

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**Alexandre José de Almeida Gama**

**MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE  
HIDROCICLONAGEM PARA TRATAMENTO DE ARGILAS BENTONÍICAS**

Campina Grande - PB

ABRIL - 2017

**Alexandre José de Almeida Gama**

**MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE  
HIDROCICLONAGEM PARA TRATAMENTO DE ARGILAS BENTONÍICAS.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como requisito parcial à obtenção do título de **Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais.**

**Orientador:** Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves

**Co-Orientador Externo:** Prof. Dr. André Luiz Fiquene de Brito

Campina Grande - PB

ABRIL - 2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

G185m Gama, Alexandre José de Almeida.

Modelagem, simulação e otimização do processo de hidrociclonagem para tratamento de argilas bentoníticas / Alexandre José de Almeida Gama. –Campina Grande, 2017.

176 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.

"Orientação: Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves, Prof. Dr. André Luiz Fiquene de Brito".

Referências.

1. Hidrociclone. 2. Argilas Esmectíticas. 3. Planejamento Fatorial. 4. Fluidodinâmica Computacional. I. Neves, Gelmires de Araújo. II. Brito, André Luiz Fiquene de. III. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande (PB). IV. Título.

CDU 621.928.3(043)

## CURRICULUM VITAE

- ⇒ Engenheiro Elétricista, opção eletrotécnica, pela Universidade Federal da Paraíba, 1980;
- ⇒ Professor do quadro permanente da UFPB/UFCG, lotado no Departamento de Física do CCT, a partir de 1982 até os dias atuais;
- ⇒ Especialização em Processamento de Energia pela Universidade Federal da Paraíba, 1983;
- ⇒ Especialização em Qualidade e Produtividade pela Universidade Federal da Paraíba, 1996;
- ⇒ Chefe do Departamento de Física do Centro de Ciências e Tecnologia UFPB/UFCG. Período: maio de 1991 a agosto de 1995;
- ⇒ Coordenador do Curso de bacharelado em Física do Centro de Ciências e Tecnologia UFPB/UFCG. Período: dezembro de 1996 a abril de 1997;
- ⇒ Coordenador Setorial de Graduação da Pró-Reitoria para Assuntos do Interior da UFPB, período: abril de 1997 a abril de 2001.
- ⇒ Pró-Reitor da Pró-Reitoria para Assuntos do Interior da UFPB, período: abril de 2001 a junho de 2002.
- ⇒ Pró-Reitor da Pró-Reitoria de Administração da UFCG, período: junho de 2002 a setembro de 2014.
- ⇒ Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, pela Universidade Federal de Campina Grande, agosto de 2015.

ALEXANDRE JOSE DE ALMEIDA GAMA

MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE  
HIDROCICLONAGEM PARA TRATAMENTO DE ARGILAS BENTONÍICAS.

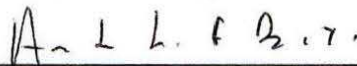
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como requisito parcial à obtenção do título de **Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais**.

Aprovado em: 26/04/2017




---

Dr. Gelmires de Araújo Neves  
Orientador  
PPG-CEMat/UFCG




---

Dr. André Luiz Fiquene de Brito  
Orientador Externo  
UAEQ/UFCG



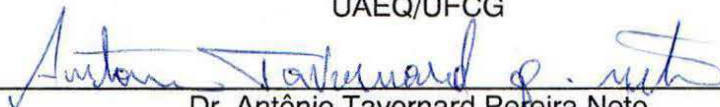

---

Dr. Romualdo Rodrigues Menezes  
Examinador Interno  
PPG-CEMat/UAEMa/UFCG




---

Dr. José Jailson Nicácio Alves  
Examinador Externo  
UAEQ/UFCG



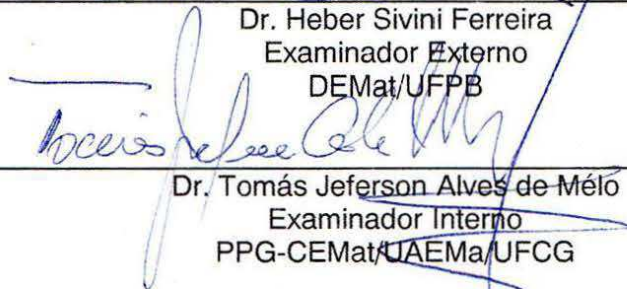

---

Dr. Antônio Tavernard Pereira Neto  
Examinador Externo  
UAEQ/UFCG




---

Dr. Heber Sivini Ferreira  
Examinador Externo  
DEMat/UFPB




---

Dr. Tomás Jeferson Alves de Mélo  
Examinador Interno  
PPG-CEMat/UAEMa/UFCG

## DEDICATÓRIA



Dedico este trabalho a Pedro e Cecília.

## AGRADECIMENTOS

*“Eu não perdi o controle da tua vida, está tudo no Meu tempo. Não há nada atrasado. Aquietai-vos e sabeis que Eu sou Deus”.* (Salmo, 46:10)

- ⇒ Agradeço a todos quanto, de quantas maneiras possíveis contribuíram para a elaboração deste trabalho, e realização de um sonho.
- ⇒ Agradeço aos professores: Dr. Dalton Serey, Dr. Franklin Ramalho e Dr. Jorge Figueiredo, pelo apoio logístico, amizade, fraternidade e incentivo quando da realização deste trabalho.
- ⇒ Agradeço a todos os docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, de forma especial e respeitosa ao Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira e a Profa. Dr.<sup>a</sup> Lisiane Navarro de Lima Santana, pela contribuição que deram a minha formação acadêmica.
- ⇒ Agradeço ao Prof. Dr. Romualdo R. Menezes e ao servidor José André da Costa, Coordenador e Secretário do PPG-CEMat/UAEM/UFCG, pela afabilidade e presteza no encaminhamento das demandas enviadas à coordenação do programa.
- ⇒ Agradeço ao Prof. Dr. Marcos José de Almeida Gama, a Dr.<sup>a</sup> Juliana de Melo Cartaxo, a Doutoranda Julliana Marques Rocha de Figueiredo e a aluna PIBITI Paloma Lins Barros, pelo incentivo e contribuições oferecidas ao trabalho.
- ⇒ Agradeço a Dr.<sup>a</sup> Gabriela Lopes Gama, minha filha, pelo apoio, companheirismo, incentivo e partilha diária das dificuldades atinentes à realização deste trabalho.
- ⇒ Agradeço de forma especial, fraternal, carinhosa e respeitosa ao Orientador e ao Co-Orientador, Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves e Prof. Dr. André Luiz Fiquene de Brito, respectivamente, e ao Prof. Dr. José Jailson Nicácio Alves; pela parceria, pelo companheirismo, pela compreensão, pela colaboração e pela orientação na elaboração deste trabalho. SEM ELES NADA TERIA SIDO POSSÍVEL.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar o tratamento de argilas esmectíticas, oriundas de novos depósitos do Estado da Paraíba, situados no Município de Cubatí, usando hidrociclone, empregando técnicas planejamento fatorial, superfície de reposta e de fluidodinâmica computacional. Inicialmente foi realizada a caracterização da argila in natura e, após o processo de hidrociclonagem, por meio das técnicas de Difração de Raios X, Análise Química e Análise Granulométrica. Em seguida foi empregado o planejamento fatorial com o uso de pontos centrais, para modelagem, otimização e simulação do diâmetro médio das partículas, em função dos fatores: diâmetro do ápex, diâmetro do vórtex e pressão no duto de alimentação. Os procedimentos de fluidodinâmica computacional foram utilizados para modelar o equipamento em estudo, validar o modelo e realizar simulações com valores das variáveis do processo de hidrociclonagem não possíveis de serem aferidas no equipamento utilizado. Os resultados da caracterização evidenciaram que houve uma redução do tamanho médio equivalente das partículas e um aumento do concentrado da fração argila no overflow, bem como, uma redução considerável no percentual dos minerais acessórios, comparativamente as argilas *in naturas*. Nos resultados do planejamento fatorial com pontos centrais, constatou-se que as variáveis do processo têm uma influência significativa no processo de hidrociclonagem em relação a cada tipo de minerais acessórios presentes na argila. Após a aplicação da técnica de fluidodinâmica computacional, verificou-se que variando a concentração de sólido da suspensão de alimentação, a geometria do hidrociclone, a vazão e a pressão do duto de alimentação, têm influência nos valores do concentrado da fração argila e da fração silte acumuladas no overflow.

**Palavra Chaves:** Hidrociclone, Argilas Esmectíticas, Planejamento Fatorial, Fluidodinâmica Computacional.



## ABSTRACT

The aim of this work was to study the hydrocyclone process variables bentonite clays for treatment in Paraíba State, using physical, chemical and mineralogical characterization techniques, experimental design and computational fluid dynamics (CFD). First, the clay characterization *in natura* and hydrocyclonation process were carried out, through X-Ray diffraction, chemical analysis and granulometric analysis techniques. Then, factorial planning was performed using central points for modeling, optimization and mean particle diameter simulation. The computational fluid dynamics procedures were performed to model the studied equipment, model validation and perform simulations with values of hydrocyclone process variables that could not be measured in the equipment used. The characterization results showed reduction in the mean equivalent particle size and increase of the clay fraction concentrate in the overflow, as well as a substantial reduction in the percentage of the accessory minerals compared with *in natura* clays. The factorial planning with central points results showed that process variables have a significant influence on the hydrocyclone process related with each type of accessory minerals present in the clay. After the application of the computational fluid dynamics technique, was verified that the variation of solid concentration of the feed suspension, geometry of the hydrocyclone, flow and pressure of the feed duct influence the concentrate of the clay fraction values and silte fraction accumulated in overflow.

Key words: Hydrocyclone, Smectic Clays, Factorial Planning, Computational Fluid Dynamics

## PUBLICAÇÃO

GAMA, A. J. A.; FIGUEIREDO J. M. R.; CARTAXO J. M.; GAMA M. A.; NEVES G. A. Neves. Effects of hydrocyclone process variables for treating bentonite clays. **Cerâmica**, 367 (jul – set, 20A).

GAMA, A. J. A.; FIGUEIREDO, J. M. R.; BRITO A. L. F.; GAMA M. A.; NEVES G. A.; FERREIRA H. C. Factorial design and statistical analysis of smectite clay treatment by hydrocyclone. **Cerâmica**, *in press*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação Esquemática da Estrutura das Lamelas de uma Argila Esmectítica Dioctaédrica .....	23
Figura 2: Representação da Hidratação da Montmorilonita Cálcica e da Montmorilonita Sódica .....	24
Figura 3: Parâmetros Geométricos do Hidrociclone .....	30
Figura 4: Esquema Típico do Fluxo no Interior de um Hidrociclone .....	31
Figura 5: Diagramas Ilustrativos de três formas de Descarga do Underflow .....	32
Figura 6: Esquema Típico do Fluxo no Interior de um Hidrociclone .....	34
Figura 7: Hidrociclone gerado no Desingn Modeler® .....	41
Figura 8: Representação esquemática do Hidrociclone .....	53
Figura 9: Fluxograma da Metodologia usada na Caracterização das Amostras .....	54
Figura 10: Sistema de Purificação de Argilas com uso do Hidrociclone .....	56
Figura 11: Curvas de Distribuição de Tamanho de Partículas .....	59
Figura 12: Curvas de Distribuição de Tamanho de Partículas .....	62
Figura 13: Curvas de Distribuição de Tamanho de Partículas .....	63
Figura 14: Curvas de Distribuição de Tamanho de Partículas .....	64
Figura 15: DRX da Amostra AM1 in natura com e sem Etileno Glicol .....	67
Figura 16: DRX após a Hidrociclonagem .....	69
Figura 17: DRX após a Hidrociclonagem .....	70
Figura 18: DRX após a Hidrociclonagem .....	71
Figura 19: Fluxograma da Metodologia - Diâmetro Médio das Partículas .....	75
Figura 20: Gráfico de Pareto dos efeitos das respostas .....	80
Figura 21: Valores dos Efeitos Principais para o Diâmetro Médio ( $\mu\text{m}$ ) .....	82
Figura 22: Valores Ajustados <i>versus</i> Resíduos: Diâmetro Médio ( $\mu\text{m}$ ) .....	82
Figura 23: Resposta Otimizada dos Fatores: ápex, vórtex e pressão .....	83

Figura 24: Superfície de Contorno: Ápex x Vórtex .....	84
Figura 25: Superfície de Contorno: Pressão x Vórtex .....	84
Figura 26: Fluxograma da Metodologia usada na Modelagem Fenomenológica ....	90
Figura 27: Cotas do Hidrociclone Modelo RWK 42 fabricado pela Netzsch AWK ...	91
Figura 28: Representação Esquemática do Hidrociclone .....	92
Figura 29: Visão Isométrica da Malha do Hidrociclone .....	97
Figura 30: Visão Superior da Malha do Hidrociclone .....	97
Figura 31: Curvas Granulométricas .....	100
Figura 32: Curvas Granulométricas .....	102
Figura 33: Curvas Granulométricas .....	103
Figura 34: Curvas Granulométricas .....	105
Figura 35: Curvas Granulométricas .....	107
Figura 36: Curvas Granulométricas .....	109
Figura 37: Curvas Superpostas da fração de Sólidos Acumulada no Overflow ....	131
Figura 38: Curvas Superpostas da fração de Sólidos Acumulada no Overflow ....	133
Figura 39: Curvas Superpostas da fração de Sólidos Acumulada no Overflow ....	135
Figura 40: Curvas Superpostas da fração de Sólidos Acumulada no Overflow .....	137
Figura 41: Curvas Superpostas da fração de Sólidos Acumulada no Overflow ....	139
Figura 42: Curvas Superpostas da fração de Sólidos Acumulada no Overflow ....	141
Figura 43: Curvas Superpostas da fração de Sólidos Acumulada no Overflow ....	143
Figura 44: Curvas Superpostas da fração de Sólidos Acumulada no Overflow ....	145
Figura 45: Curvas Superpostas da fração de Sólidos Acumulada no Overflow ....	147
Figura 46 - Curvas Superpostas da fração de Sólidos Acumulada no Overflow ....	149
Figura 47 - Curvas Superpostas da fração de Sólidos Acumulada no Overflow ....	151

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Configurações do Hidrociclone utilizada neste Trabalho .....	58
Tabela 2: Valores da Distribuição Granulométrica .....	60
Tabela 3: Composição Química das Argilas AM1 in natura e após a Hidrociclonagem .....	65
Tabela 4: Matriz do Planejamento 2 <sup>3</sup> com Três Pontos Centrais .....	74
Tabela 5: Análise de Variância (ANOVA) para 3 fatores .....	76
Tabela 6: Fatores e Níveis dos Fatores .....	78
Tabela 7: Análise de Variância (ANOVA) para três fatores do diâmetro médio (µm). .....	79
Tabela 8: Diâmetro Médio das Partículas (µm) .....	81
Tabela 9: Condições Operacionais Estudadas.....	91
Tabela 10: Cotas do Hidrociclone Estudado .....	92
Tabela 11: Cotas do Hidrociclone Estudado .....	92
Tabela 12: Valores das Variáveis do Hidrociclone utilizados no Teste de Malha .....	93
Tabela 13: Simulação - Malha Grosseira .....	94
Tabela 14: Simulação - Malha Mediana .....	95
Tabela 15: Simulação - Malha Refinada .....	95
Tabela 16: Dados do Teste de Malha .....	96
Tabela 17: Variáveis utilizadas nas Simulações para Validação do Modelo .....	98
Tabela 18: Valores Experimentais e do CFX: ápex 3 mm, vórtex 5,5 mm e pressão 3 bar .....	99
Tabela 19: Valores Experimentais e do CFX: ápex 3 mm, vórtex 5,5 mm e pressão de 4 bar .....	101
Tabela 20: Valores Experimentais e do CFX, ápex 3 mm, vórtex 6,0 mm e pressão de 3 bar .....	103

Tabela 21: Valores Experimentais e do CFX, ápex 3 mm vórtex 6,0 mm e pressão de 4 bar .....	104
Tabela 22: Valores Experimentais e do CFX, ápex 5 mm, vórtex 6,0 mm e pressão de 3 bar .....	106
Tabela 23: Valores Experimentais e do CFX, ápex 5 mm vórtex 6,0 mm e pressão de 4 bar .....	108
Tabela 24: Eficiência do Overflow e do Underflow .....	110
Tabela 25: Variáveis das Simulações realizadas com modelo CFX validado .....	111
Tabela 26: Simulação do Modelo CFX: concentração de sólidos no fluido de alimentação 4% .....	112
Tabela 27: Simulação do Modelo CFX: concentração de sólidos no fluido de alimentação 8% .....	113
Tabela 28: Simulação do Modelo CFX: concentração de sólidos no fluido de alimentação 16% .....	114
Tabela 29: Simulação do Modelo CFX: ápex 5,0 mm vórtex 7,0 mm e pressão de 4 bar .....	115
Tabela 30: Simulação do Modelo CFX: ápex 5,0 mm vórtex 7,0 mm e pressão de 10 bar .....	116
Tabela 31: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 3 bar..	117
Tabela 32: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 4 bar..	118
Tabela 33: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 10 bar	119
Tabela 34: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 12,5 bar .....	120
Tabela 35: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 15 bar	120
Tabela 36: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 20 bar	121
Tabela 37: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 30 bar	122
Tabela 38: Simulação do Modelo CFX: ápex 4mm, vórtex 5 mm e pressão 10,5 bar .....	124

Tabela 39: Simulação do Modelo CFX: ápex 4mm, vórtex 5 mm e pressão 11 bar	125
Tabela 40: Simulação do Modelo CFX: ápex 2mm, vórtex 6 mm e pressão 10 bar	126
Tabela 41: Simulação do Modelo CFX: ápex 6mm, vórtex 6 mm e pressão 10 bar	127
Tabela 42: Simulação do Modelo CFX: ápex 6mm, vórtex 4,5 mm e pressão 10 bar .....	128
Tabela 43: Valores de $R^2$ , $R$ , $n$ e $D_0$ .....	130
Tabela 44: Fração Acumulada no Overflow nas Simulações 1, 2 e 3 .....	131
Tabela 45: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação, $D_0$ e $n$ : simulações 1, 2 e 3 .....	132
Tabela 46: fração acumulada no overflow nas simulações 4 e 5 .....	133
Tabela 47: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação, $D_0$ e $n$ : simulações 4 e 5 .....	134
Tabela 48: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 6 e 7 .....	135
Tabela 49: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação, $D_0$ e $n$ : simulações 6 e 7 .....	136
Tabela 50: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 7 e 8 .....	137
Tabela 51: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação, $D_0$ e $n$ : simulações 7 e 8 .....	138
Tabela 52: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 8 e 9 .....	139
Tabela 53: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação, $D_0$ e $n$ : simulações 8 e 9 .....	140
Tabela 54: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 9 e 10 .....	141
Tabela 55: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação, $D_0$ e $n$ : simulações 9 e 10 .....	142
Tabela 56: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 10 e 11 .....	142
Tabela 57: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação, $D_0$ e $n$ : simulações 10 e 11 .....	144
Tabela 58: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 11 e 12 .....	144

Tabela 59: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação, $D_0$ e n: simulações 11 e 12 .....	146
Tabela 60: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 16 e 17 .....	146
Tabela 61: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação, $D_0$ e n: simulações 16 e 17 .....	147
Tabela 62: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 13 e 14 .....	148
Tabela 63: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação, $D_0$ e n: simulações 13 e 14 .....	149
Tabela 64: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 14 e 15 .....	150
Tabela 65: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação, $D_0$ e n: simulações 14 e 15 .....	151



## NOMENCLATURA

Símbolo	Significado	Unidade
$C_{scale}$	Constante de correção de curvatura	[–]
$c_{r1-3}$	Constantes de correção de curvatura	[–]
$d_p$	Diâmetro de partícula	[m]
$D$	Tensor taxa de deformação	[s <sup>-1</sup> ]
$e$	Coefficiente de restituição partícula-partícula	[–]
$E_G$	Eficiência granulométrica	[–]
$E_T$	Eficiência total	[–]
$f_r$	Força da curvatura de linhas de fluxo	[–]
$f_{rotation}$	Função de força da curvatura de linhas de fluxo	[–]
$F_1$	Função de mistura do modelo SST	[–]
$G$	Aceleração da gravidade	[m/s <sup>2</sup> ]
$I$	Índice das fases de fluxos individuais	[–]
$k$	Energia cinética turbulenta	[Jkg <sup>-1</sup> ]
$P$	Pressão	[Nm <sup>-2</sup> ]
$P_k$	Produção de cisalhamento por turbulência	[kgm <sup>-1</sup> s <sup>-3</sup> ]
$r$	Coordenada radial	[m]
$S$	Termo de fonte	[–]
$S'$	Tensor taxa de deformação	[s <sup>-1</sup> ]
$T$	Temperatura granular	[m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> ]
$U$	Velocidade	[m/s]
$v$	Vetor velocidade	[ms <sup>-1</sup> ]
$W$	Vazão mássica de sólidos	[kgs <sup>-1</sup> ]
$z$	Coordenada axial	[m]
Letras Gregas		
$\alpha_3$	Constante do modelo de turbulência SST	[–]
$\alpha$	fração de volume	[–]
$\beta'$	Constante do modelo de turbulência SST	[–]
$\varepsilon_i$	Fração volumétrica da fase	[–]

$\varepsilon'$	Taxa de dissipação de turbulência	$[Jkg^{-1}s^{-1}]$
$\phi$	Variável genérica	$[-]$
$\mu_i$	Viscosidade dinâmica da fase "i"	$[kgm^{-1}s^{-1}]$
$\mu_t$	Viscosidade turbulenta	$[m^2s^{-1}]$
$\rho_i$	Densidade da fase "i"	$[kgm^{-3}]$
$\rho$	Densidade	$[kgm^{-3}]$
$\nu\sigma_{k3}$	Constante do modelo de turbulência SST	$[-]$
$\sigma_{\omega 2-3}$	Constante do modelo de turbulência SST	$[-]$
$\omega$	Frequência turbulenta	$[s^{-1}]$
$\Omega$	Tensor de vorticidade	$[ms^{-2}]$

## SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT .....	8
PUBLICAÇÃO .....	9
LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABELAS .....	12
NOMENCLATURA .....	16
1. INTRODUÇÃO .....	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	22
2.1. Bentonitas .....	22
2.2. Tratamento de Argilas.....	25
2.3. Hidrociclone .....	27
2.4. Fluidodinâmica Computacional.....	37
2.4.1. Metodologia da Simulação .....	41
2.4.2. Otimização de Hidrociclones.....	44
2.5. Estado da Arte .....	46
3. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	52
3.1. Materiais Utilizados.....	52
3.2. Metodologia .....	52
3.2.1. Análise Granulométrica por Difração de Laser (AG) .....	54
3.2.2. Análise Química por Fluorescência de Raios X (EDX).....	55
3.2.3. Difração de Raios X (DRX) .....	55
3.2.4. Hidrociclonagem.....	55
3.3. Resultados e Discussão .....	59
3.3.1. Granulometria .....	59
3.3.2. Composição Química .....	64

3.3.3. Difração de Raios X .....	67
3.4. Conclusões Parciais - Caracterização .....	72
4. PLANEJAMENTO e OTIMIZAÇÃO do DIÂMETRO MÉDIO das PARTÍCULAS....	74
4.1. Análise e Discussão dos Resultados .....	78
4.2. Conclusões Parciais - Diâmetro Médio das Partículas. ....	85
5. ANÁLISE FENOMENOLÓGICA.....	86
5.1. Modelagem Matemática.....	86
5.2. Metodologia .....	90
5.3. Estudo de Casos .....	90
5.4. Geometria .....	91
5.5. Teste de Malha .....	93
5.6. Análise e Discussão dos Resultados.....	98
5.6.1. Validação do Modelo.....	98
5.6.2. Conclusões Parciais - Validação do Modelo .....	109
5.6.3. Aplicações do Modelo CFD.....	111
5.6.3.1. Alterações na Concentração de Sólidos.....	111
5.6.3.2. Variações na Pressão do Duto de Alimentação.....	115
5.6.3.3. Mudanças na Geometria do Hidrociclone.....	125
5.6.4. Tamanho Característico das Partículas e Eficiência Total do Overflow .	128
5.6.4.1. Variações na Concentração de Sólidos.....	130
5.6.4.2. Mudanças da Pressão do Duto de Alimentação.....	132
5.6.4.3. Alterações na Geometria do Hidrociclone .....	148
5.7. Conclusões Parciais - Análise Fenomenológica .....	152
6. CONCLUSÕES FINAIS.....	155
7. SUGESTÃO DE TRABALHOS.....	157
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	158

## 1. INTRODUÇÃO

Bentonitas são argilas sedimentares formadas pela desvitrificação e subsequente alteração química de tufos ou cinzas vulcânicas, constituídas essencialmente pelo argilomineral montmorilonita pertencente ao grupo das esmectíticas (Santos, 1992).

As suas características específicas, como elevada área superficial, capacidade de troca de cátions e hidratação, tornam as bentonitas alvo de uma variedade de aplicações industriais (Murray, 2006), sendo utilizadas, como ligantes de areias em moldes para fundição, em fluidos de perfuração, dentre outras aplicações. (Santos, 1992; Silva e Ferreira, 2008; Pereira *et al.*, 2014).

Os maiores depósitos de argilas bentoníticas do mundo estão concentrados nos EUA, sendo que, o Brasil se destaca entre os dez principais produtores mundiais, explorando depósitos relativamente pequenos, sendo os mais importantes localizados no Nordeste, no Município de Boa Vista, no Estado da Paraíba (DNPM, 2012).

