,50%
Fundo	3,60	76,50%	100,00%	0,00%
Total	4,70	100,00%	---	---

Tabela F. 30 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 33 (16°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	2,31	44,72%	44,72%	55,28%
3.349	1,84	35,62%	80,35%	19,65%
2.368	0,42	8,13%	88,48%	11,52%
1.674	0,28	5,42%	93,90%	6,10%
1.184	0,13	2,52%	96,42%	3,58%
0.837	0,12	2,32%	98,74%	1,26%
0.592	0,06	1,12%	99,86%	0,14%
0.419	0,01	0,12%	99,97%	0,03%
0.296	0,00	0,01%	99,99%	0,01%
Fundo	0,00	0,01%	100,00%	0,00%
Total	5,17	100,00%	---	---

Tabela F. 31 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 34 (16°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1.674	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1.184	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
0.837	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
0.592	0,19	3,78%	3,78%	96,22%
0.419	0,43	8,59%	12,37%	87,63%
0.296	0,30	5,98%	18,35%	81,65%
Fundo	4,11	81,65%	100,00%	0,00%
Total	5,03	100,00%	---	---

Tabela F. 32 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 34 (16°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	2,14	31,19%	31,19%	68,81%
3.349	2,95	42,99%	74,18%	25,82%
2.368	0,66	9,62%	83,79%	16,21%
1.674	0,45	6,56%	90,35%	9,65%
1.184	0,23	3,35%	93,70%	6,30%
0.837	0,23	3,35%	97,06%	2,94%
0.592	0,12	1,75%	98,80%	1,20%
0.419	0,04	0,56%	99,36%	0,64%
0.296	0,01	0,14%	99,49%	0,51%
Fundo	0,03	0,51%	100,00%	0,00%
Total	6,86	100,00%	---	---

Tabela F. 33 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 35 (21°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1.674	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1.184	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
0.837	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
0.592	0,10	2,16%	2,16%	97,84%
0.419	0,35	7,70%	9,86%	90,14%
0.296	0,28	6,11%	15,98%	84,02%
Fundo	3,82	84,02%	100,00%	0,00%
Total	4,54	100,00%	---	---

Tabela F. 34 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 35 (21°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	2,85	41,92%	41,92%	58,08%
3.349	2,45	36,04%	77,96%	22,04%
2.368	0,55	8,09%	86,05%	13,95%
1.674	0,40	5,88%	91,93%	8,07%
1.184	0,18	2,65%	94,58%	5,42%
0.837	0,19	2,79%	97,37%	2,63%
0.592	0,07	1,06%	98,43%	1,57%
0.419	0,04	0,59%	99,02%	0,98%
0.296	0,01	0,18%	99,21%	0,79%
Fundo	0,05	0,79%	100,00%	0,00%
Total	6,80	100,00%	---	---

Tabela F. 35 - Análise Granulométrica do material passante simulado ensaio 36 (21°)

Análise Granulométrica do material passante realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3.349	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
2.368	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1.674	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1.184	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
0.837	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
0.592	0,08	1,93%	1,93%	98,07%
0.419	0,31	7,61%	9,54%	90,46%
0.296	0,25	6,22%	15,76%	84,24%
Fundo	3,41	84,24%	100,00%	0,00%
Total	4,04	100,00%	---	---

Tabela F. 36 - Análise Granulométrica do material retido simulado ensaio 36 (21°)

Análise Granulométrica do material retido realizada				
Abertura [mm]	Massa [kg]	% simples	% retida	% passante
6.35	2,72	40,15%	40,15%	59,85%
3.349	2,51	37,05%	77,19%	22,81%
2.368	0,55	8,12%	85,31%	14,69%
1.674	0,37	5,46%	90,77%	9,23%
1.184	0,19	2,80%	93,58%	6,42%
0.837	0,20	2,95%	96,53%	3,47%
0.592	0,07	1,06%	97,59%	2,41%
0.419	0,05	0,77%	98,36%	1,64%
0.296	0,02	0,27%	98,64%	1,36%
Fundo	0,09	1,36%	100,00%	0,00%
Total	6,78	100,00%	---	---

APÊNDICE G – Rotinas técnicas do módulo de simulação e dimensionamento do SimPeneira.