Após cinquenta anos de sua descoberta, devido ao processo de industrialização acelerado e desordenado das jazidas de argilas bentoníticas localizadas no Município de Boa Vista/PB, atualmente há uma exaustão das variedades de argilas de melhor qualidade. Nesse contexto, novas ocorrências de argilas bentoníticas no Estado da Paraíba estão sendo estudadas com destaque para os depósitos encontrados nos Municípios de Cubatí, Olivedos, Pedra Lavrada e Sossego (Menezes *et al.*, 2009; Pereira *et al.*, 2015 e Silva *et al.*, 2015)

Estudos preliminares realizados por Cardoso, 2009; Figueiredo *et al.*, 2014 e Pereira, 2014; evidenciaram que as argilas desses novos depósitos apresentam em sua composição elevadas quantidades de minerais acessórios como sílica, carbonatos, mica, feldspato e o caulinita. Nestes estudos os autores concluíram que os elevados teores de contaminantes restringem em muito suas aplicações industriais, e apontam como provável solução para o tratamento dessas argilas o uso de hidrociclonagem como método eficiente de separação.

Hidrociclones são equipamentos destinados à separação de suspensões sólido-líquido ou líquido-líquido. O princípio de separação é a sedimentação centrífuga, em que as partículas em suspensão são submetidas a um campo

centrífugo que provoca sua separação do fluido (Sousa *et al.*, 2000; Barbosa *et al.*, 2003).

Pesquisas sobre tratamento de minerais foram intensificadas nos últimos anos, com destaque para os trabalhos de: Mailapalli *et al.*, 2007; Martins, 2009; Cruz e Zanini, 2010; Farghaly *et al.*, 2010 e Golyk *et al.*, 2011; Danilo, 2012; Vieira *et al.*, 2014; Ghodrat *et al.*, 2014. Esses estudos concluíram que o hidrociclone é um equipamento compatível para o tratamento de minerais.

Com base nos aspectos acima citados, dois fatores motivaram o desenvolvimento deste trabalho: i) à necessidade da realização de estudos sobre as novas ocorrências de argilas bentoníticas no Estado da Paraíba, atinente às impurezas, em nível industrial e em instituições de pesquisa no Brasil, objetivando novas aplicações industriais; ii) a escassez de estudos empregando técnicas de planejamento experimental, de superfície de resposta e de fluidodinâmica computacional para modelagem, otimização e simulação das variáveis do processo de hidrociclonagem.

Deste modo esta tese tem como objetivo estudar o tratamento de argilas esmectíticas, oriundas de novos depósitos do Estado da Paraíba, situados no Município de Cubatí, usando hidrociclone, empregando técnicas planejamento fatorial, superfície de resposta e de fluidodinâmica computacional.

Na busca desse objetivo foram realizados os seguintes procedimentos: i) caracterização física, química e mineralógica da argila bentoníticas *in natura* e após o processo de hidrociclonagem; ii) análise da purificação (tratamento) por hidrociclonagem das argilas bentoníticas; iii) modelagem, otimização e simulação do diâmetro médio das partículas, utilizando técnicas de planejamento fatorial; iv) modelagem, otimização e simulação do processo de hidrociclonagem, por meio de técnicas de fluidodinâmica computacional; v) estudo das variáveis do hidrociclone em condições numéricas diferentes das possíveis experimentalmente.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Bentonitas

As argilas são definidas como sendo um material natural, terroso, de granulação fina e quando umedecidas com água apresentam plasticidade, quimicamente são formadas por silicatos de alumínio, ferro e magnésio que recebem a denominação de argilominerais (Santos, 1992).

As argilas bentoníticas receberam essa denominação devido à sua localização, como primeiro depósito comercial de uma argila plástica, encontrada em Fort Benton, no Estado de Wyoming, EUA, em 1897, onde essa argila tinha uma propriedade específica e peculiar de aumentar várias vezes o seu volume inicial na presença de água e formar géis tixotrópicos em meios aquosos com concentrações muito baixas em torno de 2%. Para esta argila foi proposta a denominação de "taylorite", sugerindo-se em seguida "bentonita", uma vez que a primeira denominação já era utilizada (Souza Santos, 1992; Ferreira *et al.*, 2008).

O Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (Silva, 2013), utiliza o termo bentonita de forma genérica, para designar as argilas com teor de argilominerais esmectínicos variando de 55 a 70%, independente de sua origem ou ocorrência.

As argilas bentoníticas são materiais constituídos por um, ou mais, argilominerais esmectínicos e alguns minerais acessórios; principalmente quartzo, cristobalita, micas, feldspatos e alguns outros argilominerais, como a caulinita. Têm partículas de tamanhos que variam de 2 $\mu$ m a tamanhos bastante pequenos como 0,1 $\mu$ m de diâmetro, com tamanho médio de 0,5 $\mu$ m e com formato de placas ou lâminas (Paiva *et al.*, 2007; Ferreira *et al.*, 2008 e Silva *et al.*, 2008).

A estrutura dos argilominerais montmorilonínicos é composta por duas folhas tetraédricas de sílica (SiO<sub>2</sub>) com uma folha octaédrica central de alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), que são unidas entre si por átomos de oxigênio comuns a ambas as folhas, conforme apresentado na Figura 1 (Porto e Aranha, 2010; Tonnesen *et al.*, 2012).

Neste tipo de estrutura, as folhas de tetraedros e folhas diferentes encontram-se adjacentes, enquanto os átomos de oxigênio localizam-se em posições opostas, levando a uma fraca ligação entre as camadas. Além disso, existe forte potencial repulsivo na superfície das camadas, resultante do desbalanceamento elétrico (Tonnesen *et al.*, 2012).

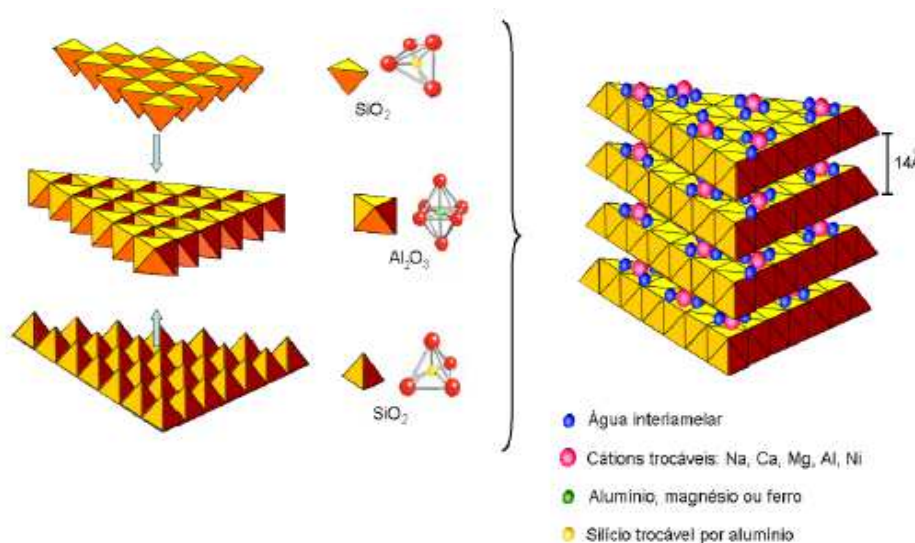


Figura 1: Representação esquemática da estrutura das lamelas de uma argila esmectítica dioctaédrica (Martins, 2009).

Substituições isomórficas na folha tetraédrica (em que o  $\text{Si}^{4+}$  pode ser substituído por  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) e na folha octaédrica (em que o  $\text{Al}^{3+}$  pode ser trocado por cátions  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ) resultando num desbalanceamento elétrico que é compensado por cátions, como  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , que se posicionam entre as lamelas e são intercambiáveis, dando origem às denominações sódica e cálcica das bentonitas. Estes dois fatores contribuem para o aumento da distância entre as camadas quando em presença de água (Souza Santos, 1989; Sousa, 2010 e Tonnesen *et al.*, 2012).

Entretanto, como o íon  $\text{Na}^+$  tem maior facilidade de hidratação que o íon  $\text{Ca}^{2+}$ , assim, quando as lamelas têm suas cargas compensadas pelo íon sódio, de menor valência ficam mais afastadas devido a maior energia de repulsão, permitindo a penetração de uma maior quantidade de água no espaço entre as lamelas (Baltar *et al.*, 2003). Esta diferença está mostrada na Figura 2.



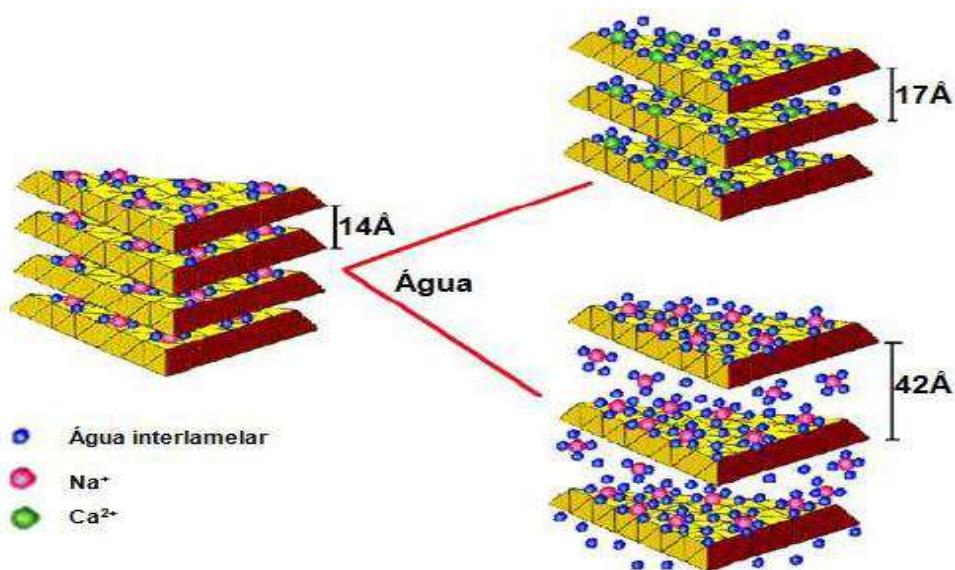


Figura 2: Representação da Hidratação da montmorilonita cálcica e da montmorilonita sódica (Martins, 2009).

Os argilominerais esmectíticos exibem uma alta capacidade de troca de cátions (CTC), isto é, os íons fixados na sua superfície, entre as camadas e dentro dos canais do retículo cristalino podem ser trocados numa reação química por outros íons presentes em uma solução aquosa, sem que isto venha trazer modificação em sua estrutura cristalina (Odom, 1984). A CTC desses materiais varia de 80 a 150 meq/100g, o valor da CTC nos demais argilominerais geralmente não ultrapassam 40 meq/100g (Souza Santos, 1989).

As argilas esmectíticas admitem grandes modificações em sua microestrutura, permitindo obter propriedades específicas, fazendo com que esses materiais tenham uma imensa gama de usos industriais (Silva *et al.*, 2012).

Os principais usos das bentonitas podem ser divididos em três categorias. Na primeira estão incluídas as aplicações como em fundições, materiais de vedação em engenharia civil, pelletização de minérios de ferro e em fluidos de perfuração, sendo estas as que apresentam maior consumo. Na segunda, estão incluídas as aplicações de menor consumo, como em tintas, adesivos, usos farmacêuticos, cosméticos, como cargas e no tratamento de águas. E na terceira categoria, estão incluídas as novas tendências, como nanocompósitos, engenharia de nanopartículas e heteroestruturas porosas (Lagaly e Ziesmer, 2003).

Atualmente, o mercado de bentonita está muito concentrado nos EUA, sendo considerado o maior produtor de bentonitas do mundo, e o Brasil figura entre os dez principais produtores mundiais explorando depósitos relativamente

pequenos, sendo que os mais importantes estão localizados no Nordeste, no Município de Boa Vista, no Estado da Paraíba, representando cerca de 90% da produção nacional.

No entanto, o elevado volume de extração de forma desordenada dessas jazidas por mais de 50 anos ocasionou o esgotamento das variedades de boa qualidade (Menezes *et al.*, 2009; Menezes *et al.*, 2010). Devido a este processo, houve a necessidade de descobrir novos depósitos, mas as argilas obtidas apresentaram em sua constituição elevadas quantidades de quartzo, caulinita, mica e carbonatos. A presença desses minerais acessórios compromete em muito sua aplicação industrial, principalmente em uso mais nobre (Menezes *et al.*, 2009; Figueiredo *et al.*, 2014 e Pereira, 2014).

## 2.2. Tratamento de Argilas

Vários estudos vêm sendo realizados com objetivo de desenvolver metodologias para o tratamento das argilas bentoníticas, a alguns anos (Mehra e Jackson, 1960, e, Leite *et al.*, 2000), dentre os quais podemos citar:

Totten *et al.*, 2002, estudaram o tratamento de argilas baseado nas diferentes densidades dos minerais, consistindo em permitir a flutuação de soluções ou solventes com densidades superiores à de uma argila bentonita. Neste estudo foi proposta a utilização de alguns solventes orgânicos tais como tetrabrometo de etano ou bromofórmio. Entretanto, esta técnica de tratamento não é viável comercialmente devido ao seu custo elevado.

Rodrigues *et al.*, 2007, estudaram o tratamento de bentonita para remoção de matéria orgânica, através da adição do peróxido de hidrogênio (água oxigenada), em uma dispersão de bentonita natural com uma solução tampão de pH cinco. Os resultados evidenciaram que a utilização desta técnica é eficiente no tratamento de matérias orgânicas.

Zanini *et al.*, 2008, concluíram nos seus estudos sobre nanocompósitos que os elementos contaminantes podem afetar a intercalação das moléculas de polímeros nas camadas de argila organofílica, podendo permanecer na forma de

aglomerados na matriz polimérica, causando perda de propriedades mecânicas, bem como ativar a degradação da matriz polimérica por possuírem elementos como ferro, entre outros.

Ferreira *et al.*, 2008, estudaram o processo de sedimentação seletiva para tratamento de argilas. O método consiste em separar a fração argila que permanece em suspensão da fração não argilosa que sedimenta, juntamente com partículas argilosas não dispersas. Os resultados mostraram notáveis melhorias nas propriedades reológicas, decorrente do tratamento das argilas. Esta técnica apresenta baixo custo, porém necessita de um elevado tempo para sua correta execução.

Zanini *et al.*, 2008, estudaram uma técnica de purificação de argilas bentoníticas para aplicação em nanocompósitos poliméricos. A técnica foi a elutriação, baseada na lei de Stokes. Este processo consiste em separar partículas mais finas e mais leves das mais grossas e pesadas em uma mistura por meio de uma corrente ascendente de um fluido, de modo que as partículas mais leves são arrastadas no sentido do fluxo. Esta técnica apresenta alto custo.

Dentre os métodos propostos na bibliografia está o CBD (ditionito-citrato-bicarbonato) para retirada de ferro que é indesejável para a produção de nanocompósitos poliméricos, sem modificar a estrutura do argilomineral, entretanto foram detectadas algumas alterações na estrutura do argilomineral com o uso deste método (Jones, 2005).

Outra técnica de tratamento de argilas bentoníticas é a patente da AMCOL (“American Colloid Corporation”) que propõe o uso de argilas com 90% de suas partículas com diâmetro de 200  $\mu\text{m}$ . A argila seca é misturada com água em um blunger (misturador de argila com água), onde se separam as impurezas grossas por sedimentação na qual são retirados os detritos por um funil no fundo do tanque. O restante da barbotina é transportado por uma bomba para um tanque de alimentação de diversos hidrociclones que eliminam impurezas com diâmetro superior a 50 $\mu\text{m}$ . A mistura tratada contendo de 3 a 70% de argila e é alimentada para uma coluna de troca de cátions, para substituição dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$  por  $\text{Na}^+$ . Nesta fase, mais de 90% do volume das partículas têm diâmetro inferior a 40  $\mu\text{m}$ , com tamanho médio de partícula menor que 7  $\mu\text{m}$ . Após a troca de cátions é obtida

argila sódica com pureza de 95% de montmorilonita sódica. Posteriormente a argila é centrifugada e seca em spray-dryer (secagem por aspersão).

Gong *et al.*, 2016, estudaram a influência do tempo de moagem, concentração do dispersante, velocidade da centrífuga na purificação para o tratamento da bentonita. Estes pesquisadores trabalharam com um método baseado em princípios simples de física, purificaram o composto por moagem, além de adotar dispersão e centrifugação. Os resultados tiveram uma produtividade satisfatória para aplicação da bentonita em produtos cosméticos.

O processo de tratamento de argilas vem sendo empregado em bentonitas como uma etapa necessária para garantir reprodutibilidade nos resultados e, assim poder ser usada com sucesso na preparação de diversos usos industriais (Leite *et al.*, 2011).

### **2.3. Hidrociclone**

A primeira patente do hidrociclone foi datada em 1891 por Betney, quando foi empregado na remoção de areia da água. Os hidrociclones permaneceram com o uso pouco difundido durante algumas décadas, ficando restrito apenas a algumas atividades. Sua utilização industrial só teve início a partir de 1940, após a Segunda Guerra Mundial, quando os hidrociclones começaram a ser empregados nas indústrias de extração e processamento de minérios. Desde então, milhares de hidrociclones foram instalados e hoje esses equipamentos são considerados padrões em muitas empresas (Soccol *et al.*, 2007).

As principais aplicações do hidrociclone são:

- i) na indústria papelreira é utilizado para remoção de areias;
- ii) na perfuração de poços de petróleo é usado para separar fragmentos de rocha na lama de perfuração;
- iii) no beneficiamento de minérios é usado na classificação e separação das partículas;
- iv) no tratamento de rejeitos e na recuperação e purificação de líquidos.

Seu uso representa uma ferramenta bastante eficiente e de custo acessível

para o tratamento de argilas naturais em escala industrial, separando-se as frações mais grosseiras, relativas à presença principalmente de minerais acessórios, das frações mais finas, constituídas do argilomineral.

A utilização de hidrociclone na separação de alta qualidade é frequentemente limitada devido a diferentes propriedades da suspensão de alimentação, concentrações de sólidos e distribuições do tamanho de partícula. Especificamente no beneficiamento da bentonita, o tamanho de partícula é a maior limitação (Schneider M., e, Neege Th, 2004).

Ao entrar no hidrociclone, a suspensão de alimentação dotada de pressão, passa a ter um movimento rotacional descendente, em direção ao orifício de saída do efluente de fundo. Como esta abertura é relativamente pequena, apenas parte da suspensão pode sair e com o efluente saem às partículas mais grosseiras presentes na suspensão admitida no hidrociclone. O restante da suspensão que não saiu do equipamento é reencaminhado, formando um vórtice ascendente interno possibilitando-se, com isso, sua saída pelo orifício de saída do efluente sobrenadante, o que apresenta partículas finas em suspensão (Flintoff *et al.*, 1987).

Hidrociclones são equipamentos que utilizam o princípio de separação por ação centrífuga para remover ou classificar partículas sólidas de um líquido, baseado no movimento operacional de um ciclone, sendo obtidas altas velocidades rotacionais quando a suspensão é injetada tangencialmente em sua parte superior. A suspensão adquire um movimento espiral à medida que flui para baixo na porção exterior da seção cônica. Parte do fluxo descendente sai através do *underflow* arrastando consigo os materiais pesados e/ou mais grossos, enquanto que o resto inverte a sua direção vertical e gira para cima, saindo pelo *overflow*. Como a forma e o tamanho do hidrociclone são muito importantes para seu desempenho, várias alterações geométricas têm sido estudadas em hidrociclones e ciclones de diferentes famílias com o objetivo de melhorar o desempenho do equipamento (Wang *et al.*, 2006, e, Oliveira *et al.*, 2009).

Os hidrociclones constituem uma classe de equipamentos destinados à separação de suspensões sólido-líquido ou líquido-líquido. O princípio de separação é a sedimentação centrífuga, em que as partículas em suspensão são submetidas a um campo centrífugo que provoca sua separação do fluido (Sousa *et al.*, 2000; e Barbosa *et al.*, 2003).

O equipamento consiste de uma parte cônica ligada a uma parte cilíndrica, na qual existe uma entrada tangencial para a suspensão de alimentação. O fluxo de saída é dividido em duas correntes: uma superior, que leva ao *overflow* do classificador e transporta as partículas mais leves e uma inferior, que leva ao *underflow* do classificador, transportando as partículas mais pesadas (Soccol, 2003).

Por não apresentarem partes móveis, requerem baixo investimento em instalação e manutenção e são simples de operar, sendo amplamente utilizados na indústria química, mineral, têxteis e petroquímico.

No que tange sua aplicação para tratamento de minérios e materiais argilosos, o processo de hidrociclonagem tem se mostrado eficiente e viável. O processo remove as partículas maiores e de maior densidade, relativas à presença principalmente de minerais acessórios, das partículas menores e de menor densidade, constituídas pelo argilominerais (Soccol *et al.*, 2007).

Os processos físicos de separação líquido-sólido são baseados na diferença de densidade evidenciada pela força centrífuga aplicada ao sistema. Classicamente, a separação das partículas é compreendida e governada através do balanço da força centrífuga, responsável pelo direcionamento de partículas sólidas à parede do hidrociclone aderindo um movimento descendente devido à força gravitacional, somada ao balanço da força de arrasto, responsável pelo direcionamento do fluido menos denso ao topo do equipamento (Cullivan *et al.*, 2004).

Atualmente hidrociclones têm sido utilizados para a separação líquido-líquido (Smyth & Thew, 1996), gás-líquido (Marti, 1996) e sólido-sólido (Klima & Kim, 1998).

À medida que os hidrociclones foram utilizados na separação mecânica de partículas sólidas dispersas de uma suspensão, várias aplicações surgiram em indústrias minerais, químicas e farmacêuticas (Stehens *et al.*, 2009).

Hidrociclone é uma alternativa eficiente e econômica na separação de partículas motivada por: menor custo de manutenção, elevada disponibilidade, simplicidade de operação, capacidade elevada em relação ao seu volume e à área ocupada. Comparando o hidrociclone com outros dispositivos de separação mecânica, o uso de hidrociclones é uma alternativa menos onerosa, necessitando unicamente de energia para superar a queda de pressão de encontrada durante a operação (Shuetz *et al.*, 2004).

A eficiência de separação de um hidrociclone depende basicamente de dois fatores: a geometria do equipamento e as condições físico-operacionais. No que diz respeito à geometria, são observadas combinações específicas de modelo para cada finalidade (Wang e Yu, 2007).

Dentre os parâmetros geométricos que exercem uma maior influência no desempenho desses equipamentos podemos citar: o diâmetro do hidrociclone, o diâmetro de vórtex-finder, a área da abertura de entrada, o diâmetro do ápex e o ângulo do cone. A Figura 3 apresenta cada um destes parâmetros. Por outro lado, os parâmetros físico-operacionais observados com relação à eficiência são: a pressão no duto de alimentação, a vazão de alimentação, a concentração de sólidos na suspensão de alimentação e a distribuição granulométrica das partículas na alimentação.

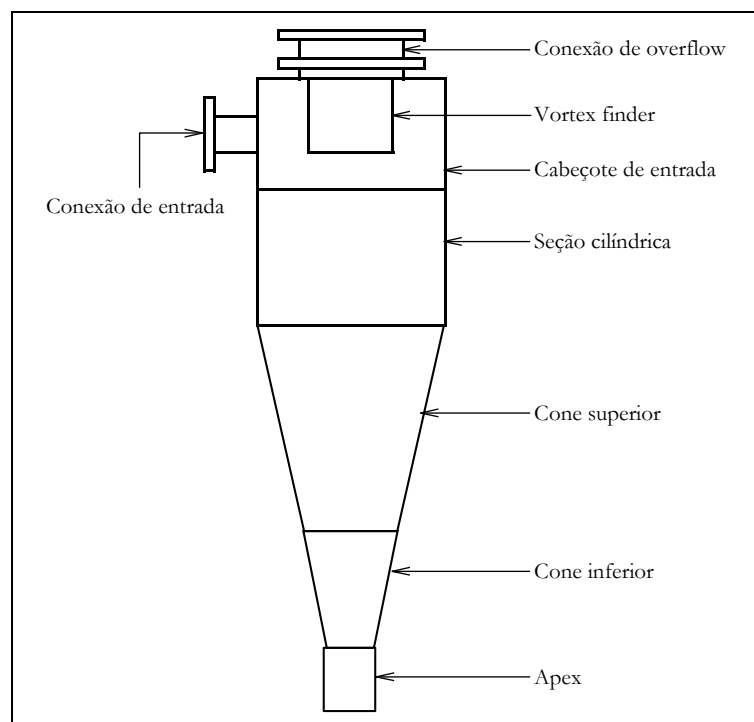


Figura 3: Parâmetros Geométricos do Hidrociclone. (Martins, 2009).

Pelo exposto, dentre os parâmetros que afetam o desempenho dos hidrociclones estão incluídos a pressão de entrada (bar), o diâmetro de vórtex (mm), o diâmetro do ápex (mm) e o percentual de sólidos na suspensão de alimentação.

A otimização destes parâmetros requer inúmeros testes. O número total de experimentos necessários pode ser reduzido dependendo da técnica de planejamento experimental adotada.

Um hidrociclone é constituído de duas saídas: uma menor, inferior, denominada de ápex, *underflow*, e uma superior, denominada de vórtex, *overflow*. O hidrociclone opera como um classificador de partículas, com partículas grandes no *underflow* e as pequenas no *overflow* (Tiller *et al.*, 2009). Na Figura 4 é mostrado o esquema típico de fluxo no interior do hidrociclone.

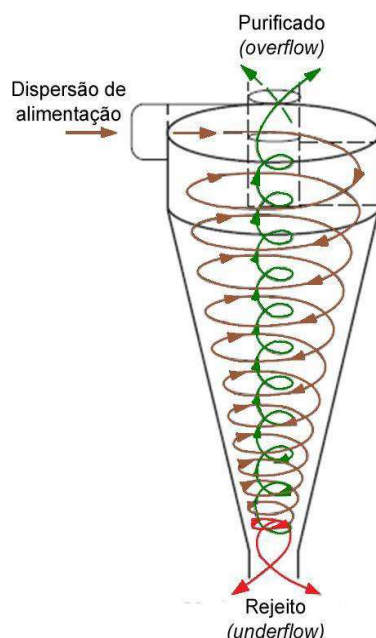


Figura 4: Esquema típico do fluxo no interior de um Hidrociclone (Fonte: Bergstrom e Vomhoff, 2007)

Svarovsky, 2000, descreve que os hidrociclones são equipamentos constituídos de uma parte cônica ligada a uma cilíndrica, na qual existe uma entrada tangencial para a suspensão de alimentação (duto de alimentação), como mostrado na Figura 4, na parte superior o hidrociclone apresenta um tubo para saída de suspensão diluída (duto do *overflow*) e na parte inferior há um orifício de saída da suspensão concentrada (duto do *underflow*).

Dependendo do diâmetro do ápex têm-se três formas diferentes na descarga do produto no *underflow* em função da concentração do *overflow*: i)



descarga em cordão: para alta concentração no *underflow* algumas partículas já classificadas no interior do hidrociclone retornam ao *overflow* afetando o desempenho da separação. Este tipo de descarga ocorre quando o diâmetro do ápex é pequeno; ii) descarga em spray ou guarda-chuva: conhecido como descarga tipo guarda chuva. O *underflow* é muito diluído e parte das partículas finas é arrastada com a água de diluição prejudicando a classificação. Esse tipo de descarga ocorre quando o diâmetro do ápex é muito grande; iii) descarga em cone ou chuveiro: situação em que o ápex está com diâmetro intermediário e o produto sai com concentração média. As três situações estão apresentadas na Figura 5. O tipo de descarga ideal é aquele que atende às necessidades do processo específico e deve ser avaliado caso a caso. O tipo de descarga mais utilizado é a descarga em cone, sendo esta a posição adequada à classificação perfeita (Cruz *et al.*, 2011).

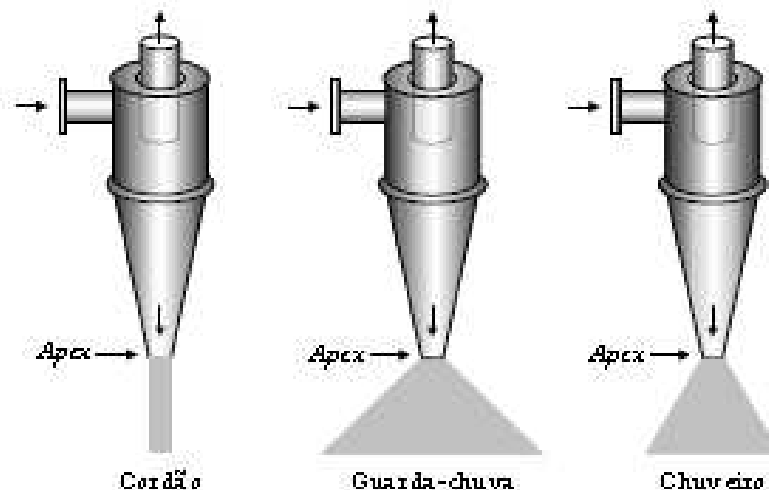


Figura 5: Diagramas ilustrativos de três formas de descarga do Underflow do Hidrociclone (Fonte: Sampaio *et al.*, 2007)

O princípio de separação dos hidrociclones é o mesmo das centrífugas, ou seja, por sedimentação centrífuga, na qual as partículas em suspensão são submetidas a um campo centrífugo que provoca a separação do fluido. Entretanto, Cruz *et al.*, 2011, relatam que, contrariamente às centrífugas, os hidrociclones não possuem partes móveis, requerendo baixo custo de instalação e manutenção, e simplicidade de operação. Ademais, apresenta alta remoção de sólidos; corte granulométrico variável; equipamento revestido, o que possibilita maior vida útil; versátil e de capacidade elevada.

A eficiência total de separação ( $E_T$ ) de um hidrociclone considera todos os sólidos coletados no *underflow*, independentemente do modo como o hidrociclone esteja separando as partículas, seja pelo arraste que o líquido proporciona, ou pela atuação efetiva do campo centrífugo (Chu *et al.*, 2002, e, Vieira, 2006).

A eficiência total de separação é determinada como sendo o quociente entre a vazão mássica de sólido na base do equipamento  $W_u$ , e a vazão mássica total de sólidos alimentados  $W_a$ , como apresentado na Equação 1 (Chu *et al.*, 2004).

$$E_T = \frac{W_u}{W_a} \quad (1)$$

A eficiência granulométrica ( $E_G$ ), também conhecida por eficiência por tamanho, é uma grandeza relacionada ao poder de separação do hidrociclone em relação a um tamanho específico de partícula e é tipificada com características de probabilidade. A curva de eficiência granulométrica é também chamada de curva de distribuição de probabilidade, porque a curva é uma probabilidade de que partículas com determinado tamanho possam ser separadas na corrente do *underflow* a partir da alimentação de um hidrociclone (Chu *et al.*, 2004).

Portanto, quando se deseja obter o desempenho do hidrociclone para cada diâmetro de partícula analisa-se a eficiência granulométrica.

A eficiência granulométrica é definida como sendo a razão entre as vazões mássicas de sólido no *underflow* pela alimentação  $\varepsilon_u$ , e a vazão total de sólido na alimentação  $\varepsilon_a$ , como apresentado na Equação 2, neste caso para um determinado tamanho de partícula, requerendo a análise granulométrica de sólidos na entrada (Chu *et al.*, 2004).

$$E_G = E_T \frac{d\varepsilon_u}{d\varepsilon_a} \quad (2)$$

O diâmetro de corte ( $d_{50}$ ) do hidrociclone representa uma referência ao poder de classificação de hidrociclones. De acordo com a curva de eficiência granulométrica, o tamanho de partícula relacionado a eficiência granulométrica de

50% é um tamanho com 50% de probabilidade de ser separado, que é denominado de diâmetro de corte. Logo, partículas maiores que o diâmetro de corte terão maior probabilidade de serem coletadas com uma eficiência granulométrica superior a 50%, enquanto as menores provavelmente serão coletadas com uma eficiência abaixo deste patamar (Danilo, 2012).

Nos separadores ciclônicos se a fase contínua for um gás ou vapor o dispositivo é denominado ciclone, se a fase contínua for um líquido o mesmo é denominado hidrociclone, entretanto, o princípio de funcionamento e as principais características de ambos são muito semelhantes (Raposo, 2008).

O desempenho do hidrociclone está relacionado com sua geometria, dentre as variáveis dimensionais podemos citar o diâmetro do duto de alimentação do hidrociclone, diâmetro da entrada, o comprimento do cilindro, o ângulo do cone, os diâmetros de saída e fundo, os quais estão mostrados na Figura 6.

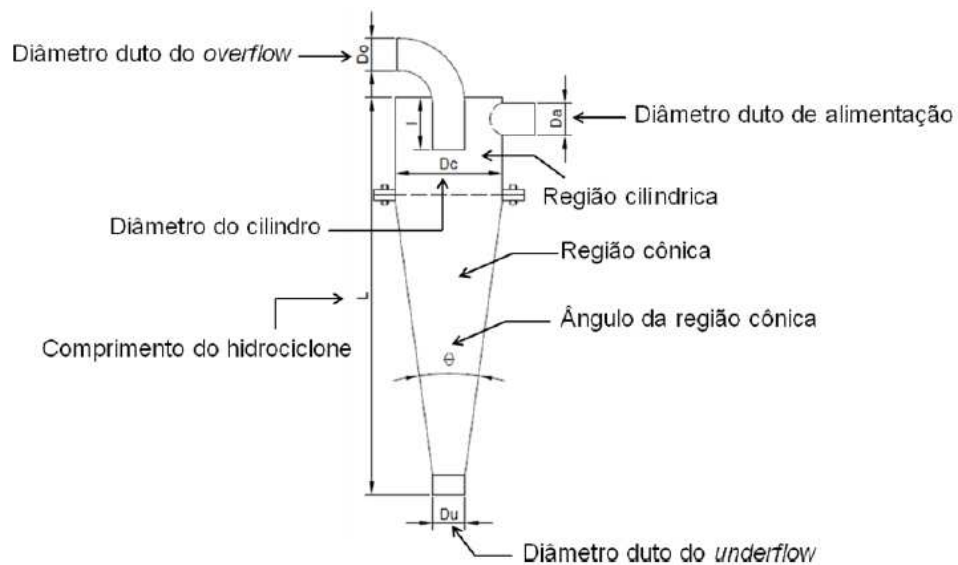


Figura 6: Esquema Típico do Fluxo no Interior de um Hidrociclone (Fonte: Chu et al., 2004).

O diâmetro do duto de alimentação exerce influência no diâmetro de corte da classificação, e o diâmetro interno da seção cilíndrica determina a capacidade do equipamento. A classificação em granulometrias finas requer a utilização de hidrociclones com pequenos diâmetros, pois, quanto maior o diâmetro do hidrociclone, maior será o corte granulométrico da classificação, porque esses

equipamentos proporcionam menor aceleração às partículas, isto é, a força de aceleração é inversamente proporcional ao diâmetro do hidrociclone (Sampaio *et al.*, 2007).

O comprimento da seção cilíndrica e o ângulo de corte são os parâmetros que afetam o tempo de residência da dispersão no hidrociclone. É comum, o uso do comprimento da seção cilíndrica igual ao seu diâmetro, pois o aumento do comprimento da seção cilíndrica eleva o tempo de residência, obtendo-se assim uma classificação mais fina. Para um hidrociclone com seção cilíndrica de diâmetro fixo, a diminuição do ângulo da seção cônica aumenta o comprimento da seção cilíndrica, induzindo um aumento do tempo de residência. Neste caso, a classificação também será mais fina (Sampaio *et al.*, 2007). A Figura 6 mostra as características construtivas de um hidrociclone.

As dimensões do diâmetro do vórtex exercem uma influência significativa sobre a eficiência da classificação. Assim, para um mesmo hidrociclone, o aumento do diâmetro do vórtex provoca acréscimos no diâmetro de corte da classificação e na percentagem de sólidos no *overflow*.

O aumento do diâmetro do ápex diminui o diâmetro de classificação, já a relação inversa é mais limitada, pois as partículas maiores só podem ser descarregadas pelo ápex. Se o diâmetro do ápex for muito pequeno, deverá ocorrer um acúmulo de material grosso no cone aguardando a sua descarga, conseqüentemente, as partículas que já foram rejeitadas pelo vórtex podem retornar ao vórtex e serão descarregadas, o que aumentará o diâmetro da classificação granulométrica.

Quando a operação resulta na descarga no *underflow*, segundo o formato de cordão, denota uma sobrecarga do ápex com partículas grossas ou seu estrangulamento. Nesta situação, essas partículas são forçadas a sair pelo *overflow*, prejudicando de forma expressiva a eficiência da classificação. Por outro lado, a descarga em forma de guarda chuva é decorrente de um ápex muito aberto.

Finalmente, o operador percebe a operação eficiente do hidrociclone quando o *underflow* descarrega na forma de um cone de ângulo pequeno, ou chuveiro, que é a posição adequada à classificação perfeita (Sampaio *et al.*, 2007).

Como variáveis operacionais do hidrociclone têm-se; a pressão disponível na entrada (alimentação) e as diferenças entre esta e as duas saídas de fluidos, ou seja, dois gradientes: a diferença entre a entrada e o rejeito e a diferença entre a

entrada e a saída de topo (Raposo, 2008)

O aumento da pressão de alimentação provoca um acréscimo na capacidade do hidrociclone, que implicará no aumento da velocidade tangencial e, por consequência, estende o mesmo efeito a velocidade angular. Portanto prover maior valor à pressão do duto de alimentação significa oferecer maior chance de decantação centrífuga as partículas menores, diminuindo o diâmetro de corte (Sampaio *et al.*, 2007).

Hassan M. S. e Abdel-Khalek N. A., 1998, estudando amostras de bentonitas egípcia, propuseram um método de processamento pelo esmagamento, atrito, esfregando, seguido por hidrociclonagem. A aplicação deste procedimento simples removeu eficazmente a maioria dos contaminantes como a calcita, dolomita e feldspato. Este processo foi aperfeiçoado por uma série de ácidos e alcalinos no tratamento antes da avaliação da bentonita para fins industriais. A mineralogia, a análise das propriedades químicas e das propriedades físicas do concentrado final e seus produtos obtidos, mostraram que o produto final atende com êxito as especificações para muitos processos industriais.

Nesse *et al.*, 2007, obtiveram um novo sistema de controle de hidrociclone, através de um sensor ótico capaz de detectar a forma das partículas do minério. Estes sinais são transmitidos para o computador, e o circuito atua no hidrociclone através da energia da bomba, da pressão na alimentação e da regulação do fluxo.

Boylu *et al.*, 2010, utilizaram um hidrociclone de estágios múltiplos, para estudar a separação eficiente e produzir produtos de bentonita tratada, para uma grande variedade de utilização. Na caracterização dos produtos, a avaliação completa e adequada só foi possível através da aplicação de ensaios mineralógicos e físico-químicos.

Golyk *et al.*, 2011, estudando a recuperação de caulinita, durante seu beneficiamento, relatam que o princípio físico do hidrociclone inclui duas desvantagens: i) variações nas condições de alimentação conduzem a variações consideráveis no tamanho de corte e separação; ii) a eficiência da classificação é limitada pelos finos, os quais são descarregados em conjunto com a água no *overflow*. Entretanto, outra desvantagem não destacada pelo autor é o elevado custo no processo de secagem da dispersão.

Estudos realizados recentemente por Marques (2014) mostraram que é possível promover a separação granulométrica, com consequente eliminação de contaminantes, evidenciando a eficiência do processo de tratamento com o hidrociclone, comprovado por meio da análise granulométrica e difração de raios X.

#### **2.4. Fluidodinâmica Computacional**

Fluidodinâmica computacional (CFD) é o termo dado ao grupo de técnicas matemáticas, numéricas e computacionais, usadas para obter, visualizar e interpretar soluções computacionais para as equações de conservação de grandezas físicas de interesse de um dado escoamento. A origem dessas equações de conservação é a teoria de fenômenos de transporte. Portanto pode-se dizer que CFD é o conjunto das técnicas de simulação computacional usadas para prever os fenômenos físicos ou físico-químicos que ocorrem em escoamentos que podem ser relacionados com a ação e a interação de fatores como dissipação, difusão, convecção, ondas de choque, superfícies escorregadias, condições de contorno e turbulência. A maioria dos aspectos importantes dessas relações é não linear e conseqüentemente, não possuem soluções analíticas (Fontes *et al.*, 2005).

Slack *et al.*, 2004, utilizaram técnicas de fluidodinâmica computacional para comparar e compreender o funcionamento de diferentes hidrociclones, suas geometrias e modos de operação. Os estudos são de valor significativo para o uso de CFD na simulação de novos hidrociclones. Com base nesta versátil metodologia uma interfase simples de usar foi desenvolvida para o funcionamento da CFD em simulação de ciclones com ou sem núcleo de ar, podendo ser possível criar ciclones personalizados.

Olson *et al.*, 2004, investigaram o uso de fluidodinâmica computacional como uma ferramenta de desenvolvimento para eliminar a necessidade de fabricar e testar cada novo projeto de hidrociclone, os modelos foram validados por meio de dados experimentais. Os estudos concluíram que a capacidade de simular o desempenho de hidrociclones com sólidos, com diâmetro médio das partículas relativamente baixo foi surpreendentemente eficaz.

Dwaria *et al.*, 2004, conceberam um hidrociclone projetado para operar em uma ampla gama de variáveis para areia, areia-Cinza e areia-FCC. Estudaram a

pressão, o diâmetro médio das partículas e a caracterização do hidrociclone. Um modelo matemático de separação das partículas e o tamanho de corte do diâmetro médio das partículas foram desenvolvidos, bem como uma correlação para a remoção e retenção das partículas no hidrociclone. A correlação foi testada estatisticamente, comparando previsões feitas no modelo com correlações disponíveis na literatura, que revelaram que o equipamento é capaz de separar partículas com diâmetro em torno de 70  $\mu\text{m}$ . Para partículas com diâmetro acima de 175  $\mu\text{m}$  a separação obtida foi quase de 100%. A separação foi baixa para partículas com diâmetro abaixo de 60  $\mu\text{m}$ .

Delgadillo *et al.*, 2007, utilizaram ferramentas de fluidodinâmica computacional para explorar geometrias alternativas para o hidrociclone, manuseando a hidrodinâmica para alcançar a classificação das partículas desejada experimentalmente, a fabricação de hidrociclones com novos desenhos e geometria é demorada e onerosa. O modelo de turbulência utilizado foi o método de rastreamento de partículas de Lagrange. A principal contribuição deste trabalho é que as técnicas de fluidodinâmica computacional são ferramentas adequadas para estudar e explorar a fluidodinâmica de novos desenhos de hidrociclones.

Bhaskar *et al.*, 2007, estudaram uma metodologia de simulação numérica para análise das características e classificação de partículas de aerossol em hidrociclone de 50 mm de diâmetro, o trabalho foi realizado utilizando um software de CFD comercialmente disponível. Foram realizadas comparações da vazão simulada e experimental da água e valores da literatura. Os resultados indicaram que há uma boa correspondência na divisão da água entre os valores experimentais e simulados com erro abaixo de 10% em diferentes desenhos de hidrociclone. Foi realizada uma análise nas características do fluxo, comparando a razão entre o diâmetro do ciclone e a abertura do espigão nos modelos de 76 e 50 mm. As velocidades axiais previstas são maiores em um hidrociclone de 50 mm em comparação com um de 76 mm. No caso de hidrociclone de 50 mm, os valores de  $d_{50}$  simulados correspondem razoavelmente aos resultados experimentais quando o diâmetro do espigão é de 9,4 mm. No entanto, os desvios são encontrados nos valores  $d_{75}$  e  $d_{25}$ . No caso do hidrociclone com abertura do espigão de 76 mm, melhores previsões em  $d_{50}$  são obtidas nas torneiras de 10 e 15 mm, com percentuais de 6% e 10% na concentração de sólidos da suspensão de alimentação. O hidrociclone com abertura do espigão de 76 mm apresenta melhores previsões

quando o diâmetro é superior a 50 mm, decorrente de uma menor influência da viscosidade de suspensão do núcleo de ar, comparativamente ao núcleo de líquido, devido ao aumento do espaço para descarga da solução de alimentação através da abertura do espigão.

A experiência em laboratório, apesar de sua grande importância na validação física de modelos matemáticos, frequentemente restringe o entendimento fenomenológico do problema em questão, seja devido à segurança em relação ao manuseio de equipamentos, escassez e alto custo da matéria-prima e mesmo a falta de dispositivos necessários para detectar determinados fenômenos. Desta forma simulações por meio das técnicas de CFD são ferramentas auxiliares valiosas no sentido de, juntamente com a experimentação, conduzir a uma completa verificação fenomenológica do problema e, permitir a elaboração de novos processos e equipamentos ou a otimização de modelos já existentes (Murphy *et al.*, 2007).

Zhao *et al.*, 2008, estudaram as dificuldades de separação de partículas finas e o princípio básico de separação dos hidrociclone, baseado nas condições do fluxo cíclico. Os resultados mostraram que a eficiência de separação de um hidrociclone operando em condições de fluxo cíclico pode ser maior do que em condições estacionárias, quando a razão do período cíclico é próxima de 0,68 e a relação da amplitude do cíclico caudal é aproximadamente 2%. Quando existe gás livre a amplitude do cíclico caudal é bem maior comparativamente quando da existência de líquido, decorrente da compressibilidade do gás ser bem maior que a do líquido.

Narasimha *et al.*, 2012, estudaram o comportamento do fluxo em um hidrociclone com uma estrutura multi-fase turbilhonar, utilizando uma multi-fase CFD com sub-módulos para o ar-núcleo, turbulência e classificação de partículas, com um modelo de viscosidade de lama para simular o desempenho dos hidrociclones. A discrepância dos dados medidos pode ser consequência do efeito da turbulência. O diâmetro do vórtex foi mantido instável e as simulações foram realizadas usando modelos CFD diferentes, com e sem a correção da viscosidade devido à fração de finos. Utilizando sonda de amostragem de alta velocidade em diferentes posições controladas com precisão, as curvas esboçadas estiveram próximas dos dados experimentais. Observou-se que o tamanho previsto das partículas das amostras está próximo dos dados experimentais. Perto do vórtice forçado (posição interna), as



distribuições do tamanho previsto desviam-se ligeiramente dos dados medidos. A discrepância pode ser um efeito da turbulência de amostragem devido à sondagem.

Vieira *et al.*, 2014, projetaram um hidrociclone substituindo a seção cônica do hidrociclone convencional por uma parede de filtração cônica e o equipamento foi denominado hidrociclone de filtração. Na operação deste novo hidrociclone, além das correntes de subfluxo e de transbordamento existente no hidrociclone convencional, há um fluxo líquido resultante da filtração produzindo um cone poroso. O processo do hidrociclone de filtração e de um hidrociclone convencional com a mesma configuração foi analisado por técnicas de fluidodinâmica computacional. Os resultados mostraram que o processo de separação foi significativamente melhorado com o novo equipamento, com as mesmas condições de funcionamento e geometria do hidrociclone convencional.

Ghodrat *et al.*, 2014, apresentaram um estudo numérico de hidrociclones com diferentes configurações cônicas, utilizando técnicas de fluidodinâmica computacional. Os resultados mostraram que: i) o comprimento e a geometria da seção cônica afetam o desempenho do hidrociclone; ii) o aumento do comprimento da seção cônica acarreta uma diminuição na pressão do duto de alimentação. Com base nos resultados numéricos um projeto de hidrociclone melhorado foi proposto com a introdução de um cone convexo com Design longo, comparado com o ciclone convencional.

Desse modo observa-se que a evolução na capacidade de processamento computacional aliada a melhoria na capacidade de armazenamento de dados permitem resolver problemas complexos e de interesse industrial. O desenvolvimento de algoritmos mais robustos para a solução de sistemas de equações algébricas lineares e a proposição de modelos mais elaborados para representar fases dispersas têm permitido a evolução de ferramentas para estudar a dinâmica dos fluídos de diversos sistemas físicos, em que se destaca a fluidodinâmica computacional (CFD). Utilizando-se CFD abdica-se da solução contínua (equações diferenciais) em prol da solução discreta ou pontual (Danilo, 2012).

### 2.4.1. Metodologia da Simulação

Para obtenção de um meio mais fácil de resolver e analisar problemas de escoamentos de fluidos, os programas computacionais de CFD são subdivididos em cinco elementos principais: um gerador de geometria, um gerador de malha, um pré-processador, um processador que obtém a solução (*solver*) e um pós-processador.

#### Gerador de Geometria:

A primeira informação a ser introduzida no ambiente computacional para uma análise de um problema no CFD é a definição e criação da geometria que irá representar a região onde o fluxo vai escoar (domínio do fluxo). A geometria pode ser produzida por outros softwares de CAD e importada, ou arquitetada no software utilizado.

Neste trabalho optou-se em construir toda geometria do hidrociclone no software utilizado, através do Design Modeler<sup>®</sup>. Neste software é possível a partir de esboços em 2D, convertê-los em sólidos 3D e depois modificá-los com operações booleanas. O software Design Modeler<sup>®</sup> é paramétrico, podendo ser usado a mesma geometria para obtenção de múltiplas configurações do desenho, sendo uma ferramenta que auxilia a otimização do projeto. A Figura 7 apresenta o hidrociclone em estudo feito no Design Modeler<sup>®</sup>.

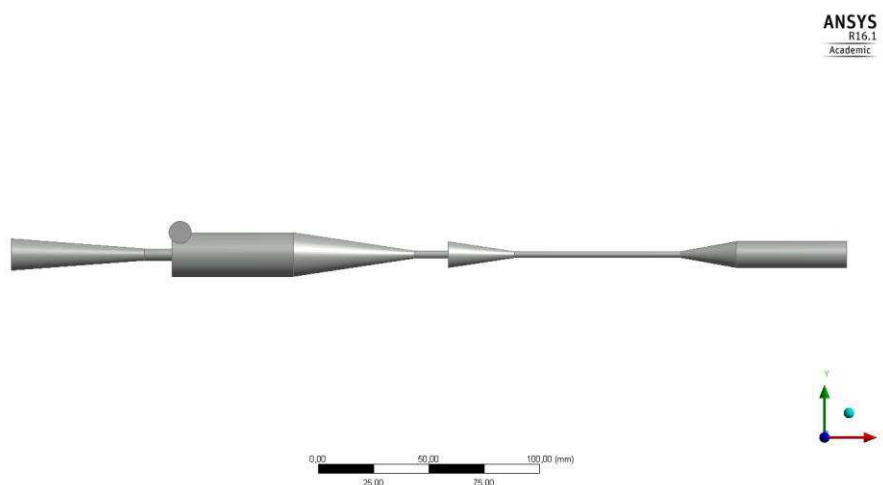


Figura 7: Hidrociclone Gerado no Design Modeler<sup>®</sup>

## Gerador de Malha

Após a definição da geometria, a etapa seguinte do pré-processamento é a geração da malha numérica. A malha numérica é formada por um conjunto de elementos ou volumes em que se divide o domínio geométrico em estudo. As equações são resolvidas gerando variáveis com valores discretos como velocidade, pressão, temperatura ou outra de interesse do estudo, para cada volume, e a solução de um volume será utilizada como condição de contorno para o elemento adjacente.

Os pequenos subdomínios não sobrepostos são chamados elementos, e a solução das equações de transporte, pelos métodos numéricos, envolvem cálculos em subdomínios. Este processo é chamado de geração de malha (*grid ou mesh*).