Módulo de Simulação

```
procedure TFentrada.BitBtn1Click(Sender: TObject);
{Procedure Principal}
begin
  if CheckBox1.Checked=true then
  begin
    ajusta_ff;           {ajuste do coeficiente de efetividade}
  end
  else
  begin
    fentrada.Table1.ApplyRange;
    fentrada.Table2.ApplyRange;
    fentrada.Table3.ApplyRange;
    ff:=strtofloat(edit1.Text);   {coeficiente de efetividade}
    calculo_probabilidade;
    analisegranulometrical;
    calculo_eficiencia;
    calculo_vazoes;
    calculo_area;
    fentrada.Resolver1.Enabled:=true;
    fentrada.Grficos1.Enabled:=true;
    fentrada.Relatrio1.Enabled:=true;
  end;
end;
```

```
procedure ajusta_ff;
var j,i: integer;
    passo,soma1,E2min: double;
begin
  E2min:=0;
  passo:=0.01;
  for i:=1 to 200 do
  begin
    ff:=passo*i;
    fentrada.Table1.ApplyRange;
    fentrada.Table2.ApplyRange;
    fentrada.Table3.ApplyRange;
    calculo_probabilidade;
    analisegranulometrical;
    calculo_eficiencia;
    calculo_vazoes;
    calculo_area;
    with banco do
    begin
      Qpr.Open;
```

```

Qpr.First;
soma1:=0;
for j:=1 to 11 do
begin
    par[j]:=Qprpassante.Value;      {% passate acumulada do ensaio de
peneiramento}
    soma1:=soma1+sqr(par[j]-pa[j]);
    Qpr.Next;
end;
end;
E2[i]:=(soma1);
if i>1 then
begin
    if E2[i] < E2[i-1] then
    begin
        E2min:=E2[i];                {Erro quadrático}
        ffmin:=ff;                    {Coeficiente de efetividade simulado}
    end;
end;
end;
fentrada.edit1.Text:=floattostr(ffmin);
fentrada.edit2.Text:=floattostr(E2min);
fentrada.Resolver1.Enabled:=true;
fentrada.Grficos1.Enabled:=true;
fentrada.Relatrio1.Enabled:=true;
end;

procedure calculo_probabilidade;
var f,c,O,s,i,t,n,cp,v,fp,ro,inc : double;
    z : integer;

begin
with banco do
begin
    Qd1.Open;
    Qm1.Open;
    d[1]:=Qd1Expr1000.Value;          {Diâmetro médio}
    mm[1]:=Qm1massa.Value;           {Massa da alimentação}
    Qd1.close;
    Qm1.close;
    Qd2.Open;
    Qm2.Open;
    d[2]:=Qd2Expr1000.Value;          {Diâmetro médio}
    mm[2]:=Qm2massa.Value;           {Massa da alimentação}
    Qd2.close;
    Qm2.close;
    Qd3.Open;
    Qm3.Open;
    d[3]:=Qd3Expr1000.Value;          {Diâmetro médio}