O gerador de malha gera volumes de controle nos quais são resolvidas todas as equações relacionadas ao caso em análise. Assim, quanto maior o número de volumes de controle, mais precisa estará a solução. Porém, a demanda de esforço computacional será maior. Desta maneira, é necessário encontrar um limite onde a partir deste, um aumento da quantidade de volumes de controle aumenta o esforço computacional, mas não altera os resultados obtidos (Vieira, 2006).

São feitas simulações com malhas de diferentes números de volumes de controle a fim de encontrar aquela que forneça a maior precisão possível. Este procedimento é conhecido como teste de malha, onde se faz uma análise de um parâmetro chave em cada simulação realizada. Para a geração da malha utilizou-se o pacote computacional do software Ansys CFX<sup>®</sup>.

## Pré-Processamento

Consiste na modelagem física de um problema de escoamento com a estruturação destas informações de forma que o *solver* possa usá-las. Nesta etapa é possível definir todos os parâmetros relevantes à simulação a ser realizada, no que diz respeito à modelagem do problema, condições de contorno e propriedades dos fluidos envolvidos. Entradas e saídas do sistema são definidas bem como as características do escoamento, modelo de turbulência, número de iterações, resíduo para convergência, dependência temporal, entre outros (Chu *et al.*, 2002).

Para o alcance de resultados precisos dentro de limites econômicos (esforço computacional), são realizadas simplificações no estudo. Deve-se conhecer com detalhes o fenômeno a ser estudado para avaliar se haverá grande impacto nos resultados.

## **Solver**

É a parte principal de um pacote de CFD, pois ele programa as técnicas numéricas de solução e seus parâmetros para resolver os problemas físicos de modo apropriado. O Solver é responsável pela simulação propriamente dita, ou seja, calcula para cada volume de controle as equações definidas no pré-processamento. A simulação é realizada até que se atinja a convergência estipulada ou o número de iterações definidas (Vieira, 2006).

O *Solver* faz aproximações das variáveis desconhecidas do escoamento, discretiza o espaço, lineariza o sistema de equações diferenciais, define a estratégia de solução deste sistema e finalmente, o resolve utilizando uma abordagem numérica. Este é o item mais crítico de uma simulação, pois varia de acordo com a potência e a capacidade do computador onde a simulação será realizada. Assim, quando mais potente for o computador, menor tempo computacional é gasto e, conseqüentemente, mais econômico é o estudo (Chu *et al.*, 2002).

É possível acompanhar a resolução das equações durante o andamento da simulação, onde são visualizados os resíduos das equações e fechamento do balanço de massa no sistema.

## **Pós-Processamento**

O avanço no pós-processamento nos últimos anos, foi decorrente aos avanços tecnológicos em *software* e *hardware* gráficos, os principais pacotes CFD estão equipados com ferramentas versáteis para visualização de campos escalares e vetoriais.

O pós-processamento é utilizado para análise dos resultados obtidos. Este pacote disponibiliza ferramentas para visualização da geometria e da malha gerada, construção de gráficos com vetores e contorno para avaliação de perfis de

velocidade, pressão, concentração, entre outros, inclusive tridimensionais. Além disso, é possível traçar gráficos relacionando variáveis da simulação, construir tabelas, fazer cálculos no próprio programa, visualizar a trajetória das partículas e linhas de corrente, bem como criar animações para facilitar a análise dos resultados e possibilidade de exportação de resultados para outro software de visualização (Vieira, 2006).

#### **2.4.2. Otimização de Hidrociclones**

O termo otimização refere-se ao estudo de problemas em que se busca minimizar ou maximizar uma função por meio da escolha sistemática dos valores de variáveis reais dentro do campo de interesse.

Nos projetos de engenharia, a otimização pode ser pensada como a variação de um conjunto de parâmetros de entrada, tais como: geométricos, físicos, operacionais, dentre outros, que podem levar a obtenção do melhor desempenho do produto (Reklaitis *et al.*, 1983).

Em 1947 ocorreu a primeira técnica prática de otimização, utilizada no planejamento e na programação de atividades militares. A partir desta data muitos métodos de otimização foram desenvolvidos, principalmente após a década de 80, com o desenvolvimento de computadores mais robustos (Dantzig, 1991).

A técnica de otimização estatística “*planejamento de experimentos*” (Design of Experiments - DOE), nos últimos anos, tem sido cada vez mais utilizada no desenvolvimento de equipamentos mais eficientes. O DOE define quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados durante um determinado experimento, buscando, essencialmente, contemplar dois grandes objetivos: i) a maior precisão estatística possível na resposta e, ii) o menor custo (Colleman *et al.*, 1993).

A dinâmica de fluido computacional em conjunto com os métodos estatísticos de otimização tem sido cada vez mais empregada na análise de novos projetos de engenharia, ainda que, em menor proporção quando comparado às análises computacionais feitas nos projetos estruturais (Olson *et al.*, 2004).

Algumas das particularidades que tornam os problemas de otimização usando CFD complexos são o tempo de simulação, a falta de informações e a falta de dados experimentais para validar os resultados (Parry *et al.*, 2004).

A seguir será descrito um resumo de trabalhos e/ou pesquisas em cronológica, nos quais foram utilizados a dinâmica de fluido computacional para otimização de hidrociclones, em estudos referentes às variáveis do processo de hidrociclonagem.

Wang *et al.*, 2007, estudaram o escoamento multifásico em um hidrociclone com diferentes geometrias, incluindo o comprimento da parte cônica e o diâmetro do corpo cilíndrico. Os resultados mostraram que para diferentes diâmetros do corpo cilíndrico e comprimentos da parte cônica, os campos de escoamento nos hidrociclones são distintos, resultando em desempenhos diferentes. Constataram, também, que pequenos hidrociclones tem uma eficiência de separação mais elevada e observaram que uma seção cônica de comprimento maior melhora o desempenho do hidrociclone.

Carvalho, 2008, utilizou a dinâmica de fluido computacional para projetar um hidrociclone capaz de gerar maior eficiência de separação entre a areia e o gás proveniente da produção de petróleo. Foi avaliada a eficácia de três variáveis geométricas na eficiência de separação: i) a altura do duto da suspensão de alimentação, ii) o diâmetro do tubo do diluído, e, iii) o comprimento do tubo do diluído. Com a otimização foi possível determinar a geometria de maior eficiência em função dos parâmetros geométricos avaliados.

Oliveira *et al.*, 2009, realizaram estudos experimentais e utilizaram CFD, na análise da influência de algumas variáveis geométricas de um hidrociclone filtrante. As variáveis geométricas analisadas foram o diâmetro e o comprimento do tubo diluído. Os resultados indicaram que o desempenho dos hidrociclones é influenciado pela parede cônica de filtração e que a incorporação de um meio filtrante melhora a eficiência global do hidrociclone.

Motsamai, 2010, estudou a eficiência de separação em um hidrociclone usando a dinâmica de fluidos computacional. O trabalho investigou a influência de vários fatores geométricos na separação de partículas e os valores ótimos para a densidade do fluido, o diâmetro do orifício do tubo concentrado e o diâmetro do tubo

do diluído foram determinados para uma separação otimizada. O autor concluiu que a eficiência de separação nos hidrociclones é altamente dependente de seus parâmetros geométricos e das características do escoamento.

Elsayed *et al.*, 2010, avaliaram o efeito do diâmetro do tubo do diluído na eficiência de separação e no campo de escoamento de um hidrociclone. Os resultados indicaram que diminuindo o diâmetro do tubo a eficiência de separação aumenta, porém há um acréscimo na queda de pressão. Os autores propuseram para um trabalho futuro, um estudo de otimização multi-objetiva para se encontrar o valor *ótimo* do diâmetro do tubo do diluído.

Dhodapkar *et al.*, 2011, e, Vieira *et al.*, 2011, estudando a influência de variáveis geométricas no desempenho de hidrociclones, utilizando técnicas de fluidodinâmica computacional e de superfície de resposta, encontrando uma melhor configuração para o hidrociclone dentre as configurações analisadas. A resposta analisada foi o diâmetro de corte. Em seu trabalho, os autores não utilizaram nenhuma técnica específica de otimização. A determinação da melhor configuração de operação caracteriza um problema de otimização.

## **2.5. Estado da Arte**

Descrevemos em seguida, um resumo de alguns trabalhos e/ou pesquisas em ordem cronológica, nos quais foram utilizados a hidrociclonagem como técnicas de separação de partículas, bem como estudos realizados para melhoria do desempenho de hidrociclones como classificador de partículas.

A utilização de areia nova nas indústrias de fundição tem custos elevados, o que leva a busca por novos processos de reciclagem dessa areia. Para tanto, a White Martins-Guifa (WM-Guifa, 2004) em parceria com a fundição Sideral desenvolveram a tecnologia WM-Guifa que utiliza a hidrociclonagem mais o peneiramento para recuperação de areias provenientes do óxido de carbono, silicato de sódio e outros alcalinos, propondo obter uma redução no consumo de areias novas e nos descartes realizados. Devido à alta eficiência do equipamento de lavagem foi obtido reduções de até 85% no teor de sódio residual da areia, o qual

não poderia ser eliminado por meio de queima por ser inorgânico, nem pelo processo mecânico.

Carvalho e Medronho, 2005, utilizaram hidrociclones para separar a barita do fluido de perfuração com maior teor de barita e, portanto, mais densa, para injeção na coluna de perfuração e a segunda, menos densa, para injeção na base do *riser*. Sendo este um tubo geralmente construído de aço, onde a coluna de perfuração passa em seu interior, de modo que o retorno do fluido de perfuração ocorre no espaço angular existente entre o *riser* e a coluna de perfuração. Os resultados demonstraram que o hidrociclone tem um desempenho satisfatório enquanto purificador de minerais.

Mailapalli *et al*, 2007, avaliaram o desempenho de um filtro de hidrociclone de 20 cm estudando a variação de vazão, queda de pressão, concentração na alimentação e eficiência da filtração com o tempo de operação do filtro. O filtro foi testado com água limpa para determinar a queda de pressão e posteriormente testado com quatro concentrações de suspensão do solo, apresentando-se ineficiente para filtrar pequenas partículas, como argila. A eficiência inicial de remoção para altas concentrações foi maior quando comparada as obtidas para baixas concentrações, mas as eficiências finais foram independentes da concentração da suspensão de sólidos.

Martins, 2009, realizou pesquisa com duas argilas do Município de Boa Vista, Estado da Paraíba, utilizando um hidrociclone para o tratamento dessas argilas naturais em escala piloto. Os resultados demonstraram que o sistema de tratamento por hidrociclone é eficiente para retirada das frações grosseiras, principalmente superior à faixa limite de separação do equipamento.

Estudos realizados por Arruda *et al.*, 2010, tiveram como objetivo desenvolver uma estratégia para otimizar hidrociclones sólido-líquido para serem utilizados na etapa de separação de mistura biodiesel glicerina. Dessa forma, eles demonstraram que o hidrociclone pode ser utilizado em configuração do tipo bateria em série para se atingir uma alta eficiência de purificação do biodiesel. A estratégia de otimização se mostrou uma excelente ferramenta de confirmação dos parâmetros de dimensionamento, onde critérios econômicos são sempre importantes para justificarem novos investimentos para melhoria de processos industriais.



Boylu *et al.*, 2010, realizaram estudos com bentonitas sódicas, coletadas na região da Turquia, que foram submetidos a uma série de testes de hidrociclonagem de estágios múltiplos para avaliar as eficiências de separação e produzir bentonitas tratada para uma grande variedade de utilização. Os autores concluíram que o melhoramento do tratamento consiste de duas hidroclonagens a primeira com um diâmetro maior do vórtex (14,3 mm), seguido pela menor (8,0 mm), obtendo produtos com purificação desejada.

Cruz e Zanini, 2010, estudaram e avaliaram o desempenho de um hidrociclone como pré-filtrante de partículas sólidas, oriundas dos processos erosivos e do assoreamento dos recursos hídricos. Os testes foram realizados com um hidrociclone de geometria "Rietema", possuindo diâmetro de 19,2 cm na parte cilíndrica, operando com vazões variando entre 10 m<sup>3</sup>/h e 27 m<sup>3</sup>/h. Os resultados mostraram que a perda de carga no hidrociclone avaliado, aumentou potencialmente com o acréscimo da vazão de alimentação e que o equipamento avaliado foi eficiente na remoção de partículas sólidas, notadamente para água contendo areia, sendo recomendado como pré-filtro em sistemas de irrigação.

Farghaly *et al.*, 2010, e, Golyk *et al.*, 2011, relataram que a eficiência da classificação do hidrociclone é limitada por finos, os quais são descarregados em conjunto com a água no *overflow*. O processo é estabilizado por injeção de água controlada, no ponto mais baixo possível, na extremidade do bico de ápex, sendo aplicado ao processamento de caulim para a redução das perdas de finos no *underflow*. Uma recuperação de aproximadamente 50% do caulim no rejeito (*underflow*) foi obtida pela injeção de água na separação por hidrociclonagem. No entanto, a injeção de água no ápex é sensível a variações na alimentação. Contudo, em ambos os artigos, os pesquisadores não trabalharam com alteração das configurações do hidrociclone.

Davailles *et al.*, em 2012, se preocuparam em estabelecer e validar um modelo de hidrociclonagem baseado nas leis da física clássica, que descreve o fluxo de roda dentro dos hidrociclones. A física foi incorporada em um modelo de simulação de Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD), cujas principais características são apresentadas e justificadas. Os resultados da simulação foram comparados com sucesso para separar a água, perfis de velocidade dentro do hidrociclone e da partição medidas de função, seja produzido usando a própria

instalação experimental ou a partir da literatura. Verificou-se que o modelo Rij-e é adequado para simular o comportamento de hidrociclones sob diluído, observando-se que é possível como uma primeira aproximação para modelar o núcleo de ar usando um cilindro sólido com condição de contorno de deslizamento livre.

Silva *et al.*, 2012, fizeram estudos experimentais da influência do diâmetro do vórtex no desempenho de hidrociclones. Estes grupos de pesquisadores construíram um hidrociclone com boa eficiência de separação e baixo custo de energia, o chamado HC11, e um localizador de vórtex tipo de manto foi desenvolvido para este hidrociclone. Três configurações do vórtex localizador manto foram construídos e os resultados experimentais foram comparados com aqueles do HC11 convencional. A nova configuração do vórtex localizador não levou a grandes alterações no número Euler (custo de energia), mas em todos eles, o tamanho do corte foi significativamente reduzido.

Figueiredo *et al.*, 2014, realizaram caracterizações e desenvolveram argilas tratadas, através de técnicas de peneiramento e hidrociclonagem, a partir de bentonitas recentemente descobertas no Estado da Paraíba. Os resultados mostraram que o tratamento unicamente por hidrociclone apresentaram os melhores resultados quanto à purificação das amostras.

Oliveira *et al.*, 2014, constataram a necessidade das argilas bentoníticas oriundas dos novos depósitos do Estado da Paraíba passarem por processos de beneficiamento para do atender às especificações do mercado, dessa forma, fizeram estudos para observar a influência da pressão no processo de tratamento por hidrociclonagem nas bentonitas supracitadas. As pressões avaliadas foram nos intervalos de 1,5 a 2 bar e de 3 a 3,5 bar, onde os resultados mostraram que o processo de purificação no intervalo de 3 a 3,5 bar foi o mais eficiente.

Silva *et al.*, 2014, estudaram experimentalmente as consequências de uma alimentação incomum no comportamento de um hidrociclone. Os estudos experimentais sugeriram que a rotação do fluido na entrada de alimentação do hidrociclone não alterou significativamente a proporção de (RL) no underflow a caudal, embora tenha causado uma evolução no custo de energia e no desempenho do separador.

Salvador *et al.*, 2014, desenvolveram estudos com intuito de avaliar o efeito da incorporação de cilíndrico e paredes permeáveis cônicas (CyCoFH) em um hidrociclone de geometria otimizada (H11), para avaliar a capacidade de processamento do equipamento. Através da inserção de um cone de filtragem e do cilindro, durante o funcionamento desses separadores, há uma corrente de líquido adicional resultante do processo de filtragem nas regiões cônicas e cilíndricas. Apesar do baixo fluxo filtrado observado durante o funcionamento deste novo equipamento, verificou-se que a filtração é benéfica para a hidrociclonagem. De acordo com resultados obtidos, o hidrociclone CyCoFH de menor permeabilidade apresenta uma maior capacidade de processamento. O caudal de alimentação foi 23% mais elevado do que o hidrociclone convencional correspondente, nas mesmas condições geométricas e operacionais.

Silva *et al.*, 2014, desenvolveram estudos sobre um hidrociclone de filtragem com uma geometria adequada que proporciona uma relação baixa do underflow com a taxa de transferência, ou seja, que produz um sub fluxo de espessura. Foi avaliado o efeito do diâmetro do orifício do underflow no desempenho do equipamento. Os resultados mostraram que o menor tamanho de orifício produziu um fluxo no underflow com concentração superior a 45% em volume.

Marques *et al.*, 2015, desenvolveram estudos com o objetivo de concentrar o argilomineral de misturas de argilas bentoníticas pouco nobres do Estado da Paraíba por meio do processo de hidrociclonagem, e posterior secagem por spray dryer, visando otimizar as propriedades reológicas das dispersões de modo que atendam às exigências da norma EP-1EP-00011-A da Petrobrás. Os resultados evidenciaram a eficiência das operações de hidrociclonagem e secagem por spray dryer das misturas com notável melhoria nas propriedades reológicas.

A simulação do hidrociclone utilizado como separador de partículas, tem sido estudada por diversos pesquisadores. Tem-se concluído que a qualidade da separação é limitada pelas diferentes propriedades da suspensão de alimentação, concentrações de sólidos e distribuições do tamanho das partículas, sendo o tamanho das partículas a maior limitação na qualidade do material obtido (Schneider M. e Neege Th, 2004).

O planejamento experimental fatorial com o uso de pontos centrais configura um caso especial em metodologias de superfície de resposta. Utiliza técnicas

matemáticas e estatísticas, com aplicações não só na concepção de novos produtos e desenvolvimento, mas também na melhoria de produtos existentes.

Ter a superfície de resposta é ter uma previsão da variável a qual se deseja obter uma resposta, a partir do projeto delineado e das mudanças nas proporções dos seus componentes (Montgomery e Runger, 2003; Montgomery, 2009).

A utilização de planejamento experimental possibilita a otimização de produtos e processos, minimiza tempo e custos, maximiza rendimento, produtividade e qualidade de produtos. O planejamento experimental deve ser robusto o suficiente de modo que seja possível determinar e quantificar a influência das variáveis independente sobre as variáveis dependentes, possibilitando a obtenção de resultados confiáveis e que também, possam ser realizadas análises estatísticas consistentes. Em síntese um planejamento experimental bem elaborado, reduz o número de experiências ou repetições e melhora a qualidade da informação através dos resultados (Montgomery e Runger, 2003).

Após a revisão bibliográfica ficou evidenciado que os estudos das novas ocorrências de argilas bentoníticas no Estado da Paraíba está em fase incipiente, principalmente em relação ao tratamento dos minerais acessórios, fazendo com que haja uma restrição para sua aplicação industrial em usos mais nobres. Salientamos também que não foi encontrado na bibliografia estudada, trabalhos atinentes as variáveis do processo de hidrociclonagem empregando técnicas de caracterização, planejamento experimental, superfície de respostas e fluidodinâmica computacional, para tratamento de argilas bentoníticas.

O grupo de argilas para fluidos de perfuração, formados por Professores com formação multidisciplinar das Unidades Acadêmicas de Engenharia de Materiais, Engenharia Química e Física; do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, vem desenvolvendo pesquisas sobre as argilas esmectíticas oriundas das jazidas localizadas nos Municípios de Cubatí, Sossego e Pedra Lavrada, situados no Estado da Paraíba, com a finalidade de viabilizar sua utilização em diversas aplicações industriais.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

#### 3.1. Materiais Utilizados

- Amostra de argila bentonítica foi oriunda de novos depósitos do Estado da Paraíba, localizados na fazenda Campos Novos no Município de Cubatí, designada como AM1;
- Etileno glicol (Marca cinética, pureza 99%);
- Hexametáfosfato (Marca dinâmica, pureza 68%).

#### 3.2. Metodologia

Inicialmente, a amostra de argila bentonítica foi seca em temperatura de 60°C em estufa, em seguida foi submetida a um processo de britagem por meio de um britador de mandíbula (marca *MARCINI*), sendo posteriormente trituradas em moinho de martelo (Marca *MARCONI*).

Após a trituração, as amostras passaram por um processo de classificação granulométrica através de peneira ABNT N° 200 (74µm), posteriormente foi aditivado hexametáfosfato (Marca Dinâmica, pureza de 68%), com o objetivo de desaglomeração e sodificação. Posteriormente, alíquotas foram retiradas para as diferentes etapas da caracterização física, química e mineralógica, bem como para utilização no processo de hidrociclonagem, realizada em hidrociclone modelo AWK 42L.

O hidrociclone acima referenciado apresenta diâmetro externo de 35 mm e interno de 20 mm, é composto de três valores do diâmetro do ápex e três valores do diâmetro do vórtex. Os orifícios utilizados, no overflow e no underflow, podem ser variados, resultando em modificação na vazão do duto de alimentação.

Na Figura 8 apresentamos a perfil esquemático do hidrociclone utilizado no trabalho.

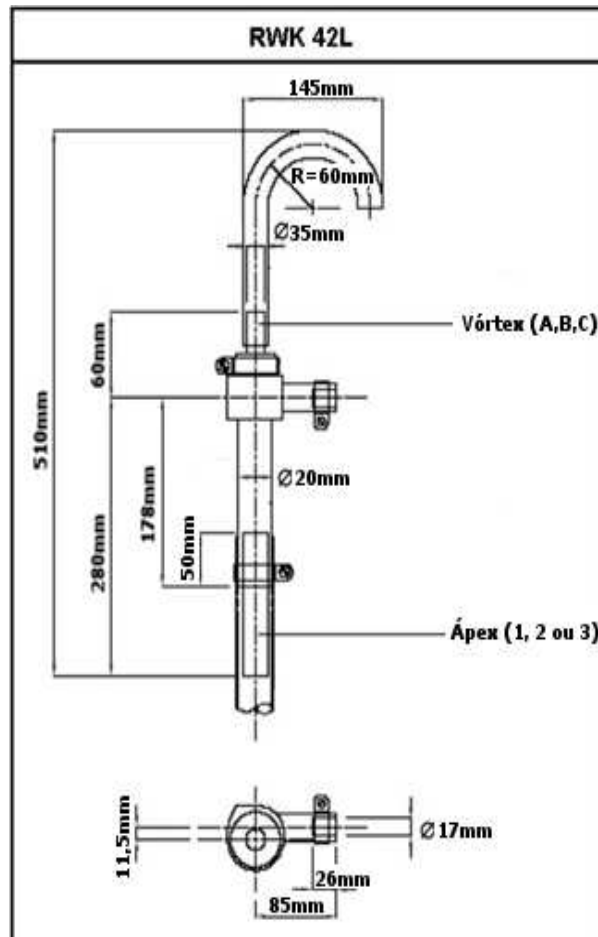


Figura 8: Representação Esquemática do Hidrociclone (Fonte: Martins, 2009)

As caracterizações Física, Química e Mineralógica das amostras de argila esmectítica AM1, foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.

A metodologia usada no beneficiamento, caracterização e hidrociclonação das amostras, foram desenvolvidas na forma do fluxograma mostrado na Figura 9.

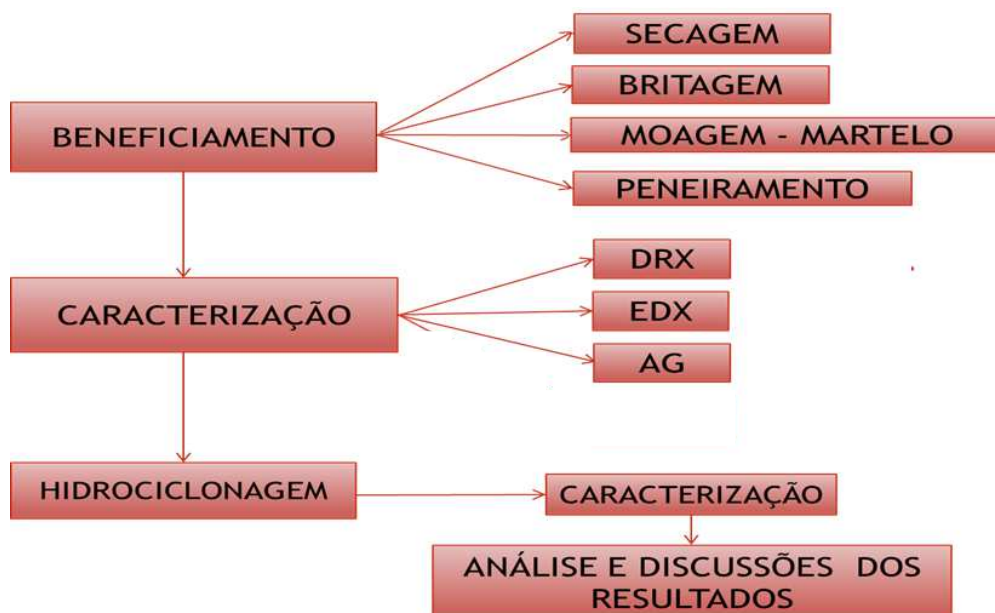


Figura 9: Fluxograma da Metodologia usada na Caracterização das Amostras

A preparação, a caracterização física, química e mineralógica das amostras *in natura* e após o processo de hidrociclonagem foram realizadas pelos métodos abaixo descritos.