```

mm[3]:=Qm3massa.Value;	{ Massa da alimentação }
Qd3.close;	
Qm3.close;	
Qd4.Open;	
Qm4.Open;	
d[4]:=Qd4Expr1000.Value;	{ Diâmetro médio }
mm[4]:=Qm4massa.Value;	{ Massa da alimentação }
Qd4.close;	
Qm4.close;	
Qd5.Open;	
Qm5.Open;	
d[5]:=Qd5Expr1000.Value;	{ Diâmetro médio }
mm[5]:=Qm5massa.Value;	{ Massa da alimentação }
Qd5.close;	
Qm5.close;	
Qd6.Open;	
Qm6.Open;	
d[6]:=Qd6Expr1000.Value;	{ Diâmetro médio }
mm[6]:=Qm6massa.Value;	{ Massa da alimentação }
Qd6.close;	
Qm6.close;	
Qd7.Open;	
Qm7.Open;	
d[7]:=Qd7Expr1000.Value;	{ Diâmetro médio }
mm[7]:=Qm7massa.Value;	{ Massa da alimentação }
Qd7.close;	
Qm7.close;	
Qd8.Open;	
Qm8.Open;	
d[8]:=Qd8Expr1000.Value;	{ Diâmetro médio }
mm[8]:=Qm8massa.Value;	{ Massa da alimentação }
Qd8.close;	
Qm8.close;	
Qd9.Open;	
Qm9.Open;	
d[9]:=Qd9Expr1000.Value;	{ Diâmetro médio }
mm[9]:=Qm9massa.Value;	{ Massa da alimentação }
Qd9.close;	
Qm9.close;	
Qd10.Open;	
Qm10.Open;	
d[10]:=Qd10Expr1000.Value;	{ Diâmetro médio }
mm[10]:=Qm10massa.Value;	{ Massa da alimentação }
Qd10.close;	
Qm10.close;	
Qd11.Open;	
Qm11.Open;	
d[11]:=Qd11Expr1000.Value;	{ Diâmetro médio }
mm[11]:=Qm11massa.Value;	{ Massa da alimentação }

```

Qd11.close;
Qm11.close;
for z:=1 to 11 do
begin
  ma[z]:=mm[z];
end;
a:=fentrada.Table2ABERTURA.Value/1000; {Abertura da peneira}
analisegranulometrica2;
calculovazao_a;
calculofracao_grossos;
S:=-0.274; {}
i:=0.27; {}
cp:=fentrada.Table2COMPRIMENTO.Value; {Comprimento da peneira}
v:=fentrada.Table2VELOCIDADE.value; {Velocidade de fluxo do material}
t:=cp/v; {Tempo de residência}
ro:=fentrada.Table2DENSIDADE.Value; {Massa específica do material}
E:=Qa/(ro*v*fentrada.Table2LARGURA.Value); {Espessura efetiva}
Ea:=E/a; {Espessura aparente}
fp:=fentrada.Table2FREQUENCIA.value; {Frequência do peneiramento}
n:=fp*ff*t/Ea; {Número de apresentações}
inc:=fentrada.Table2INCLINACAO.Value; {Inclinação da peneira}
O:=cos(inc*Pi/180);
c:=fentrada.Table2DIAMETRO.Value; {Diâmetro do fio da peneira}
for z:=1 to 11 do
begin
  f:=d[z]/a;
  begin
    if f>= 1 then
      begin
        B[z]:=1;
        p[z]:=0
      end
    else if f<=0 then
      begin
        B[z]:=i;
        p[z]:=((a+(B[z]*c)-d[z])*((a+c)*O-(1-B[z])*(c-d[z])))/((a+c)*(a+c)*O);
      end
    else
      begin
        B[z]:=s*(d[z]/a)+i; {Função de ajuste}
        p[z]:=((a+(B[z]*c)-d[z])*((a+c)*O-(1-B[z])*(c-d[z])))/((a+c)*(a+c)*O);
      end
  end;
  {Probabilidade de passagem de uma partícula sob condições de uma única apresentação
  à tela }
  end;
end;
g[z]:=1-p[z];
r[z]:=exp(n*ln(g[z]));
Pn[z]:=1-r[z]; {Probabilidade para n tentativas de passagem, de uma dada
classe de tamanhos }