### 3.2.1. Análise Granulométrica por Difração de Laser (AG)

A análise granulométrica foi realizada por difração de laser, que utiliza o método de dispersão de partículas em fase líquida associado com um processo de medida ótico através de difração de laser, utilizando equipamento CILAS modelo 1064 em modo úmido. Neste método, é combinada a relação proporcional entre a difração do laser na concentração e o tamanho das partículas.

Para realização da análise granulométrica as argilas bentoníticas naturais, após o beneficiamento, foram dispersas em 250 mL de água destilada em um agitador Hamilton Beach N5000 a velocidade de 17.000 rpm por 10 min, em seguida estas dispersões foram colocadas em um equipamento CILAS modelo 1064, em modo úmido, até atingirem a concentração de 150 unidades de difração/área de incidência. O procedimento foi repetido após o processo de hidrociclonagem.

### 3.2.2. Análise Química por Fluorescência de Raios X (EDX)

Após o beneficiamento, as amostras de argilas naturais foram submetidas à análise química por fluorescência de raios - X. O espectrômetro de fluorescência de raios - X determina semi quantitativamente, os elementos presentes em uma determinada amostra, através da aplicação de raios - X na superfície da amostra e a posterior análise dos fluorescentes emitidos em equipamento EDX 720 da Shimadzu. A geração de raios - X foi feita por meio de um tubo com alvo de Rh. O método foi reproduzido após o processo de hidrociclonagem.

### 3.2.3. Difração de Raios X (DRX)

As amostras de argilas bentoníticas naturais e aditivadas com etileno glicol foram acondicionadas em porta amostra de alumínio para análise por difração de raios X, em equipamento XRD 6000 da Shimadzu. A radiação utilizada foi a  $K\alpha$  do Cu (40kV/30mA); a velocidade do goniômetro foi de  $2^\circ/\text{min}$  e passo de  $0,02^\circ$ ; na faixa de  $5^\circ$  a  $40^\circ$ . A adição de etileno glicol teve como finalidade verificar se os picos são de esmectíticas. O procedimento foi repetido após o processo de hidrociclonagem.

### 3.2.4. Hidrociclonagem

As amostras de argilas secas foram dispersas numa concentração de 4% em massa, num volume de 30L mantida sob agitação, com velocidade de 3.000 rpm, por um período de 24h em temperatura ambiente.

Após esse período, a dispersão foi bombeada com o auxílio de uma bomba centrífuga para o hidrociclone, com a pressão variando de 3,0; 3,5 e 4,0 bar, onde ocorreu o processo de separação do fluxo através do “overflow” e do “underflow”.

O “underflow” é colhido na parte inferior, ápex, (rejeito), e o overflow na parte superior, vórtex, (purificado). Os orifícios utilizados, no vórtex e no ápex, foram variados (diâmetro do ápex:  $A_1 = 3\text{mm}$ ,  $A_2 = 4\text{ mm}$  e  $A_3 = 5\text{ mm}$ ; e, diâmetro do



vórtex:  $B_1 = 5,0$  mm,  $B_2 = 5,5$  mm e  $B_3 = 6,0$  mm), as variações resultaram em modificação da concentração e da vazão no overflow e no underflow.

A combinação das dimensões do diâmetro do vórtex e do diâmetro ápex utilizados deram origem a 9 configurações distintas ( $A_1B_1$ ,  $A_1B_2$ ,  $A_1B_3$ ,  $A_2B_1$ ,  $A_2B_2$ ,  $A_2B_3$ ,  $A_3B_1$ ,  $A_3B_2$ ,  $A_3B_3$ ), para cada combinação foi aferido três valores de pressão (3,0; 3,5 e 4,0 bar). Para definir qual configuração tem maior eficiência no tratamento da argila, o processo foi realizado nos vinte e sete ensaios possíveis (ver Tabela 1), e a análise da eficiência realizada com o auxílio de técnicas de caracterização e de fluidodinâmica computacional.

A Figura 10 ilustra o sistema de hidrociclonagem utilizado nesta pesquisa. O equipamento é composto por: 1) reservatório com capacidade de 50L para dispersão inicial; 2) agitador mecânico para a dispersão da argila em água; 3) manômetro para ajuste da pressão de bombeamento; 4) bomba centrífuga que bombeia a dispersão do reservatório ① para o hidrociclone; 5) um hidrociclone; 6) reservatório com capacidade de 50L para dispersão tratada (saída superior do hidrociclone: *overflow*).

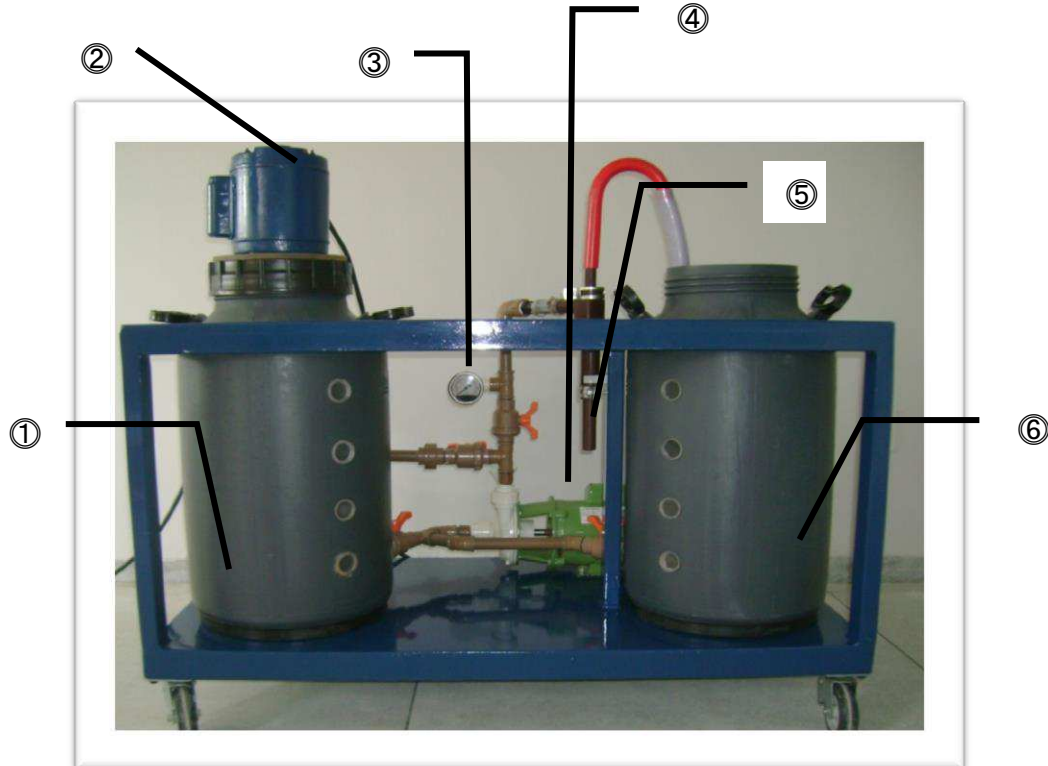


Figura 10: Sistema de Purificação de Argilas com uso de Hidrociclone.

O corpo do hidrociclone apresenta diâmetro externo de 35 mm e interno de 20 mm, composto de três valores do diâmetro do ápex e três valores do diâmetro do vórtex. Os orifícios empregados, o vórtex e o ápex, foram variados: diâmetro do ápex 3, 4 e 5 mm; diâmetro do vórtex 5; 5,5 e 6 mm, resultando em alterações da concentração e da vazão.

As variáveis de processos utilizadas no hidrociclone neste trabalho encontram-se na Tabela 1. Foram estudadas variações de pressão no duto de alimentação, alteração na abertura do vórtex e na abertura do ápex.

Variações efetivadas nos diâmetros do vórtex e do ápex, bem como na pressão do duto de alimentação resultaram em modificações nos resultados aferidos.

Tabela 1: Configurações do Hidrociclone utilizada neste Trabalho

Ensaio	Configuração		
	Ápex (mm)	Vórtex (mm)	Pressão (bar)
1	3	5,5	3,0
2	3	5,5	3,5
3	3	5,5	4,0
4	4	5,5	3,0
5	4	5,5	3,5
6	4	5,5	4,0
7	5	5,5	3,0
8	5	5,5	3,5
9	5	5,5	4,0
10	3	5,0	3,0
11	3	5,0	3,5
12	3	5,0	4,0
13	4	5,0	3,0
14	4	5,0	3,5
15	4	5,0	4,0
16	5	5,0	3,0
17	5	5,0	3,5
18	5	5,0	4,0
19	3	6,0	3,0
20	3	6,0	3,5
21	3	6,0	4,0
22	4	6,0	3,0
23	4	6,0	3,5
24	4	6,0	4,0
25	5	6,0	3,0
26	5	6,0	3,5
27	5	6,0	4,0

### 3.3. Resultados e Discussão

#### 3.3.1. Granulometria

A Figura 11 ilustra as curvas de distribuição de tamanho de partículas da amostra *in natura*. Analisando as curvas ilustradas na Figura abaixo, verificou-se que a amostra apresenta comportamento monomodal, com distribuição de tamanho de partículas variando de 0,1  $\mu\text{m}$  a 11  $\mu\text{m}$ , com maior concentração de volume acumulado próximo a 5  $\mu\text{m}$ .

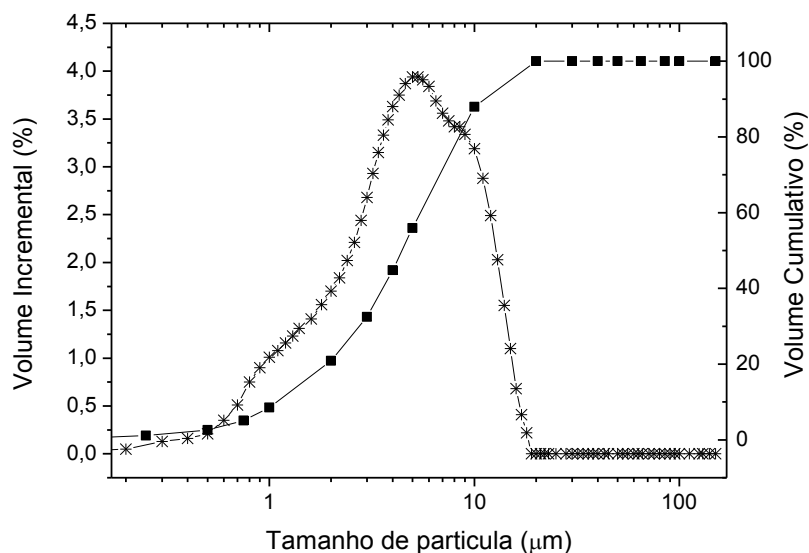


Figura 11: Curvas de distribuição de tamanho de partículas para a amostra AM1.

Observou-se também que a amostra estudada apresentou diâmetro abaixo de 2  $\mu\text{m}$  e 5  $\mu\text{m}$  correspondente a fração argila de 20,89% e 55,96%, respectivamente, e diâmetro médio das partículas aferido foi 5,21  $\mu\text{m}$ . Estes valores são similares aos encontrados nos estudos sobre argila bentoníticas de diversos pesquisadores (Menezes *et al*, 2010; Silva *et al*, 2012 e Pereira *et al*, 2014).

Na Tabela 2 podem ser observados os valores do tamanho das partículas da configuração utilizada ( $d < 2 \mu\text{m}$  e  $d < 5 \mu\text{m}$ ), e o diâmetro médio, das partículas *in natura* e após o processo de hidrocliconagem.

Tabela 2: Valores da Distribuição Granulométrica

Ensaio N°	Configuração			Fração abaixo de 2 $\mu$ m %	Fração abaixo de 5 $\mu$ m %	Diâmetro médio ( $\mu$ m)
	Ápex mm	Vórtex mm	Pressão Bar			
AM1				20,89	55,96	5,21
1	3	5,5	3,0	22,73	59,17	4,86
2	3	5,5	3,5	23,10	59,86	4,75
3	3	5,5	4,0	23,92	62,28	4,50
4	4	5,5	3,0	22,66	58,67	4,97
5	4	5,5	3,5	22,85	59,57	4,82
6	4	5,5	4,0	22,58	59,14	4,84
7	5	5,5	3,0	23,35	59,81	4,86
8	5	5,5	3,5	23,72	60,35	4,78
9	5	5,5	4,0	23,80	61,11	4,68
10	3	5,0	3,0	25,37	63,43	4,61
11	3	5,0	3,5	25,68	63,05	4,55
12	3	5,0	4,0	25,40	62,66	4,58
13	4	5,0	3,0	25,49	63,04	4,55
14	4	5,0	3,5	24,40	61,27	4,69
15	4	5,0	4,0	24,87	62,01	4,61
16	5	5,0	3,0	24,23	59,00	4,85
17	5	5,0	3,5	24,13	59,96	5,07
18	5	5,0	4,0	25,62	61,86	4,65
19	3	6,0	3,0	25,04	60,53	4,96
20	3	6,0	3,5	25,19	61,83	4,71
21	3	6,0	4,0	25,56	62,28	4,68
22	4	6,0	3,0	25,59	61,52	4,82
23	4	6,0	3,5	26,35	62,93	4,59
24	4	6,0	4,0	26,13	61,97	4,70
25	5	6,0	3,0	29,74	66,53	4,31
26	5	6,0	3,5	30,24	67,87	4,21
27	5	6,0	4,0	30,21	67,55	4,24

Analisando conjuntamente os valores da Tabela 2, verificou-se através da distribuição do tamanho de partículas, que o tratamento com o hidrociclone conduziu uma redução do tamanho médio equivalente das partículas de aproximadamente 10,6% e um aumento da fração de finos ( $d < 2 \mu\text{m}$ ) de aproximadamente 17% (ver ensaio nº 26, da Tabela 2). Resultados de estudos análogos foram observados por Figueiredo *et al.*, 2014.

Analisando os valores apresentados na Tabela 2, observou-se que a argila *in natura* apresentou diâmetro abaixo de  $2 \mu\text{m}$  correspondente a fração argila de 20,89%, diâmetro médio das partículas de  $5,21 \mu\text{m}$  e  $d_{50}$  de  $4,45 \mu\text{m}$ . Esses valores são similares aos encontrados nos estudos sobre argilas bentoníticas oriundas de jazidas do Estado da Paraíba, realizados por Pereira *et al*, 2014, e, Silva *et al*, 2015.

Em relação às variáveis de processo (ver Tabela 2) verifica-se através da distribuição do tamanho das partículas da argila *in natura* em relação à distribuição após o processo de hidrociclonagem, um aumento da concentração da fração argila ( $d < 2 \mu\text{m}$  e  $d < 5 \mu\text{m}$ ) de 44,7% e 7,3%, respectivamente. Em relação ao diâmetro médio equivalente das partículas verifica-se uma redução de aproximadamente 19,2% (ver ensaio 26, Tabela 2).

A Figura 12 ilustra as curvas de distribuição do tamanho das partículas das amostras estudadas após o processo de hidrociclonagem, com o diâmetro do ápex variando de 3, 4 e 5,0 mm; o diâmetro do vórtex com valor igual a 5,0 mm e pressão no duto de alimentação sendo alterada de 3(a), 3,5(b) e 4(c) bar.

Analisando as curvas de distribuição granulométrica apresentadas na Figura 12, verificou-se que as amostras apresentaram comportamento monomodal, com distribuição de tamanho de partículas variando de  $0,1 \mu\text{m}$  à  $11 \mu\text{m}$ , para as configurações estudadas.

Observou-se que as amostras apresentaram diâmetro abaixo de  $2 \mu\text{m}$  correspondente a fração argila entre 24 e 25% e diâmetro médio das partículas entre  $4 \mu\text{m}$  e  $5 \mu\text{m}$ , corroborando com os dados da Tabela 2.

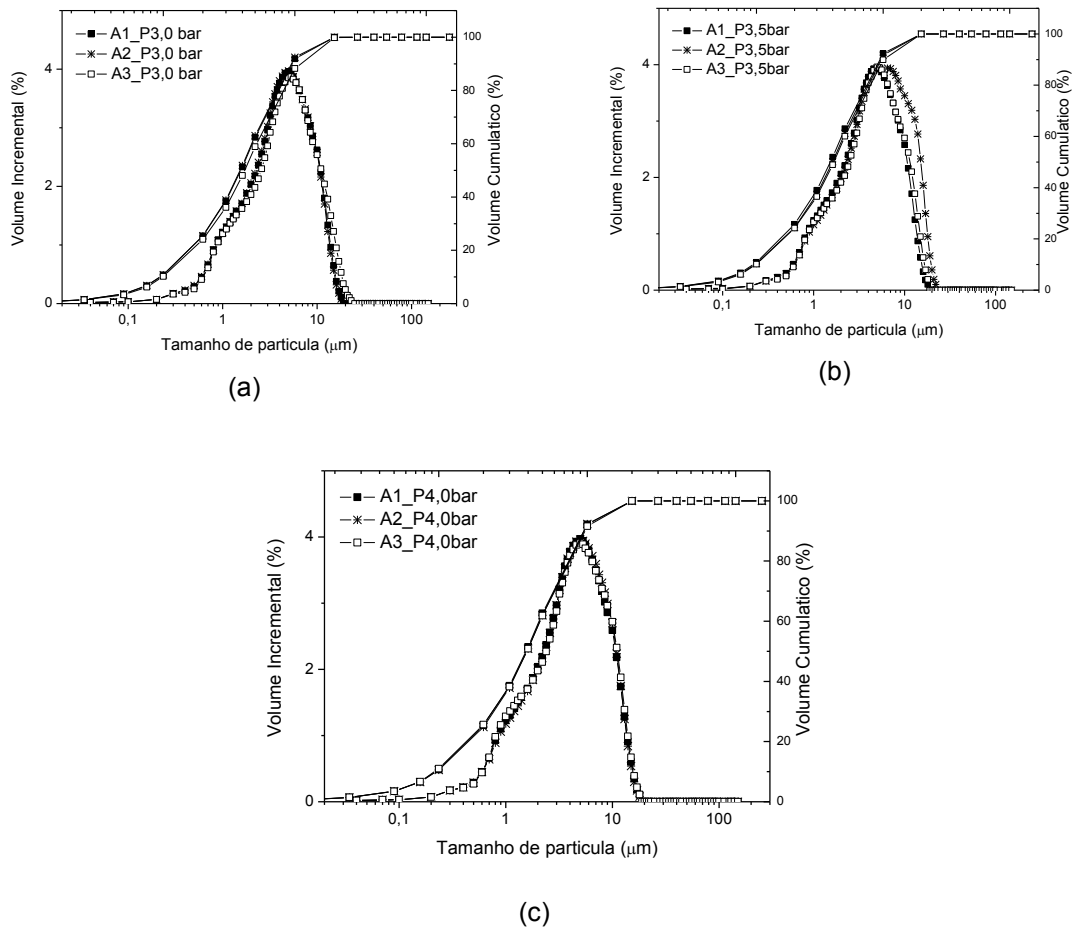


Figura 12: Curvas de distribuição de tamanho de partículas para a configuração ápex 3,0 mm; 4,0 mm; e 5,0 mm / vórtex 5,0 mm e pressões 3,0(a), 3,5(b) e 4,0(c) bar.

A Figura 13 ilustra as curvas de distribuição do tamanho das partículas das amostras após o processo de hidrociclonagem, com configuração: diâmetro do ápex variando 3, 4, e 5 mm; o diâmetro do vórtex com valor igual a 5,5 mm e pressões no duto de alimentação sendo modificada de 3(a), 3,5(b) e 4(c) bar. Analisando as curvas de distribuição granulométrica ilustradas na Figura 13, percebeu-se que as amostras apresentaram comportamento monomodal, com distribuição de tamanho de partículas variando de 0,1  $\mu\text{m}$  à 11  $\mu\text{m}$ , para a configuração acima descrita.

Verificou-se também que as amostras estudadas apresentaram diâmetro abaixo de 2  $\mu\text{m}$  correspondente à fração argila, entre 22 e 23%, e diâmetro médio das partículas entre 4  $\mu\text{m}$  e 5  $\mu\text{m}$ , confirmando os valores apresentados na Tabela 2.

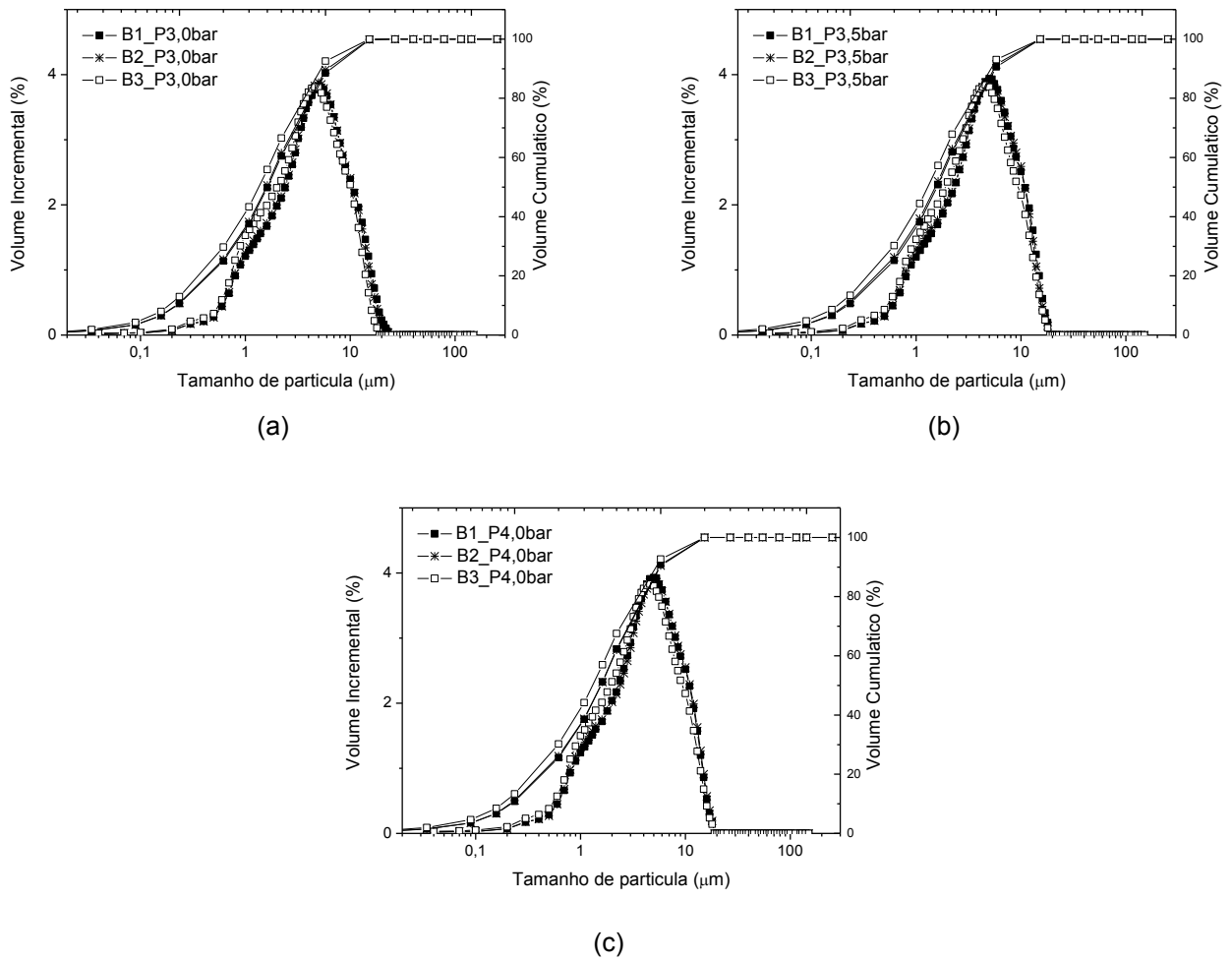


Figura 13: Curvas de distribuição de tamanho de partículas para a configuração ápex 3,0 mm; 4,0 mm e 5,0 mm / vórtex 5,5 mm e pressões 3,0(a), 3,5(b) e 4,0(c) bar.

A Figura 14 ilustra as curvas de distribuição do tamanho das partículas das amostras após o processo de hidrociclonagem com a configuração do hidrociclone: diâmetro do ápex sendo modificada de 3, 4, e 5,0 mm; diâmetro do vórtex com valor igual a 6,0 mm e a pressões no duto de alimentação variando de 3(a), 3,5(b) e 4(c) bar.

Após análise da Figura 14, constatou-se que as amostras apresentaram comportamento monomodal, com distribuição de tamanho de partículas variando entre 0,1  $\mu\text{m}$  a 11  $\mu\text{m}$ , para a configuração estudada.

Observou-se também que as amostras estudadas apresentaram diâmetro abaixo de 2  $\mu\text{m}$  correspondente a fração argila entre 25 e 30% e diâmetro médio das



partículas de aproximadamente 4  $\mu\text{m}$ , valores que confirmam os dados apresentados na Tabela 2.

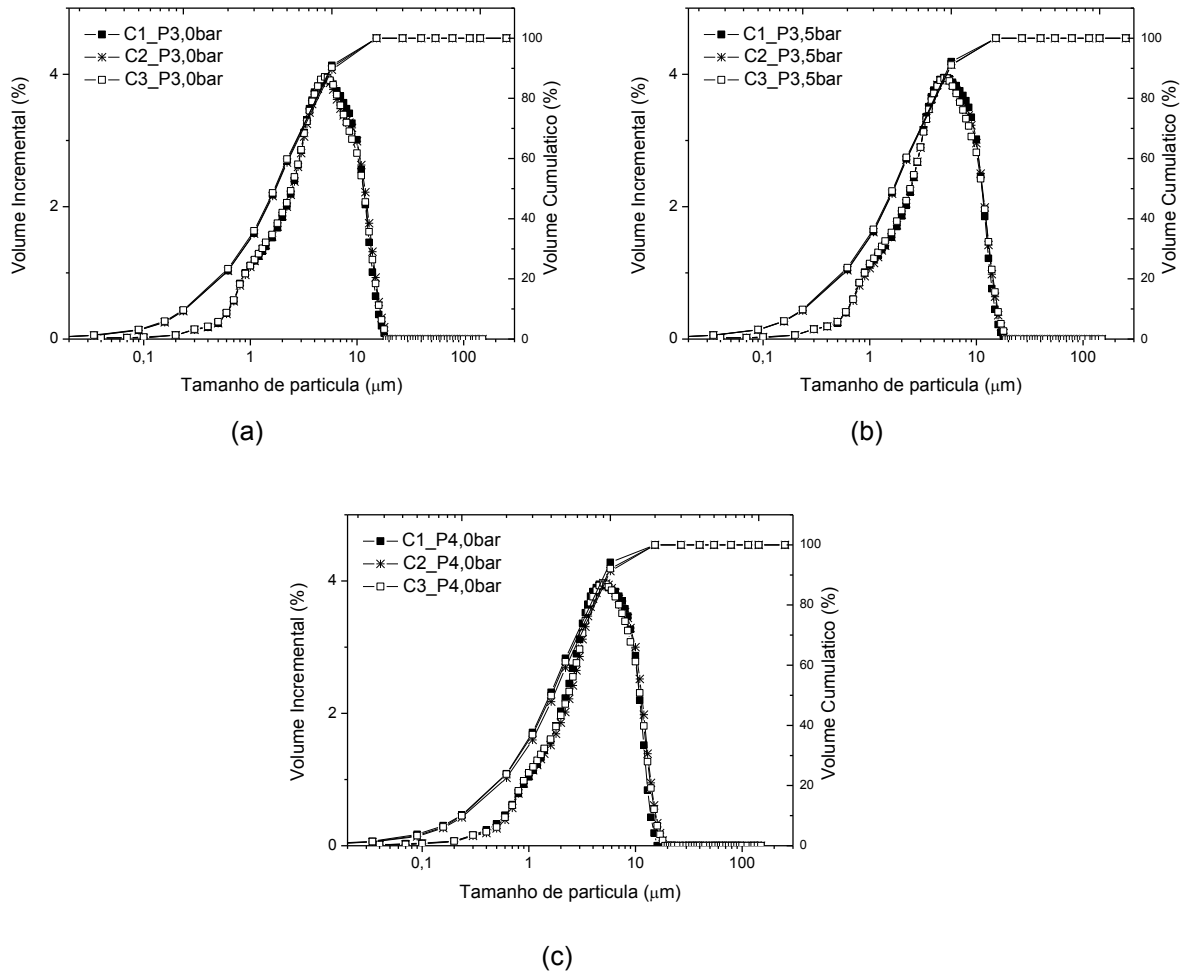


Figura 14: Curvas de distribuição de tamanho de partículas para a configuração ápex 3,0 mm; 4,0 mm e 5,0 mm / vórtex 6,0 mm e pressões 3,0(a), 3,5(b) e 4,0(c) bar.

### 3.3.2. Composição Química

A Tabela 3 contém os valores da composição química da argila AM1 *in natura* e após o processo de hidrociclonagem.

Quanto a composição química da amostra *in natura*, observou-se que a amostra apresentou elevado teor de  $\text{SiO}_2$  (54,6%), decorrente do óxido de silício presente na folha tetraédrica do argilomineral como também da sílica livre, ou seja, mineral acessório como mica e feldspato.

Tabela 3: Composição Química das Argilas AM1 in natura e após a Hidrociclonagem

Ensaio Nº	Configuração			Composição Química (%)						
	Ápex (mm)	Vórtex (mm)	Pressão (bar)	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	CaO %	Outros óxidos	PR
Sem Hidrociclonagem	-	-	-	54,6	21,3	6,9	3,3	2,6	2,3	8,9
1	3	5,5	3,0	49,7	25,0	6,8	2,0	0,9	2,4	12,4
2	3	5,5	3,5	51,5	26,1	6,0	2,1	0,8	1,7	11,5
3	3	5,5	4,0	51,0	25,9	5,9	2,1	0,8	1,8	12,5
4	4	5,5	3,0	50,0	25,5	5,5	2,9	0,7	2,3	13,0
5	4	5,5	3,5	49,9	25,3	6,7	2,1	1,0	2,2	12,4
6	4	5,5	4,0	50,0	25,3	7,0	2,0	1,0	2,2	12,4
7	5	5,5	3,0	49,9	25,6	6,4	1,9	0,7	2,2	13,0
8	5	5,5	3,5	50,4	25,7	7,3	2,0	0,8	1,6	12,1
9	5	5,5	4,0	50,9	25,7	6,5	2,0	0,9	2,2	11,7
10	3	5,0	3,0	49,5	24,7	8,1	1,9	0,9	3,5	11,7
11	3	5,0	3,5	50,4	25,4	6,2	2,0	0,9	2,3	12,5
12	3	5,0	4,0	51,1	25,6	5,5	2,0	1,0	2,2	12,5
13	4	5,0	3,0	49,6	25,3	6,3	2,0	0,7	2,4	12,9
14	4	5,0	3,5	49,5	25,1	7,0	2,0	0,9	2,3	12,5
15	4	5,0	4,0	50,9	25,7	5,4	2,2	0,8	2,2	12,9
16	5	5,0	3,0	50,1	25,3	5,9	1,9	0,9	2,3	13,1
17	5	5,0	3,5	49,7	25,3	7,0	2,0	0,9	2,4	12,7
18	5	5,0	4,0	49,8	25,2	6,9	1,9	0,9	3,3	12,4
19	3	6,0	3,0	51,2	25,6	5,7	2,2	1,0	1,9	12,0
20	3	6,0	3,5	49,0	23,9	7,9	1,8	1,3	3,6	12,3
21	3	6,0	4,0	50,0	25,4	6,3	2,1	0,9	2,7	12,1
22	4	6,0	3,0	50,1	24,6	7,5	2,0	1,1	1,5	12,7
23	4	6,0	3,5	49,8	25,2	7,0	2,0	1,0	2,3	13,1
24	4	6,0	4,0	50,7	25,6	6,0	2,1	1,0	2,3	12,3
25	5	6,0	3,0	50,6	25,7	6,2	2,1	0,9	2,2	12,6
26	5	6,0	3,5	51,5	25,9	6,0	2,1	0,9	1,6	12,7
27	5	6,0	4,0	51,2	25,9	5,5	2,2	0,8	2,1	12,3

PR – Perda ao Rubro / A = ápex com abertura de 5 mm / C = ápex com abertura de 5,5 mm / B = ápex com abertura de 6 mm

O valor do teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (21,3%) deriva da alumina presente nas camadas tetraédrica e octaédrica e de minerais acessórios como mica e feldspato.

Observou-se também a presença de  $\text{MgO}$  (3,3%) e  $\text{CaO}$  (2,6%) oriundos dos carbonatos de cálcio e dolomita.

O teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (6,9%) foi provavelmente oriundo da camada tetraédrica da esmectítica e de minerais acessórios como goetita e ilmenita, bem como do reticulado cristalino da illita e dos argilominerais do grupo das esmectíticas.

De acordo com Souza Santos, estes teores são típicos das argilas do Estado da Paraíba. Os resultados são semelhantes aos encontrados na literatura (Amorim *et al.*, 2004, e, Carrera *et al.*, 2008).

Comparando-se os valores das amostras *in natura* e após o processo de hidrociclonagem, apresentados na Tabela 3, observou-se uma diminuição na quantificação do óxido de silício para as amostras hidrociclonadas, mostrando mais uma vez a eficiência do processo de hidrociclonagem para a diminuição dos minerais acessórios.

Confrontando os resultados apresentados na Tabela 3 das amostras estudadas *in natura* e após o processo de hidrociclonagem, observou-se as seguintes variações da composição química:

- ✓ Redução nos teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{CaO}$ , que estão presentes nas frações mais grosseiras;
- ✓ Diminuição nos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  devido à eliminação, através da purificação de pequenas quantidades de minerais de ferro provavelmente na forma de goetita e hematita e um aumento nos teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  que está relacionada com o aumento do teor da fração argila, os demais teores apresentam-se similares.

De forma geral, verificou-se que ocorreu uma diminuição mais acentuada do teor de sílica das amostras após o processo de hidrociclonagem no ensaio 20, apresentado na Tabela 3. A amostra *in natura* mostrou-se de natureza policatiônica, caráter este que poderá ser inferido através da presença dos cátions de cálcio, magnésio e potássio.

### 3.3.3. Difração de Raios X

A Figura 15 ilustra as curvas de DRX da amostra AM1 *in natura*, com tratamento de etileno glicol e sem tratamento de etileno glicol.

Analisando as curvas de DRX observou-se que a amostra estudada apresentou as seguintes composições mineralógicas: argilomineral esmectítico (JCPDS 29-1497) caracterizado pelas distâncias interplanares basais de 15,66Å, 3,59Å, 4,43Å e 2,55Å, que foi confirmado pelo uso do etileno glicol que aumentou a distância interplanar de 15,66Å para 16,66Å; presença do argilomineral caulinitico (JCPDS 14-0164) caracterizado pela distância interplanar basal de 7,13Å; presença de minerais acessórios como o quartzo (JCPDS 46-1045), caracterizado pelas distâncias interplanares basais de 4,22Å, 3,34Å, 1,82Å e 1,66Å; o feldspato (JCPDS 13-0294) caracterizado pela distância interplanar basal de 3,22Å e calcita (JCPDS 05-0586) caracterizado pela distância interplanar basal 3,01Å. Esses resultados evidenciaram que as argila desse novo depósito apresentou quantitativamente elevados teores de minerais acessórios, como constatado anteriormente nos valores da sua composição química (Tabela 3). Os resultados são similares aos resultados preliminares estudados por Figueiredo *et al.*, 20014.

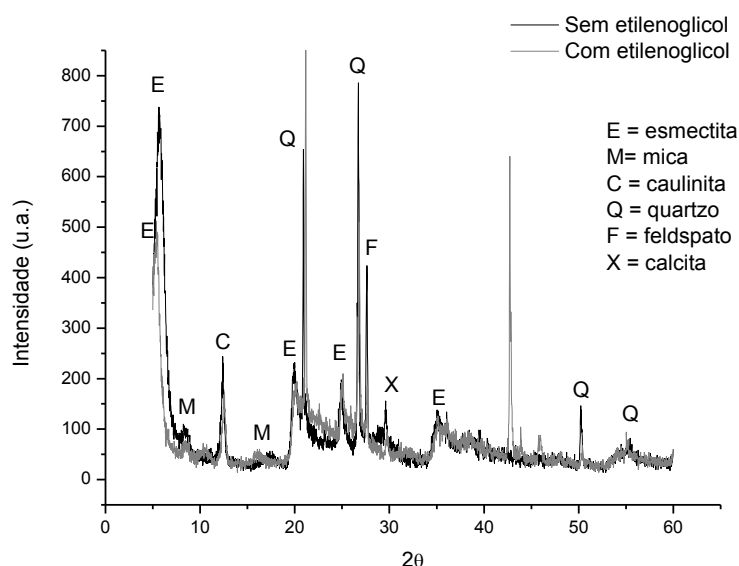


Figura 15: DRX da amostra AM1 *in natura* com e sem etileno glicol.

Nas Figuras 16, 17 e 18 estão ilustradas as curvas de DRX da amostra AM1, após o processo de hidrociclonagem para as configurações do hidrociclone apresentadas na Tabela 1.

Analisando-se a Figura 16, verificou-se a presença de argilomineral do grupo da esmectítica (JCPDS 29-1497), caracterizado pelas distâncias interplanares de aproximadamente 14Å e 4,43Å.

Percebe-se que ocorreu um pequeno aumento da intensidade dos picos característicos do argilomineral esmectítico em todos os ensaios, indicando que ocorreu aumento do teor do argilomineral. A presença de quartzo (JCPDS 46-1045) é caracterizada pelas distâncias de 4,26Å e 3,34Å. Observou-se também a presença do argilomineral caulínico (JCPDS 14-0164), caracterizado pelas distâncias interplanares de 7,22Å e 3,57Å.

É perceptível que ocorreu uma maior redução da intensidade do pico característico do quartzo nas configurações do diâmetro ápex (3, 4 e 5 mm), do diâmetro do vórtex (5,0 mm) e da pressão no duto de alimentação de 3, 3,5 e 4 bar, quando comparada com a Figura 15, resultado que está de acordo com os valores encontrados na composição química, apresentados na Tabela 3. Esses dados confirmam a eficiência da hidrociclonagem no processo de tratamento de argilas esmectíticas.

Analisando a Figura 17, observou-se a presença de argilomineral do grupo das esmectíticas (JCPDS 29-1497), caracterizado pelas distâncias interplanares de 14Å e 4,43Å. Observou-se também a presença do argilomineral caulínico (JCPDS 14-0164), caracterizado pelas distâncias interplanares de 7,22Å e 3,57Å.

Percebeu-se que ocorreu um pequeno aumento da intensidade dos picos característicos do argilomineral esmectítico em todas as amostras coletadas, indicando que ocorreu aumento do teor do argilomineral.

A presença de quartzo (JCPDS 46-1045) é caracterizada pelas distâncias de 4,26Å e 3,34Å. É perceptível que ocorreu uma maior redução da intensidade do pico característico do quartzo nas configurações do diâmetro do ápex (3, 4, e 5 mm), diâmetro do vórtex (5,5 mm) e pressões no duto de alimentação de 3, 3,5 e 4 bar, quando comparadas com a Figura 16, resultado que confirma os dados da composição química apresentados anteriormente na Tabela 3.

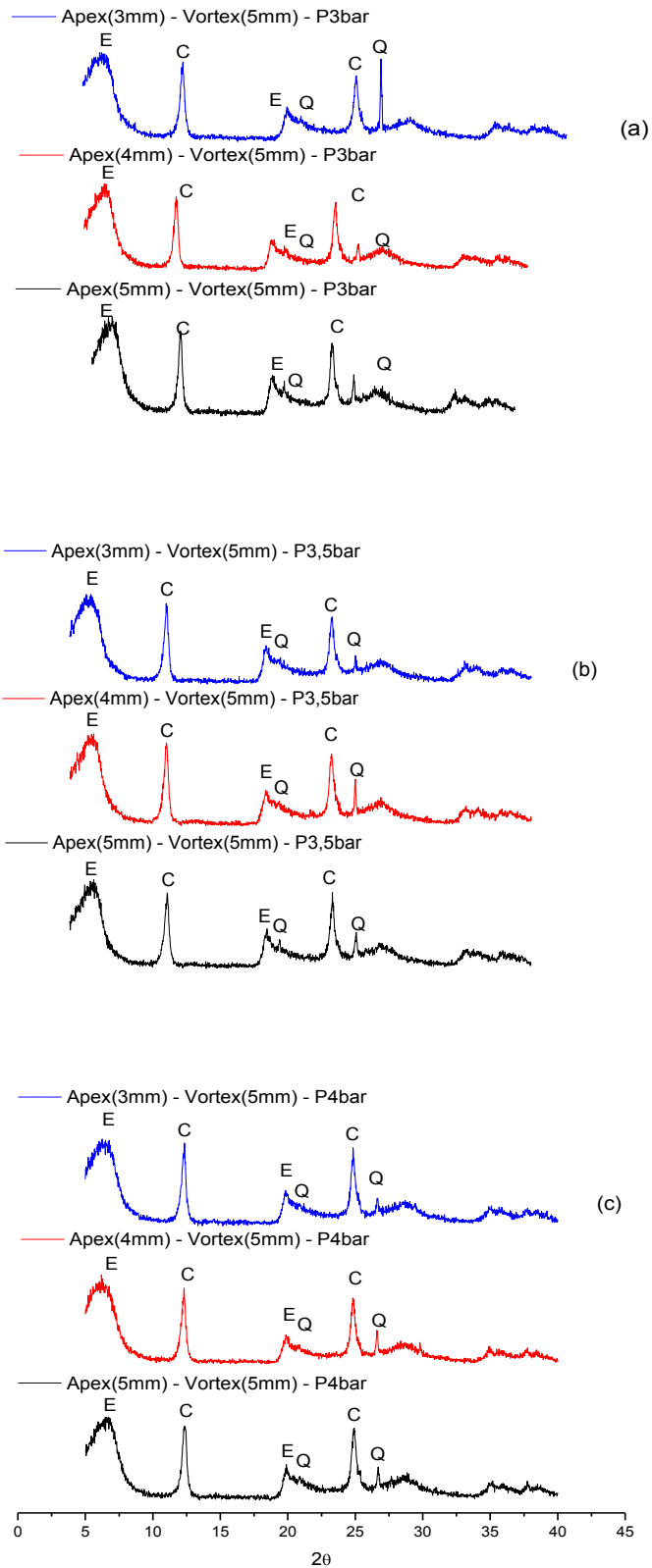


Figura 16: DRX para configuração do ápex (3,0 mm; 4,0 mm e 5 mm), do vórtex (5,0 mm) e pressões 3,0 (a), 3,5 (b) e 4,0 (c) bar (C=Caulinita, E=esmectítica, Q=Quartzo).

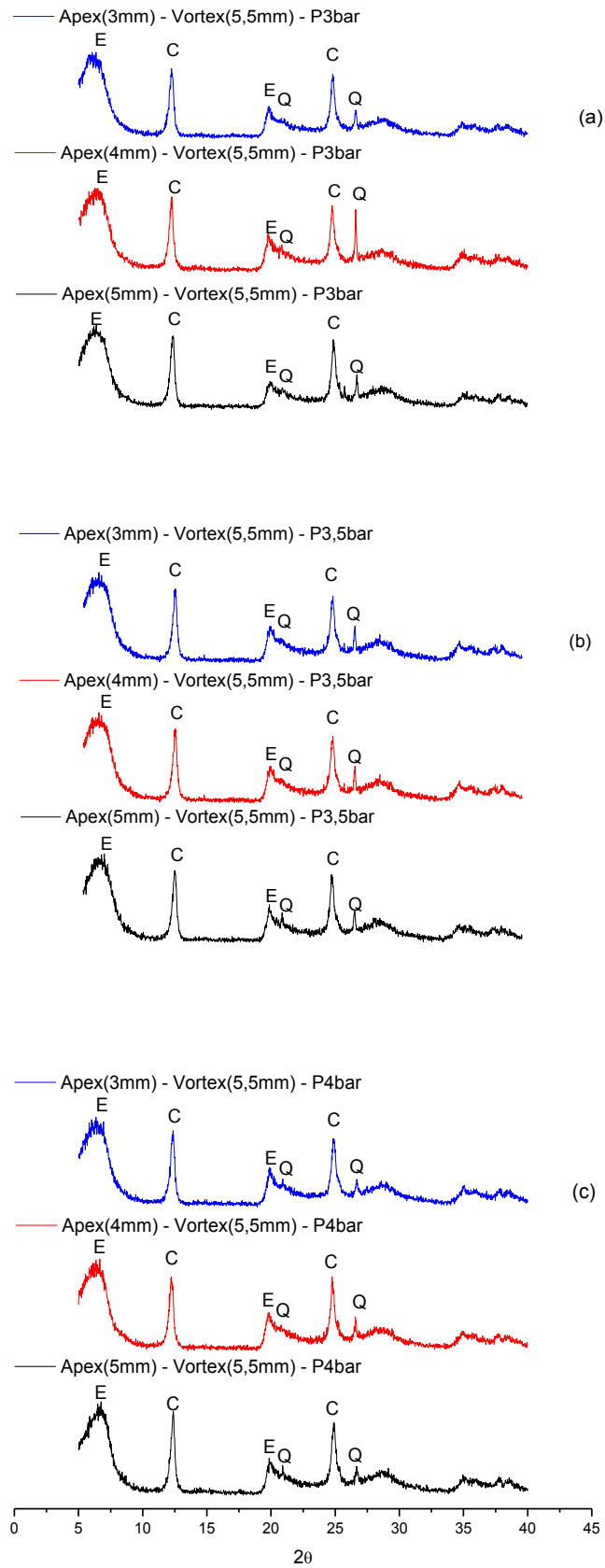


Figura 17: DRX para configuração do ápex (3,0 mm; 4,0 mm e 5,0 mm), do vórtex (5,5 mm) e pressões 3,0 (a), 3,5 (b) e 4,0 (c) bar (C=Caulinita, E= esmectítica, Q=Quartzo).

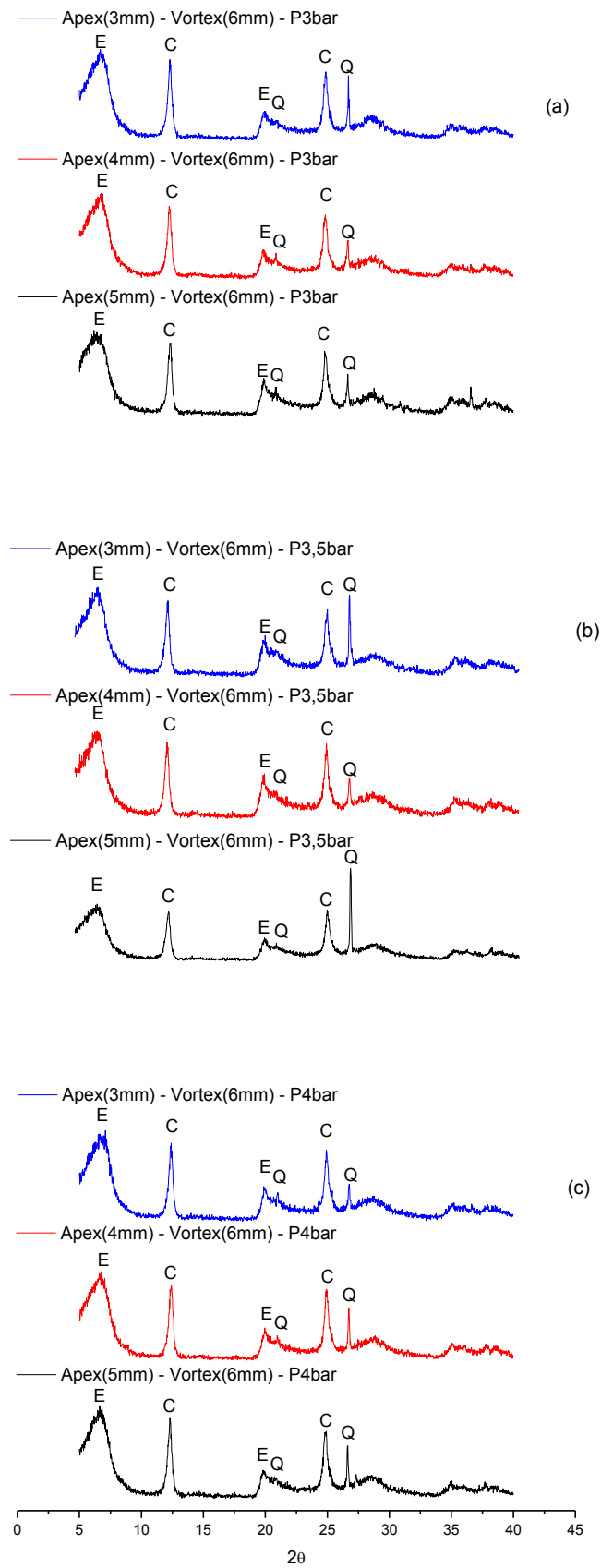


Figura 18: DRX para configuração do ápex (3,0 mm; 4,0 mm e 5,0 mm), vórtex (6,0 mm) e pressões 3,0 (a), 3,5 (b) e 4,0 (c) bar (C=Caulinita, E=esmerectílica, Q=Quartzo).



Analisando-se a Figura 18, observou-se a presença de argilomineral do grupo das esmectíticas (JCPDS 29-1497), caracterizado pelas distâncias interplanares de 14Å e 4,43Å. Observou-se também a presença do argilomineral caulínico (JCPDS 14-0164), caracterizado pelas distâncias interplanares de 7,22Å e 3,57Å.

Constatou-se que ocorreu um pequeno aumento da intensidade dos picos característicos do argilomineral esmectítico em todas as amostras coletadas, indicando que ocorreu aumento do teor do argilomineral. A presença de quartzo (JCPDS 46-1045) é caracterizada pelas distâncias de 4,26 Å e 3,34 Å.

Verificou-se também, que ocorreu uma maior redução da intensidade do pico característico do quartzo nas configurações: diâmetro do ápex (3, 4, e 5mm), diâmetro do vórtex (6,0 mm) e pressões no duto de alimentação de 3, 3,5 e 4 bar, quando comparadas com a Figura 15, resultado que confirma os dados da composição química apresentados na Tabela 3.

### **3.4. Conclusões Parciais - Caracterização**

Com o objetivo de estudar a influência das variáveis envolvidas no processo de hidrociclonagem para tratamento de argilas bentoníticas foi possível concluir que houve uma redução do tamanho médio equivalente das partículas de aproximadamente 19,2%, e um aumento do concentrado da fração argila ( $d < 2 \mu\text{m}$ ) de 44,7%, no ensaio 26, ver Tabela 2.

Quando comparamos a composição química das amostras *in natura* em relação às hidrociclonadas, observou-se uma diminuição na quantificação do óxido de silício (10,6%), óxido do ferro (21,7%), calcita (73,0%), dolomita (45,3%) para valores da pressão no duto da alimentação, do diâmetro do ápex e do diâmetro do vórtex diferentes.

Observou-se que as variáveis do processo têm uma influência significativa no processo de hidrociclonagem em relação a cada tipo de minerais acessórios presentes nas argilas, fato este que pode contribuir em muito para o uso dessas argilas em aplicações industriais.

Após o processo de hidrociclonagem constatou-se que em todos os ensaios as amostras apresentaram comportamento monomodal, com tamanho de

distribuição de partículas variando entre 0,1  $\mu\text{m}$  e 11  $\mu\text{m}$ , com maior concentração em torno de 5  $\mu\text{m}$ .