```

```

    m[z]:=Pn[z]*mm[z]; {Massa passante simulada}
    mo[z]:=mm[z]-m[z]; {Massa retida simulada}
end;
end;
end;

procedure calculo_vazao_a;
begin
    Qa:=0;
    Qa:=totala/(fentrada.Table2TEMPO.Value*fentrada.Table2PARCELA.Value);
    {Vazão da alimentação}
end;

procedure calculo_vazoes;
begin
    Qa:=0;
    Qa:=totala/(fentrada.Table2TEMPO.Value*fentrada.Table2PARCELA.Value);
    {Vazão da alimentação}
    feficiencia.Edit3.Text:=formatfloat('0.###',Qa);
    frelatorio.QRLabel96.Caption:=formatfloat('0.###',Qa);
    Qu:=0;
    Qu:=totalu/(fentrada.Table2TEMPO.Value*fentrada.Table2PARCELA.Value);
    {Vazão do material passante simulado}
    feficiencia.Edit4.Text:=formatfloat('0.###',Qu);
    frelatorio.QRLabel97.Caption:=formatfloat('0.###',Qu);
    Qo:=0;
    Qo:=totalo/(fentrada.Table2TEMPO.Value*fentrada.Table2PARCELA.Value);
    {Vazão do material retido simulado}
    feficiencia.Edit5.Text:=formatfloat('0.###',Qo);
    frelatorio.QRLabel98.Caption:=formatfloat('0.###',Qo);
end;

procedure calculo_area;
begin
    area:=(fentrada.Table2LARGURA.Value*fentrada.Table2COMPRIMENTO.Value);
    frelatorio.QRLabel51.Caption:=formatfloat('0.###',area);
    feficiencia.Edit2.Text:=formatfloat('0.###',area);
end;

procedure calculo_fracao_grossos;
var
    resa,maior1,maior2,menor1,menor2,x,teste: double;
begin
    with banco do
    begin
        resa:=0;
        x:=0;
        Qselalim.Open;
        Qselalim.First;
    end;
end;

```

```

begin
  while x <> -1 do
    If a*1000 < Qselalimabertura.value then
      Qselalim.Next
    else
      begin
        menor1:=Qselalimabertura.value;
        menor2:=Qselalimmassa.value;
        Qselalim.Prior;
        maior1:=Qselalimabertura.value;
        maior2:=Qselalimmassa.value;
        x:=-1;
        resa:=((a*1000-maior1)/(menor1-maior1))*menor2+((a*1000-menor1)/(maior1-
menor1))*maior2;
        teste:=maior2-resa;
        teste:=round(teste);
        if teste = 0 then
          resa:=0
        else
          resa:=((a*1000-maior1)/(menor1-maior1))*menor2+((a*1000-menor1)/(maior1-
menor1))*maior2;
        end;
      end;
      Qselalim.close;
      begin
        Qalimret.Open;
        fr:=QalimretExpr1000.Value+resa;      {Massa de material maior que abertura}
        Qalimret.Close;
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

procedure calculo_eficiencia;
var
  resa,resu,maior1,maior2,menor1,menor2,x,teste: double;
begin
  with banco do
    begin
      resa:=0;
      resu:=0;
      x:=0;
      Qselalim.Open;
      Qselalim.First;
      begin
        while x <> -1 do
          If a*1000 < Qselalimabertura.value then
            Qselalim.Next
          else
            begin

```

```

menor1:=Qselalimabertura.value;
menor2:=Qselalimmassa.value;
Qselalim.Prior;
maior1:=Qselalimabertura.value;
maior2:=Qselalimmassa.value;
x:=-1;
resa:=((a*1000-maior1)/(menor1-maior1))*menor2+((a*1000-menor1)/(maior1-
menor1))*maior2;
teste:=maior2-resa;
teste:=round(teste);
if teste = 0 then
resa:=0
else
resa:=((a*1000-maior1)/(menor1-maior1))*menor2+((a*1000-menor1)/(maior1-
menor1))*maior2;
end;
end;
Qselalim.close;
x:=0;
begin
Qselunder.Open;
Qselunder.First;
begin
while x <> -1 do
If a*1000 < Qselunderabertura.value then
Qselunder.Next
else
begin
menor1:=Qselunderabertura.value;
menor2:=Qselundermassa.value;
Qselunder.Prior;
maior1:=Qselunderabertura.value;
maior2:=Qselundermassa.value;
x:=-1;
resu:=((a*1000-maior1)/(menor1-maior1))*menor2+((a*1000-menor1)/(maior1-
menor1))*maior2;
teste:=maior2-resu;
teste:=round(teste);
if teste = 0 then
resu:=0
else
resu:=((a*1000-maior1)/(menor1-maior1))*menor2+((a*1000-menor1)/(maior1-
menor1))*maior2;
end;
end;
Qselunder.close;
end;
begin
Qalim.Open;