Comparando-se a distribuição granulométrica das amostras *in natura* com as amostras hidrociclonadas observou-se uma redução no diâmetro médio das partículas, sendo a maior redução próxima de 19,19%, sendo o diâmetro do ápex igual a 5 mm, diâmetro do vórtex igual a 6 mm e pressão no duto de alimentação igual a 3,5 bar, apresentados no ensaio 26 da Tabela 2.

O melhor valor da fração argila acumulada no overflow para ( $d \leq 2 \mu\text{m}$  e  $d \leq 5 \mu\text{m}$ ) foram 30,24% e 37,63%, respectivamente, obtido com as variáveis: diâmetro do ápex igual a 5 mm, diâmetro do vórtex igual a 6 mm e pressão no duto de alimentação igual a 3,5 bar, apresentados no ensaio 26 da Tabela 2.

#### 4. PLANEJAMENTO e OTIMIZAÇÃO do DIÂMETRO MÉDIO das PARTÍCULAS

Neste trabalho o planejamento experimental foi empregado no estudo do tratamento de argila esmectítica AM1, indicando quais variáveis do processo de hidrociclonagem são mais relevantes para eficiência granulométrica, avaliando a interação entre elas e, realizando a modelagem, otimização e simulação da variável resposta diâmetro médio das partículas no processo. O diâmetro médio das partículas foi avaliado em função dos fatores: i) pressão do duto de alimentação; ii) diâmetro do ápex e, iii) diâmetro do vórtex.

Foi usado o planejamento fatorial com adição de pontos centrais para modelar o processo de hidrociclonagem.

Na Tabela 4 estão contidos os valores da matriz de planejamento fatorial com adição de três pontos centrais, com os valores codificados e os valores reais.

Tabela 4: Matriz do Planejamento  $2^3$  com Três Pontos Centrais

Tratamento	Fator Ápex cod	Fator Vórtex cod	Fator Pressão Cod	Fator Ápex Real	Fator Vórtex Real	Fator Pressão Real
1	-1	-1	-1	3	5	3
2	+1	-1	-1	5	5	3
3	-1	+1	-1	3	6	3
4	+1	+1	-1	5	6	3
5	-1	-1	+1	3	5	4
6	+1	-1	+1	5	5	4
7	-1	+1	+1	3	6	4
8	+1	+1	+1	5	6	4
9	0	0	0	4	5,5	3,5
10	0	0	0	4	5,5	3,5
11	0	0	0	4	5,5	3,5

Legenda: Cod: Codificado; -1: Menor Nível; +1: Maior Nível

Para obtenção dos valores apresentados na Tabela 4, foi usado o planejamento fatorial com adição de três pontos centrais para realizar a otimização do processo de hidrociclonagem. Em seguida, foram obtidas as superfícies de contornos possibilitando determinar o ponto ótimo dos fatores, estudar os efeitos principais dos fatores e avaliar as interações entre os fatores adotados.

No estudo foi utilizado o MINITAB INC. STATISTICAL SOFTWARE - Data Analysis Software. Version 17, 2014.

A adição de pontos centrais permite avaliar a variância do erro experimental quando experimentos não são replicados nos pontos fatoriais. Os fatores adotados neste trabalho foram: diâmetro do ápex, diâmetro do vórtex e a pressão do duto de alimentação.

Utilizou-se no trabalho o planejamento fatorial  $b^k$  com adição de três repetições do ponto central (PtCt) onde o ponto central é a média aritmética dos níveis nos fatores. No planejamento  $b^k$ ,  $k$  representa o número de fatores e  $b$  representa o número de níveis.

A metodologia usada para modelagem, otimização e simulação do diâmetro médio das partículas foi desenvolvida de acordo com o fluxograma mostrado na Figura 19.

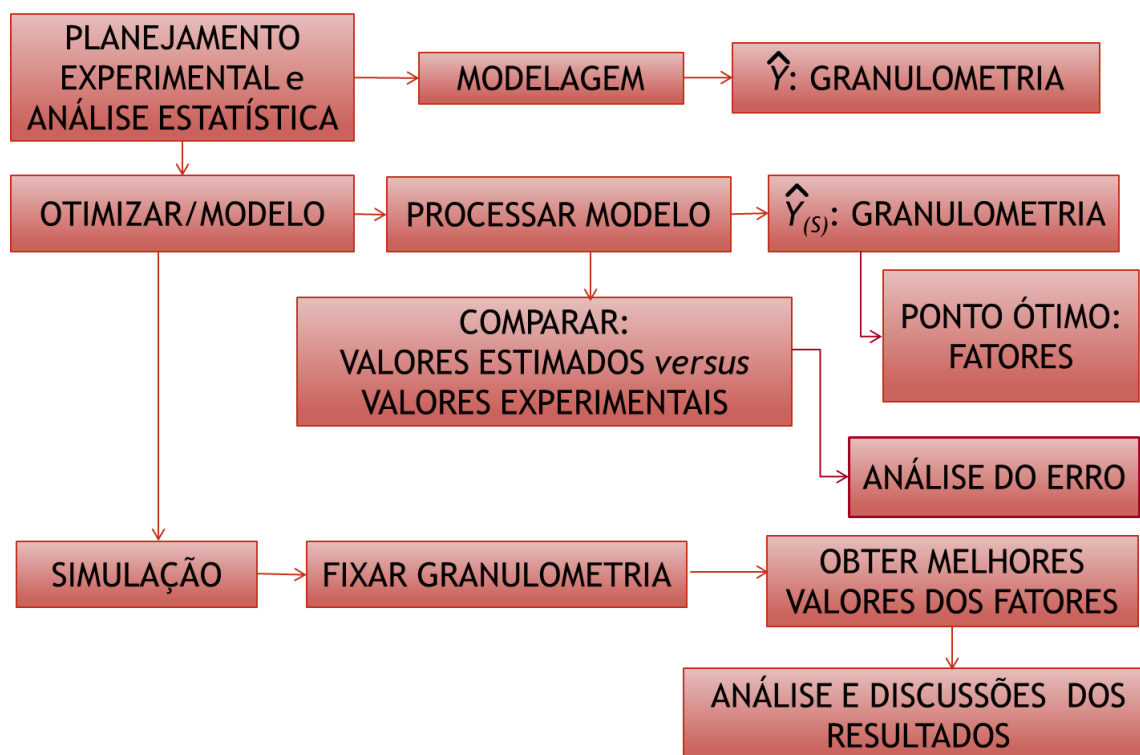


Figura 19 - Fluxograma da Metodologia usada para Modelagem, Otimização e Simulação do Diâmetro Médio das Partículas

Para verificar se existem efeitos significativos entre as respostas médias dos tratamentos, bem como validar o modelo utilizado foi realizada a Análise de Variância (Analysis of Variance - ANOVA). O procedimento foi empregado para inferir se tais efeitos realmente existem, a determinado nível de confiança ((Montgomery e Runger, 2003; Montgomery, 2008; MINITAB 17.0, 2014).

A Tabela 5 mostra a saída do *software Minitab* para ANOVA (Análise de Variância).

Tabela 5: Análise de Variância (ANOVA) para 3 fatores

Fontes de Variação	G.L	Soma do Quadrado (SQ)	Quadrado Médio Ajustado (QM)	Valor $F^1$ e $^2$
Efeitos principais	2	SQefeitos principais	QMefeitos principais	-
Interação	1	SQinteração	QMinteração	-
Curvatura	1	SQcurvatura	QMcurvatura	-
Erro	2	SQerro residual	QMerro	
Total	6	SQtotal	-	
$R^2$	$R^2_{\max}$	R		

Efeito Significativo ( $F_{\text{Cal}} > F_{\text{Tab}}$ ); 2. Efeito Não Significativo ( $F_{\text{Cal}} \leq F_{\text{Tab}}$ ); 3. G.L: Graus de liberdade; 4.  $R^2$ : Coeficiente de Determinação; 5.  $R^2_{\max}$ : Variação máxima explicável

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) representa a variação explicável do modelo, foi calculado usando a equação 3 (Montgomery e Runger, 2003; Montgomery, 2008).

$$R^2 = \frac{SQ_{\text{Efeito principal}}}{SQ_{\text{Total}}} \quad (3)$$

O coeficiente de correlação (R) representa a correlação entre as variáveis, foi calculado usando a equação 4 (Montgomery e Runger, 2003; Montgomery, 2008).

$$R = \sqrt{R^2} \quad (4)$$

O valor de R varia entre -1 e 1 e quanto mais próximo de 1 significa melhor resultado. O valor -1 indica uma correlação linear negativa e o valor 1 indica uma correlação linear positiva.

A porcentagem máxima de variação explicável ( $R^2_{\max}$ ) é calculada usando a expressão que representa o máximo de variação que o modelo explica. Este valor deve ser comparado com o valor obtido pelo modelo (Montgomery e Runger, 2003; Montgomery, 2008). O valor de  $R^2_{\max}$  foi calculado usando a equação 5.

$$R^2_{\max} = \frac{SQ_{Total} - SQ_{Puro\_erro}}{SQ_{Total}} \quad (5)$$

A Análise de Variância (ANOVA), realiza a decomposição da variação, ou seja, das variâncias em:

- i) variação atribuída às diferenças entre as unidades experimentais (quadrado médio do resíduo, QMR) e,
- ii) variação atribuída as diferenças entre as unidades experimentais e as diferenças causadas pelos tratamentos ou fatores (quadrado médio dos tratamentos, QMTrat).

O teste baseia-se em duas hipóteses:

- $H_0$ : Não existe efeito principal dos fatores, interação e curvatura (médias são iguais);
- $H_a$ : Existe pelo menos um efeito principal dos fatores, interação e curvatura (médias são diferentes).

Foi aplicado o teste F para comparar as médias. Se o valor de  $F_{Cal} > F_{Tab}$  as médias dos fatores ou interação são diferentes, ou seja, houve efeito do fator e/ou interação, as variáveis controláveis influenciaram na variável resposta. Se o valor de  $F_{Cal} \leq F_{Tab}$  as médias dos fatores ou interação são iguais, não haverá efeito

do fator e/ou interação e as variáveis controláveis não influenciaram na variável resposta.

Para o planejamento fatorial  $2^3$  com adição de 3 PtCt (pontos centrais), apresentamos o modelo a ser adotado nas equações 6 e 7 admitindo-se que as superfícies de resposta sejam uma função linear dos fatores, para obter o valor estimado do diâmetro médio ( $\mu\text{m}$ ).

$$y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_4 AB + \beta_5 BC + \beta_6 AC + \varepsilon \quad (6)$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_4 AB + \beta_5 BC + \beta_6 ABC + \beta_7 A^2 + \beta_8 B^2 + \beta_9 C^2 + \varepsilon \quad (7)$$

Onde  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8,$  e  $\beta_9$  são as estimativas dos parâmetros do modelo, enquanto que A, B e C representam os fatores adotados para o diâmetro do ápex, diâmetro do vórtex e pressão no duto de alimentação, respectivamente.

#### 4.1. Análise e Discussão dos Resultados

O planejamento experimental adotado foi do tipo  $2^3$  com adição de três pontos centrais. Foram adotados os fatores diâmetro do ápex (mm), diâmetro do vórtex (mm) e pressão no duto de alimentação (bar). Na Tabela 6 estão contidos os níveis correspondentes aos fatores.

Tabela 6: Fatores e Níveis dos Fatores

Fatores	Nível baixo (-1)	Ponto Central (0)	Nível Alto (+1)
Ápex	3,0	4,0	5,0
Vórtex	5,0	5,5	6,0
Pressão	3,0	3,5	4,0

Uma limitação no uso do planejamento  $2^k$  é a suposição da linearidade nos efeitos dos fatores. Os resultados do planejamento  $2^k$  são satisfatórios quando a suposição de linearidade se mantiver aproximada. Logo, a adição de PtCt é utilizada para ampliar o número de níveis em  $2^k$ , ou seja, passar de 2 para 3 níveis. Os

pontos centrais foram adicionados em triplicata, pois, estes não repercutem nas estimativas dos efeitos no planejamento experimental (Montgomery e Runger, 2003; Montgomery, 2009).

Na Tabela 7 estão contidos os resultados da ANOVA da variável resposta diâmetro médio das partículas ( $\mu\text{m}$ ).

Analisando os dados obtidos na ANOVA verifica-se ser provável adotar um modelo linear, pois não há curvatura na região avaliada.

Avaliando a Tabela 7, constatou-se que todos os fatores foram significativos ao nível de 95% de confiança, com exceção da interação entre os fatores (ápex e pressão).

Ponderando a interação entre os fatores (ápex e pressão), constata-se, com uma probabilidade de 5% de erro, que esses dois fatores ao interagirem não influenciam na resposta diâmetro médio das partículas.

Tabela 7: Análise de Variância (ANOVA) para três fatores do diâmetro médio ( $\mu\text{m}$ ).

Fontes de Variação	G.L	Soma do Quadrado (SQ)	Quadrado Médio Ajustado (QM)	Valor de F
Ápex	1	0,076050	0,076050	760,50 <sup>1</sup>
Vórtex	1	0,076050	0,031250	312,50 <sup>1</sup>
Pressão	1	0,042050	0,042050	420,50 <sup>1</sup>
Ápex*Vórtex	1	0,245000	0,245000	2450,00 <sup>1</sup>
Ápex*Pressão	1	0,000200	0,000200	2,00 <sup>2</sup>
Vórtex*Pressão	1	0,001800	0,001800	18,00 <sup>1</sup>
Ápex*Vórtex*Pressão	1	0,018050	0,018050	180,50 <sup>1</sup>
Curvatura	1	0,000200	0,096218	962,18 <sup>1</sup>
Erro	2	0,000200	0,000200	
Total	10	0,510818		
R <sup>2</sup> =99,96		R <sup>2</sup> max=99,96		R= 0,998

1. Efeito Significativo ( $F_{\text{CAL}} > F_{\text{Tab}}$ ); 2. Efeito Não Significativo ( $F_{\text{CAL}} < F_{\text{Tab}}$ ); 3. G.L: Graus de Liberdade; 4. R<sup>2</sup>: Coeficiente de Determinação; 5. R: Coeficiente de Correlação; 6. R<sup>2</sup>max: Explicação Máxima do Modelo



Os fatores ápex, vórtex e pressão quando analisados individualmente influenciam na resposta, bem como que os fatores (ápex e vórtex), (vórtex e pressão) e (ápex, vórtex e pressão); ao interagirem influenciam no diâmetro médio das partículas. A Figura 20 ilustra o gráfico de Pareto dos efeitos das respostas.

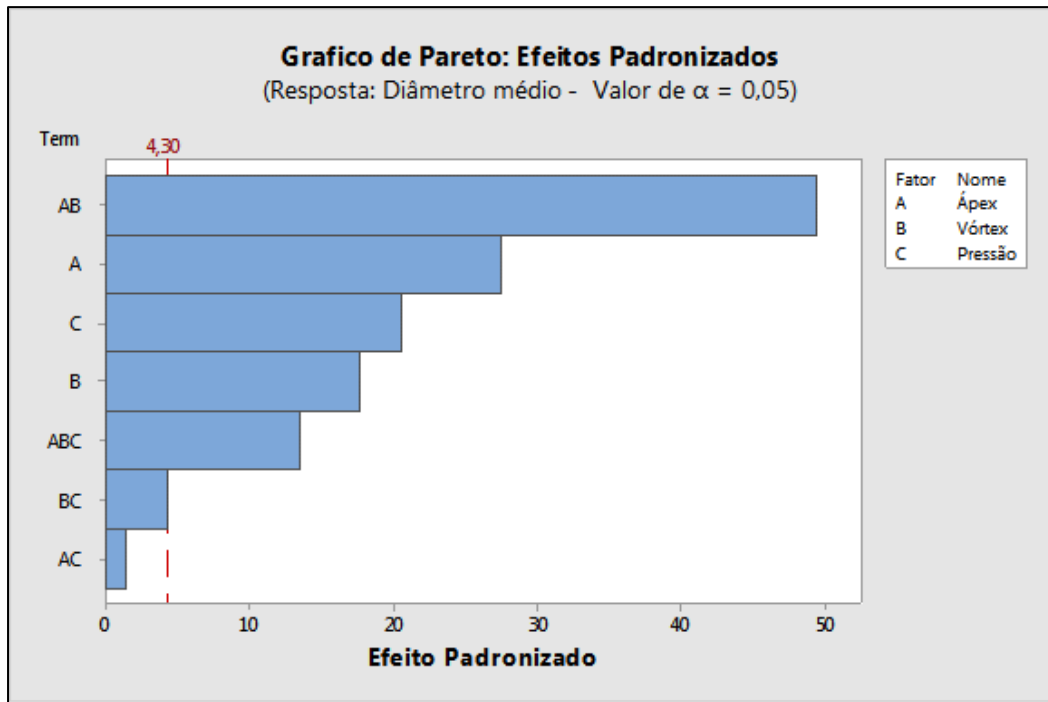


Figura 20: Gráfico de Pareto

Analisando a Figura 20 verifica-se que a linha tracejada corta os fatores A (Ápex), B (Vórtex) e C (Pressão) e as interações AB (Ápex e Vórtex), BC (Vórtex e Pressão) e ABC (Ápex, Vórtex e Pressão); portanto, os fatores acima descritos são significativos. O único fator que não é significativo é a interação AC (Ápex e Pressão).

A análise da Figura 20 confirma os resultados obtidos na ANOVA, apresentados na Tabela 7.

Com base nos resultados da ANOVA apresentados e considerando a significância dos coeficientes do modelo, foi possível obter o modelo apresentado na equação 8.

O modelo consegue explicar aproximadamente 99% dos dados e os efeitos principais foram todos significativos ao nível de 95% de confiança. O modelo foi descrito por:

$$Y (\mu\text{m}) = -17,15 + 5,450 \text{ \acute{A}pex} + 4,145 \text{ V\acute{o}rtex} + 4,325 \text{ Press\~{a}o} - 1,0150 \text{ \acute{A}pex} \times \text{V\acute{o}rtex} - 0,8200 \text{ V\acute{o}rtex} \times \text{Press\~{a}o} + 0,1900 \text{ \acute{A}pex} \times \text{V\acute{o}rtex} \times \text{Press\~{a}o} + 0,21000 \text{ Ct Pt}$$

..... (8)

Na Tabela 8 estão contidos os resultados do diâmetro médio das partículas ( $\mu\text{m}$ ) dos ensaios realizados. Os ensaios contidos na Tabela 8 foram escolhidos aleatoriamente dentre dos ensaios mostrados na Tabela 1. O menor valor do diâmetro médio foi obtido ensaio 8, contido na Tabela 08.

Tabela 8: Diâmetro Médio das Partículas ( $\mu\text{m}$ )

Ensaio	\acute{A}pex (A)	V\acute{o}rtex (B)	Press\~{a}o (C)	Di\~{a}metro M\~{e}dio ( $\mu\text{m}$ )
1	3,0	5,0	3,0	4,61
2	5,0	5,0	3,0	4,85
3	3,0	6,0	3,0	4,96
4	5,0	6,0	3,0	4,31
5	3,0	5,0	4,0	4,58
6	5,0	5,0	4,0	4,65
7	3,0	6,0	4,0	4,68
8	5,0	6,0	4,0	4,24
9	4,0	5,5	3,5	4,97
10	4,0	5,5	3,5	4,82
11	4,0	5,5	3,5	4,84

A Figura 21 ilustra os valores dos efeitos dos fatores principais para o diâmetro médio das partículas (diâmetro do ápex, diâmetro do vórtex e pressão no duto de alimentação).

Analisando a Figura 21, observou-se que o maior valor do diâmetro médio das partículas foi obtido no nível de menor valor dos fatores principais, ou seja: diâmetro do ápex igual a 3,0 mm; diâmetro do vórtex igual a 5,0 mm e pressão no duto de alimentação igual a 3,0 bar.

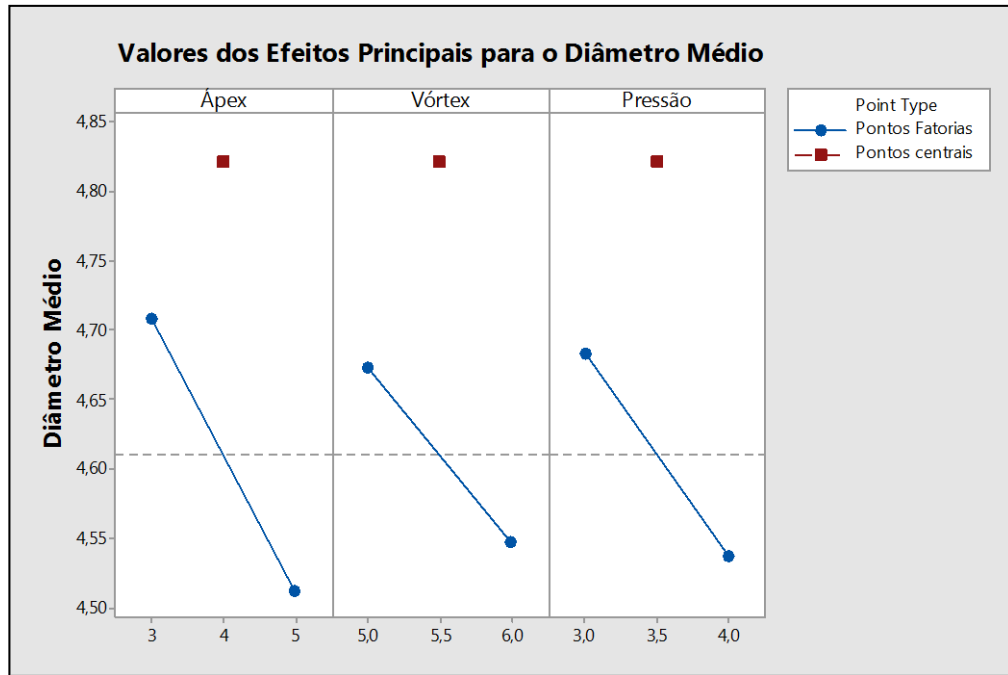


Figura 21: Valores dos Efeitos Principais para o Diâmetro Médio ( $\mu\text{m}$ )

Como o modelo explica 99,96% dos dados ( $R^2 = 99,96$ ), podemos concluir que há uma pequena contribuição do erro experimental no modelo.

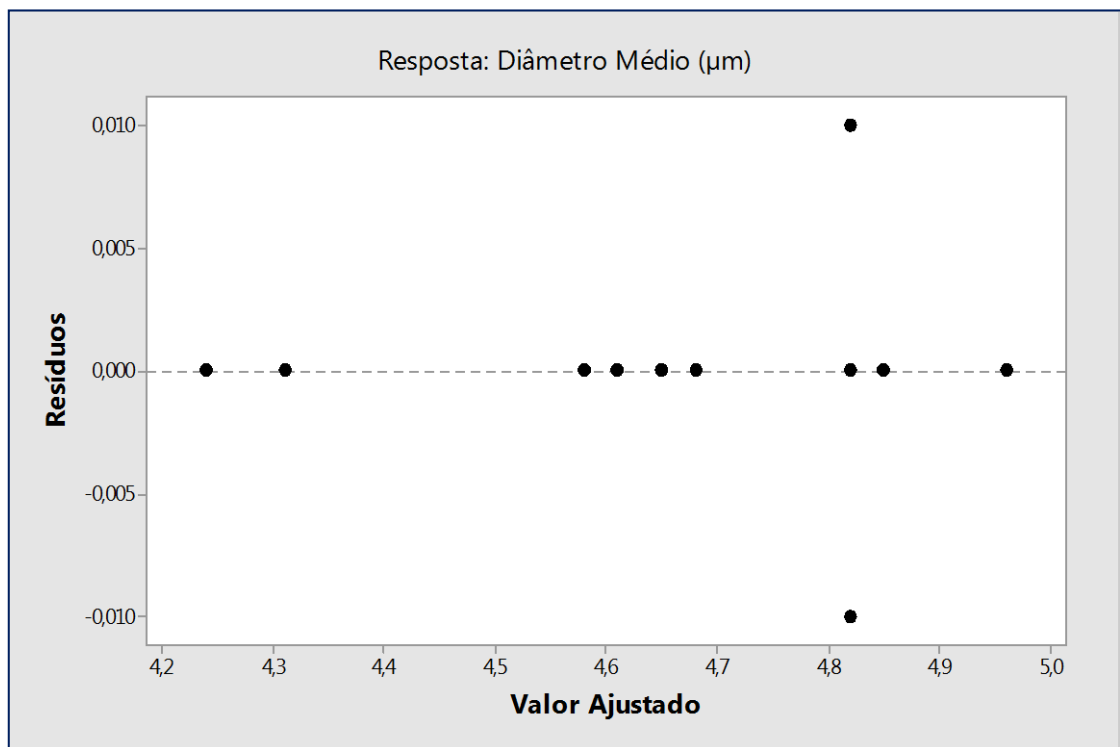


Figura 22: Valores Ajustados x Resíduos: Diâmetro Médio ( $\mu\text{m}$ )

A Figura 22 ilustra os valores ajustados *versus* resíduos. Analisando a Figura 22 verificou-se que os valores dos resíduos ficaram na faixa entre + 0,010 e - 0,010; corroborando com a apreciação do modelo.

Quanto a otimização da resposta estudada, foi possível obter o ponto ótimo ou estacionário dos fatores adotados. Neste caso o ponto ótimo do valor do diâmetro médio das partículas foi igual a 4,24  $\mu\text{m}$ , obtido no ensaio 8 da Tabela 7.

Na Figura 23 apresentamos os valores da resposta otimizada dos fatores diâmetro do ápex, diâmetro do vórtex e pressão no duto de alimentação. Analisando a Figura 23 verificou-se que o valor do ponto ótimo dos fatores foi 4,24  $\mu\text{m}$ . Esse valor representa a resposta otimizada dos fatores adotados inicialmente no planejamento experimental.