```



```

Qunder.open;
Qalimret.Open;
fr:=QalimretExpr1000.Value+resa;
ef:=((QunderExpr1000.Value+resu)/(QalimExpr1000.Value+resa))*100;
{Eficiência do peneiramento}
  feficiencia.Edit1.Text:=formatfloat('0.###',ef);
  Qalimret.Close;
  Qalim.close;
  Qunder.close;
end;
end;
end;

procedure analisegranulometrica1;
var
soma : double;
j : integer;
begin
  with banco do
  begin

totala:=ma[1]+ma[2]+ma[3]+ma[4]+ma[5]+ma[6]+ma[7]+ma[8]+ma[9]+ma[10]+ma[1
1];
  soma:=0;
  Qab.Open;
  Qab.first;
  for j:=1 to 11 do
  begin
  abertura[j]:=Qababertura.Value;
  sia[j]:=ma[j]/totala*100;      {% retida simples da alimentação}
  soma:=soma+sia[j];
  rea[j]:=soma;                {% retida acumulada da alimentação}
  paa[j]:=100-rea[j];          {% passante acumulada da alimentação}
  paa1[j]:=100-sia[j];        {% passante simples da alimentação}
  Qab.Next;
  end;
  Qab.Close;
  for j:=1 to 11 do
  begin
  QInsa.ParamByName('n').AsInteger:=j;
  QInsa.ParamByName('ab').AsFloat:=abertura[j];
  QInsa.ParamByName('sia').AsFloat:=sia[j];
  QInsa.ParamByName('rea').AsFloat:=rea[j];
  QInsa.ParamByName('paa').AsFloat:=paa[j];
  QInsa.ParamByName('paa1').AsFloat:=paa1[j];
  QInsa.ExecSql;
  QInsa.Close;
  end;
  totalu:=m[1]+m[2]+m[3]+m[4]+m[5]+m[6]+m[7]+m[8]+m[9]+m[10]+m[11];

```

```

soma:=0;
for j:=1 to 11 do
begin
si[j]:=m[j]/totalu*100;          {% retida simples do material passante simulado}
soma:=soma+si[j];
re[j]:=soma;                    {% retida acumulada do material passante simulado}
pa[j]:=100-re[j];              {% passante acumulada do material passante simulado}
pa1[j]:=100-si[j];            {% passante simples do material passante simulado}
end;
for j:=1 to 11 do
begin
QIns.ParamByName('n').AsInteger:=j;
QIns.ParamByName('ab').AsFloat:=abertura[j];
QIns.ParamByName('mj').AsFloat:=m[j];
QIns.ParamByName('si').AsFloat:=si[j];
QIns.ParamByName('re').AsFloat:=re[j];
QIns.ParamByName('pa').AsFloat:=pa[j];
QIns.ParamByName('pa1').AsFloat:=pa1[j];
QIns.ExecSql;
QIns.Close;
end;

totalo:=mo[1]+mo[2]+mo[3]+mo[4]+mo[5]+mo[6]+mo[7]+mo[8]+mo[9]+mo[10]+mo[
11];
soma:=0;
for j:=1 to 11 do
begin
sio[j]:=mo[j]/totalo*100;      {% retida simples do material retido simulado}
soma:=soma+sio[j];
reo[j]:=soma;                 {% retida acumulada do material retido simulado}
pao[j]:=100-reo[j];          {% passante acumulada do material retido simulado}
pao1[j]:=100-sio[j];        {% passante simples do material retido simulado}
end;
for j:=1 to 11 do
begin
QInso.ParamByName('n').AsInteger:=j;
QInso.ParamByName('ab').AsFloat:=abertura[j];
QInso.ParamByName('moj').AsFloat:=mo[j];
QInso.ParamByName('sio').AsFloat:=sio[j];
QInso.ParamByName('reo').AsFloat:=reo[j];
QInso.ParamByName('pao').AsFloat:=pao[j];
QInso.ParamByName('pao1').AsFloat:=pao1[j];
QInso.ExecSql;
QInso.Close;
end;
end;
end;

procedure analisegranulometrica2;

```

begin

```
totala:=ma[1]+ma[2]+ma[3]+ma[4]+ma[5]+ma[6]+ma[7]+ma[8]+ma[9]+ma[10]+ma[11];  
end;
```

Módulo de Dimensionamento

```
procedure TFdimensionamento.BitBtn1Click(Sender: TObject);  
{Procedure Principal}
```

```
begin
```

```
  fdimensionamento.Table1.Refresh;  
  fdimensionamento.Table2.Refresh;  
  a:=fdimensionamento.Table2ABERTURA.Value;  
  tm:=fdimensionamento.Table2MATERIAL.Value;  
  p:=fdimensionamento.Table2INCRTEZA.Value;  
  begin  
    if fdimensionamento.Label2.Visible = true then  
      begin  
        fator_k;  
        fator_m;  
      end  
    else  
      begin  
        analisegranulometrica;  
        fator_tmetade;  
        fator_grossos;  
      end;  
    end;  
  fator_malha;  
  fator_formaparticula;  
  fator_aberturamalha;  
  fator_umidade;  
  fator_deck;  
  fator_areaaberta;  
  calculo;  
  fparametros.Edit1.Text:=formatfloat('0.###',cap);  
  fparametros.Edit2.Text:=formatfloat('0.###',k2);  
  fparametros.Edit3.Text:=formatfloat('0.###',k1);  
  fparametros.Edit5.Text:=formatfloat('0.###',k3);  
  fparametros.Edit6.Text:=formatfloat('0.###',k4);  
  fparametros.Edit7.Text:=formatfloat('0.###',k5);  
  fparametros.Edit8.Text:=formatfloat('0.###',k6);  
  fparametros.Edit9.Text:=formatfloat('0.###',k7);  
  fparametros.Edit10.Text:=formatfloat('0.###',k8);  
  fparametros.Edit11.Text:=formatfloat('0.###',area);  
  fparametros.ShowModal;  
end;
```

```

procedure analisegranulometrica;
var
j : integer;
begin
with banco do
begin
Qmd1.Open;
mad[1]:=Qmd1massa.value;
Qmd1.close;
Qmd2.Open;
mad[2]:=Qmd2massa.value;
Qmd2.close;
Qmd3.Open;
mad[3]:=Qmd3massa.value;
Qmd3.close;
Qmd4.Open;
mad[4]:=Qmd4massa.value;
Qmd4.close;
Qmd5.Open;
mad[5]:=Qmd5massa.value;
Qmd5.close;
Qmd6.Open;
mad[6]:=Qmd6massa.value;
Qmd6.close;
Qmd7.Open;
mad[7]:=Qmd7massa.value;
Qmd7.close;
Qmd8.Open;
mad[8]:=Qmd8massa.value;
Qmd8.close;
Qmd9.Open;
mad[9]:=Qmd9massa.value;
Qmd9.close;
Qmd10.Open;
mad[10]:=Qmd10massa.value;
Qmd10.close;
Qmd11.Open;
mad[11]:=Qmd11massa.Value;
Qmd11.close;

totald:=mad[1]+mad[2]+mad[3]+mad[4]+mad[5]+mad[6]+mad[7]+mad[8]+mad[9]+ma
d[10]+mad[11];
soma:=0;
for j:=1 to 11 do
begin
siad[j]:=mad[j]/totald*100;
soma:=soma+siad[j];
read[j]:=soma;
paad[j]:=100-read[j];

```

```

paa1d[j]:=100-siad[j];
end;
for j:=1 to 11 do
begin
QInsad.ParamByName('n').AsInteger:=j;
QInsad.ParamByName('siad').AsFloat:=siad[j];
QInsad.ParamByName('read').AsFloat:=read[j];
QInsad.ParamByName('paad').AsFloat:=paad[j];
QInsad.ParamByName('paa1d').AsFloat:=paa1d[j];
QInsad.ExecSql;
QInsad.Close;
end;
end;
end;

procedure fator_m; {Fator de correção para a fração retida k2}
var s: double;
begin

ac:=pot((a/fdimensionamento.Table2PARAMETRO.Value),fdimensionamento.Table2
MODULO.Value);
s:=pot(exp(1),-ac);
k2:=-0.15859*(1-exp(-(8.469*(0.5683-s))))+1.1698;
end;

procedure fator_k; {Fator de correção para o "tamanho metade" k1}
var m: double;
begin

ab:=pot((a/(fdimensionamento.Table2PARAMETRO.Value*2)),fdimensionamento.Tab
le2MODULO.Value);
m:=1-pot(exp(1),-ab);
k1:=sqrt(4.815*m*m+0.1966);
end;

procedure fator_malha;    {fator de tipo de abertura k3}
begin
kd:=fdimensionamento.Table2RELACAO.Value;
if fdimensionamento.RadioButton1.Checked=true then
k3:=0.274*(1-exp(-0.738*(kd-1)))+1
else if fdimensionamento.RadioButton2.Checked=true then
k3:=1
else if fdimensionamento.RadioButton12.Checked=true then
k3:=0.8;
end;

procedure fator_formapartícula;    {fator formato das partículas k4}
begin
if fdimensionamento.RadioButton3.Checked=true then

```

```

k4:=1
else
k4:=0.9;
end;

procedure fator_aberturamalha; {fator de eficiência da abertura k5}
begin
if fdimensionamento.RadioButton13.Checked=true then
k5:=-0.04*sqrt(a-3.37)+1.407
else
begin
k5:=1;
end;
end;

procedure fator_umidade; {fator de umidade k6}
begin
if fdimensionamento.RadioButton13.Checked=true then
k6:=1
else if fdimensionamento.RadioButton6.Checked=true then
k6:=1
else if fdimensionamento.RadioButton7.Checked=true then
k6:=0.85
else if fdimensionamento.RadioButton8.Checked=true then
k6:=0.75;
end;

procedure fator_deck; {fator de área efetiva k7}
begin
if fdimensionamento.RadioButton9.Checked=true then
k7:=0.9
else if fdimensionamento.RadioButton10.Checked=true then
k7:=0.8
else if fdimensionamento.RadioButton11.Checked=true then
k7:=0.7;
end;

procedure fator_grossos;{Fator de correção para a fração retida k2}
begin
with banco do
begin
Qsover.Open;
Qtalim1.open;
ac:=Qsoverexpr1000.Value/Qtalim1expr1000.Value;
k2:=-0.15859*(1-exp(-(8.469*(0.5683-ac))))+1.1698;
Qtalim1.close;
Qsover.close;
end;
end;

```

```
procedure fator_tmetade; {Fator de correção para o "tamanho metade" k1}
begin
with banco do
begin
  Qalim1.Open;
  Qtalim1.open;
  ab:=1-(Qalim1.expr1000.Value/Qtalim1.expr1000.Value);
  k1:=sqrt(4.815*ab*ab+0.1966);
  Qtalim1.close;
  Qalim1.Close;
end;
end;

procedure calculo;
begin
  p:=fdimensionamento.Table2INCRTEZA.Value;
  Cap:=0.36423*sqrt(a*a+251.28*a); {capacidade básica de peneiramento}
  area:=tm*p/(cap*k1*k2*k3*k4*k5*k6*k7*k8); {área requerida}
end;

procedure fator_areaaberta; {fator de área aberta k8}
var fa: double;
begin
  fa:=34*(1-exp(-0.05*(a-1.9)))+40;
  k8:=fa/50;
end;
```