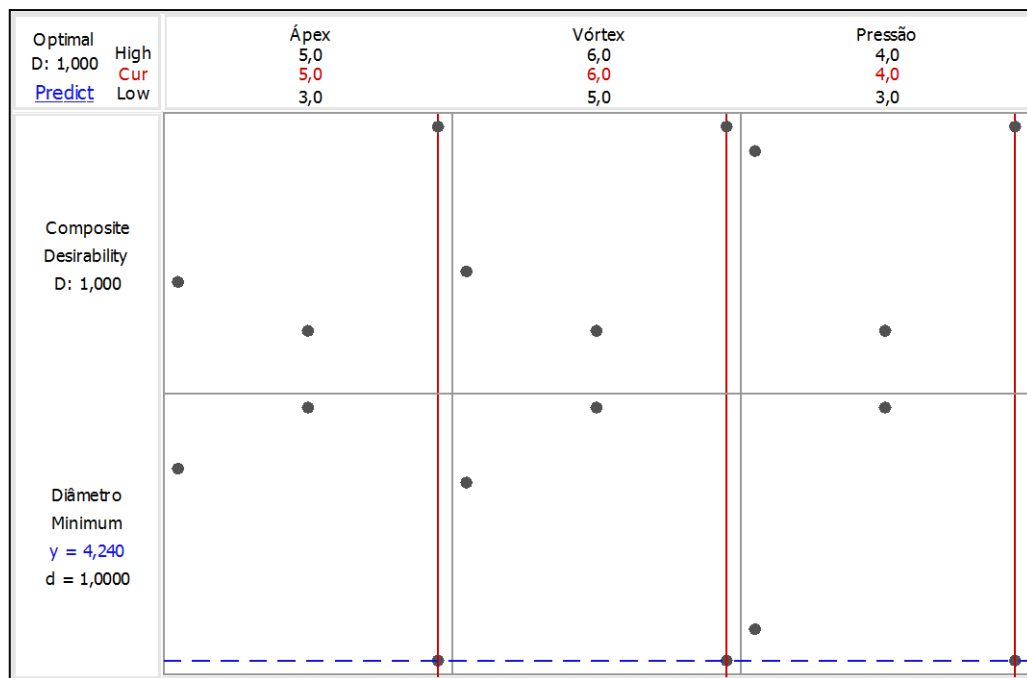


Figura 23: Resposta Otimizada dos Fatores Ápex, Vórtex e Pressão.

As Figuras 24 e 25 ilustram as superfícies de contorno que representam a resposta otimizada.

A Figura 24 delinea a superfície de contorno dos fatores significativos: diâmetro do ápex e diâmetro do vórtex.

Analisando a Figura 24 verificou-se que a melhor resposta (resposta minimizada) para o diâmetro médio das partículas está situada no lado superior direito da superfície, com valores abaixo de 4,30  $\mu\text{m}$ .

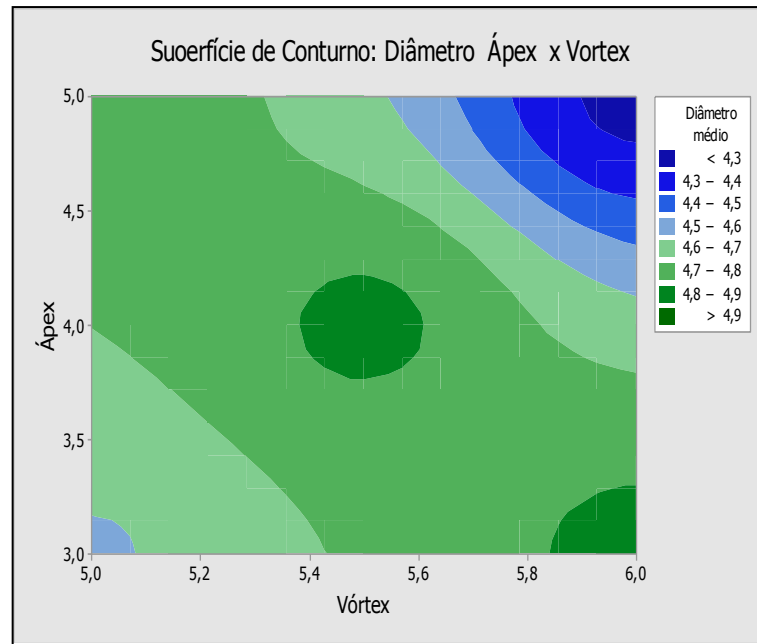


Figura 24: Superfície Ápex x Vortex

A Figura 25 ilustra a superfície de contorno dos fatores pressão e diâmetro do vórtex (efeitos principais e significativos).

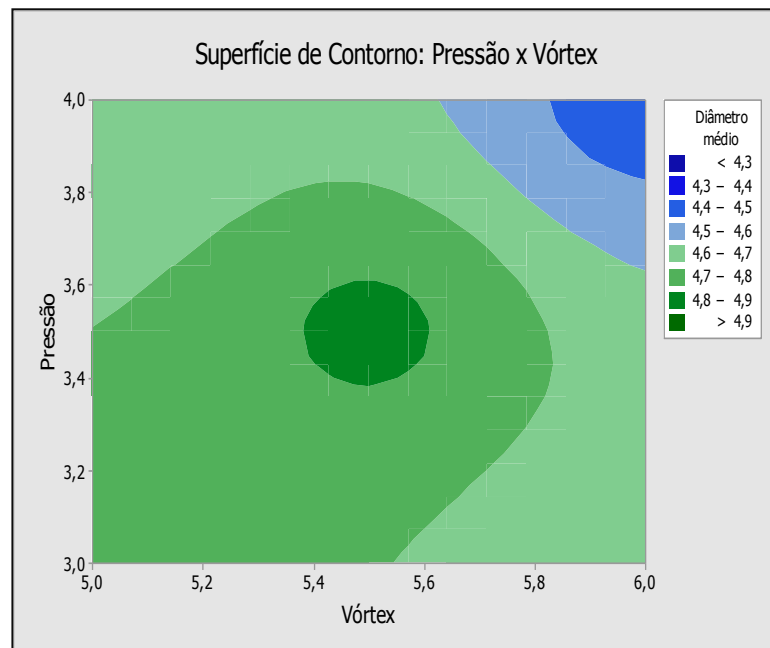


Figura 25: Superfície Pressão x Vortex

Analisando a Figura 25 constatou-se que a resposta otimizada para o diâmetro médio das partículas encontra-se no lado superior direito da superfície com valores abaixo de 4,30  $\mu\text{m}$ .

#### **4.2. Conclusões Parciais - Diâmetro Médio das Partículas.**

Realizada a análise dos resultados, obtidos por meio do software *MINITAB - Data Analysis Software, version 17, 2014*; da modelagem, otimização e simulação da variável resposta diâmetro médio das partículas, utilizando técnicas de planejamento fatorial com adição de pontos centrais, foi possível concluir que:

- ✓ Os fatores principais; diâmetro do ápex, diâmetro do vórtex e pressão do duto de alimentação, são significativos ao nível de 95% de confiança. Os fatores acima descritos quando analisados individualmente influenciam no diâmetro médio das partículas, ao nível de 95% de confiança (5% de probabilidade de erro);
- ✓ A interação dos fatores; (ápex e vórtex), (vórtex e pressão) e, (ápex, vórtex e pressão), são significativos ao nível de 95% de confiança, influenciam no diâmetro médio das partículas.
- ✓ A interação dos fatores (ápex e pressão) não é significativo, não influencia no diâmetro médio das partículas;
- ✓ O ponto ótimo ou a resposta minimizada foi igual a 4,24  $\mu\text{m}$  (diâmetro médio) que foi obtido no ensaio 8, mostrado na Tabela 8;
- ✓ As variáveis de processo têm uma influência significativa no processo de hidrociclonagem em relação a cada tipo de minerais acessórios presentes nas argilas, fato este que pode contribuir em muito para o uso dessas argilas em aplicações industriais.

## 5. ANÁLISE FENOMENOLÓGICA

Neste trabalho foram empregadas ferramentas de fluidodinâmica computacional (CFD) para previsão da eficiência de separação global e individual, e conseqüentemente da distribuição granulométrica do overflow, e, com isso, observar o comportamento fluidodinâmico do processo de hidrociclonagem, aplicando técnicas de CFD por meio do software Ansys CFX®.

A ferramenta computacional usada tornou possível construir a geometria do hidrociclone, gerar a malha numérica, ajustar os parâmetros de simulação, obter e analisar resultados.

Com o modelo de CFX validado a partir de dados experimentais obtidos pelo autor no Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da UFCG, foi possível à realização de experimentação numérica em condições diferentes das possíveis experimentalmente.

Empregando o modelo de CFX validado, foi possível aferir a eficiência granulométrica, variar a geometria do hidrociclone, variar a fração de sólidos na suspensão de alimentação e a pressão do duto de alimentação. Medir o percentual da fração argila para o diâmetro médio das partículas ( $d < 2 \mu\text{m}$  e  $d < 5 \mu\text{m}$ ) acumulada no overflow, bem como medir o percentual da fração silte acumula no overflow para o diâmetro médio das partículas ( $5 \mu\text{m} < d < 20 \mu\text{m}$ ), bem como a eficiência total do overflow e a vazão no duto de alimentação.

Com dados da experimentação numérica, em condições diferentes das possíveis experimentalmente, foi possível identificar o diâmetro característico das partículas e a constante de uniformidade da amostra de argilas bentoníticas oriundas de jazidas localizadas no Município de Cubatí no Estado da Paraíba.

### 5.1. Modelagem Matemática

#### Modelos de CFD para Fluxos Multifásicos

Hidrociclones são equipamentos amplamente utilizados em diferentes campos de aplicação da engenharia, no qual a suspensão de alimentação é

introduzida sob pressão tangencial para dentro do equipamento, criando uma força centrífuga e o fluxo das partículas nas paredes, conduzindo assim à separação de fases.

Os movimentos dinâmicos de fases dispersas em fluxos contínuos podem ser modelados mediante a adoção de dois fluidos (E-E), Eurliana - Eurliana, ou considerando a abordagem discreta (E-G), Eurliana - Lagrangiana. Na abordagem discreta a fase dispersa é simulada através do acompanhamento dos percursos individuais da população de partículas discretas, enquanto que na abordagem contínua as fases do fluxo coexistem no tempo e no espaço como interpenetrando continuamente.

Neste trabalho, empregando o software Ansys CFX<sup>®</sup>, utilizou-se a abordagem E-E, na qual o conjunto de partículas de mesmo tamanho é tratado como um fluido. Os modelos matemáticos são apresentados abaixo (Shepherds Bush et. al., 2015):

#### **Conservação da Massa:**

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_i \rho_i) + \nabla(\alpha_i \rho_i u_i) = 0 \quad (9)$$

#### **Conservação da Quantidade de Movimento:**

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_i \rho_i u_i) + \nabla(\alpha_i \rho_i u_i u_i) = -\alpha_i \nabla p + \alpha_i \rho_i g_i + \nabla \alpha_i \tau_i + F_i \quad (10)$$

**A soma das frações volumétricas deve ser igual a unidade:**

$$\sum_{j \neq i} a_j = 1 \quad (11)$$



A despeito de uma configuração simples, o hidrociclone tem um campo de fluxo complexo: há forte circulação, campos de turbulência complexos, formação de zonas de circulação fechadas e o desenvolvimento de núcleo de ar próximo à zona do eixo central. A difusão turbulenta evita que partículas finas se acumulem próximas às paredes do hidrociclone conduzindo-as a se espalhar ao longo de todo espaço do hidrociclone (Shepherds Bush et. al., 2015).

Tendo em vista a ocorrência de escoamento turbulento, caracterizado por rotação e flutuação de velocidade, foi necessário a implementação de um modelo de turbulência que leve esta constatação em consideração.

Apresentamos a seguir o modelo SST (Shear Stress Transport) K-Ômega, com a correção de curvatura de turbulência utilizado.

### Modelo de Turbulência - SST / K-W

#### ➤ Energia Cinética de Turbulência

$$\nabla \cdot (\alpha_l \rho U k) = \nabla \cdot \left[ \alpha_l \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{k3}} \right) \nabla k \right] + (P_k - \beta' \rho k \omega) \alpha_l \quad (12)$$

#### ➤ Frequência de Turbulência

$$\nabla \cdot (\alpha_l \rho U \omega) = \nabla \cdot \left[ \alpha_l \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\omega 3}} \right) \nabla \omega \right] + (1 - F_1) \rho \frac{2}{\sigma_{\omega 2} \omega} [\nabla k \nabla \omega + \alpha_3 \frac{\omega}{k} P_k - \beta_3 \rho \omega^2] \alpha_l \quad (13)$$

$$v_t = \frac{a_1 k}{\max(a_1 w, S F_2)} \quad (14)$$

$$v_t = \frac{\mu_t}{\rho} \quad (15)$$

➤ **Correções de Curvatura**

$$P_k \rightarrow P_k f_r \quad (16)$$

$$f_r = C_{scale} \max\{\min(f_{rotation}, 1.25), 0.0\} \quad (17)$$

$$f_{rotation} = (1 + c_{r1}) \frac{2r^*}{1+r^*} [1 - c_{r3} \tan^{-1}(c_{r2} \tilde{r})] - c_{r1} \quad (18)$$

$$r^* = \frac{S'}{\Omega} \quad (19)$$

$$\tilde{r} = \Omega_{ij}^{cc} \left( \frac{2\Omega_{ij}}{\Omega_{mag}} \right) / D^{0.5} \quad (20)$$

$$\Omega_{ij}^{cc} = S'_{ij} \left[ \frac{DS'_{ij}}{Dt} + (\varepsilon'_{imn} S'_{jn} + \varepsilon'_{jmn} S'_{in}) \right] \Omega_m^{rot} / D \quad (21)$$

$$\Omega_{ij} = 0.5 \left[ \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + 2\varepsilon'_{mji} \Omega_m^{rot} \quad (22)$$

$$D = \max(S'^2, 0.09\omega^2) \quad (23)$$

$$S'^2 = 2S'_{ij} S'_{ij} \quad (24)$$

$$\Omega^2 = 2\Omega_{ij} \Omega_{ij} \quad (25)$$

$$\Omega_{mag} = (\Omega_{12}^2 + \Omega_{13}^2 + \Omega_{23}^2)^{0.5} \quad (26)$$

## 5.2. Metodologia

A simulação do processo de hidrociclonagem do equipamento utilizado no estudo em tela, foi realizada utilizando-se o software Ansys CFX<sup>®</sup>, tendo como etapas de execução: i) a modelagem da geometria; ii) a geração da malha; iii) a definição de condições operacionais; iv) a validação do modelo utilizado, a partir de dados experimentais obtidos pelo autor no Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais do CCT/UFCG, e, v) a aplicação do modelo com a realização de experimentação numérica em condições diferentes das possíveis experimentalmente

A metodologia utilizada na análise fenomenológica está apresentada no fluxograma mostrado na Figura 26.

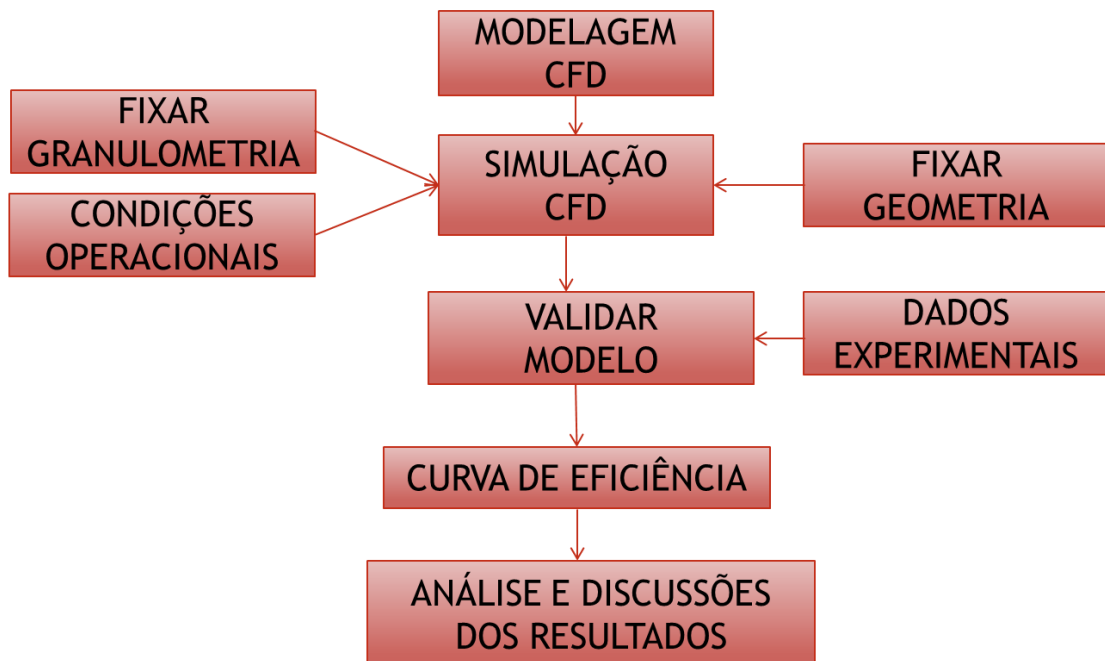


Figura 26: Fluxograma da Metodologia usada na Modelagem Fenomenológica

## 5.3. Estudo de Casos

Foram simulados 6 testes com a finalidade de validar o modelo CFX, bem como verificar o desempenho do hidrociclone em estudo em diferentes condições

operacionais. Para tanto, o diâmetro do ápex, o diâmetro do vórtex e a pressão no duto de alimentação foram variadas.

Na Tabela 9 estão contidos os valores utilizados nas condições operacionais estudadas; para o diâmetro do ápex, para o diâmetro do vórtex e para a pressão do duto de alimentação. A concentração de sólido na suspensão de alimentação foi mantida constante em 4%, valor usado nos ensaios experimentais.

Tabela 9: Condições Operacionais Estudadas

Teste	Ápex (mm)	Vórtex (mm)	Pressão (bar)
1	3,0	5,5	3,0
2	3,0	5,5	4,0
3	3,0	6,0	3,0
4	3,0	6,0	4,0
5	5,0	6,0	3,0
6	5,0	6,0	4,0

As frações volumétricas para cada diâmetro de partícula presente na carga injetada foram obtidas a partir de dados da análise granulométrica apresentada no anexo.

#### 5.4. Geometria

A geometria do hidrociclone utilizado foi gerada baseada nas dimensões do hidrociclone modelo RWK 42L fabricado pela Netzsch AWK. A Figura 27 apresenta as cotas do equipamento.

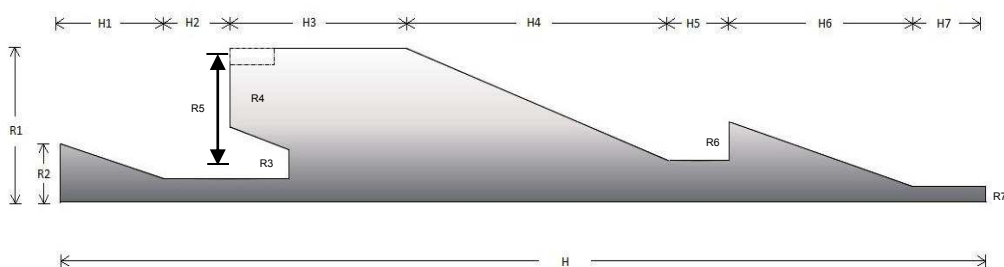


Figura 27: Cotas do Hidrociclone do Estudo.

Nas Tabelas 10 e 11 estão contidos os valores das cotas do hidrociclone modelo RWK 42L, utilizado no estudo, sendo “V” e “A” variáveis (“V” diâmetro do vórtex e “A” diâmetro do ápex).

Tabela 10: Cotas do Hidrociclone Estudado

H <sub>1</sub> (mm)	H <sub>2</sub> (mm)	H <sub>3</sub> (mm)	H <sub>4</sub> (mm)	H <sub>5</sub> (mm)	H <sub>6</sub> (mm)	H <sub>7</sub> (mm)	H <sub>8</sub> (mm)
60	12,5	55	55	15	30	75	7,5

Tabela 11: Cotas do Hidrociclone Estudado

R <sub>1</sub> (mm)	R <sub>2</sub> (mm)	R <sub>3</sub> (mm)	R <sub>4</sub> (mm)	R <sub>5</sub> (mm)	R <sub>6</sub> (mm)	R <sub>7</sub> (mm)
10	7,5	2,5	V	6	2	A

Posteriormente a geração da base do corpo do hidrociclone foi possível determinar o posicionamento da entrada para alimentação do equipamento, de forma que fosse direcionada tangencialmente, objetivando intensificar a ação da força centrífuga no sistema como ilustrado na Figura 28, por meio de uma representação esquemática do equipamento em estudo.

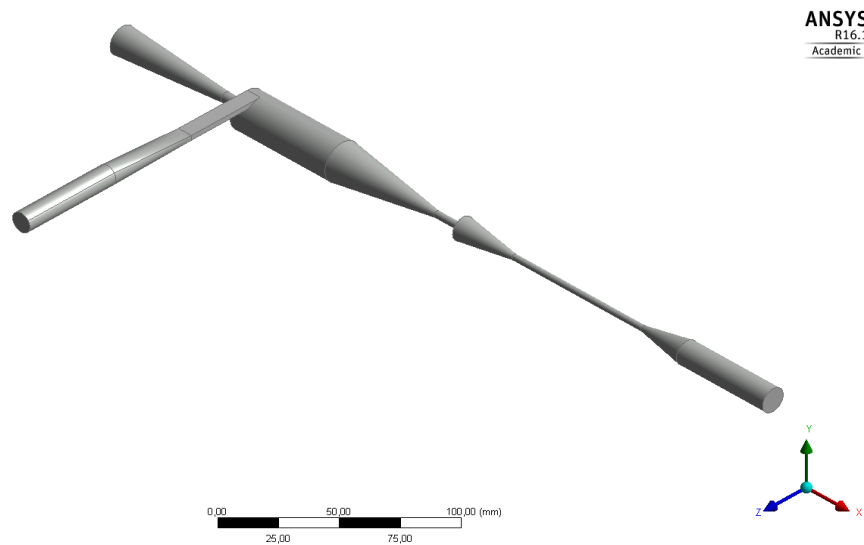


Figura 28: Representação Esquemática do Hidrociclone

## 5.5. Teste de Malha

Para escolha do tipo de malha a ser utilizada foram realizadas três simulações, aplicando-se as variáveis do hidrociclone e os tipos de malha apresentados na Tabela 12, bem como os valores da análise granulométrica mostradas no anexo.

Em seguida, os resultados das simulações foram comparados com os dados dos ensaios experimentais realizados pelo autor, para valores da fração argila acumulada no overflow para o diâmetro médio das partículas  $d < 2 \mu\text{m}$  e  $d < 5 \mu\text{m}$ .

Tabela 12: Valores das Variáveis do Hidrociclone utilizados no Teste de Malha

Simulação	Tipo de Malha	Concentração de sólidos (%)	Diâmetro do ápex (mm)	Diâmetro do vórtex (mm)	Pressão (bar)
1	Grosseira	4,0	4,0	5,5	3,5
2	Mediana	4,0	4,0	5,5	3,5
3	Refinada	4,0	4,0	5,5	3,5

A malha tipo grosseira tem 78.378 elementos e 166.654 nós, a malha tipo mediana tem 474.067 elementos e 888.773 nós e a malha tipo refinada tem 872.735 elementos e 1.562.434 nós.

Os valores da simulação 1 estão apresentados na Tabela 13. Analisando os dados da simulação 1 verificou-se que:

1. Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$ , constatou-se que o valor obtido na simulação do modelo CFX foi de 24,90% e o valor da fração acumula medida no ensaio experimental foi de 22,85%. O erro percentual do valor da fração acumulada no overflow na simulação CFX comparativamente ao valor da fração medida experimentalmente foi próxima de 8,97%.

2. O valor da fração argila acumulada no overflow na simulação do modelo CFX para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi de 65,32% e o valor da fração acumula medida no ensaio experimental foi de 59,57%. O erro percentual do valor da fração acumulada no

overflow na simulação CFX comparativamente ao valor da fração medida no ensaio experimental foi de aproximadamente 9,67%.

Tabela 13: Simulação - Malha Grosseira

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	Eficiência	$\varepsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	
					MODELO CFX %	Experimental %
0,04	22,0755	77,9245	0,0005	0,060029	0,06	0,05
0,07	22,0751	77,9249	0,0013	0,156076	0,22	0,2
0,1	22,0824	77,9176	0,001	0,120048	0,34	0,32
0,25	22,0468	77,9532	0,0081	0,97283	1,31	1,25
0,5	22,0658	77,9342	0,0155	1,861134	3,17	3,09
0,75	22,1139	77,8861	0,0248	2,975976	6,15	5,86
1	22,187	77,813	0,0342	4,100116	10,25	9,48
2	22,9812	77,0188	0,1235	14,65486	24,90	22,85
3	24,0573	75,9427	0,1161	13,58426	38,49	35,55
4	25,1319	74,8681	0,1228	14,16488	52,65	48,35
5	26,4517	73,5483	0,1118	12,66871	65,32	59,57
10	37,6392	62,3608	0,3202	30,76457	96,08	91,19
20	76,6323	23,3677	0,1202	4,327512	100,41	100

Os valores da simulação 2 da Tabela 12 estão mostrados na Tabela 14. Analisando os dados da simulação 2 constatou-se que:

1. O valor da fração argila acumulada no overflow na simulação do modelo CFX para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi de 24,31% e o valor da fração acumulada medida no ensaio experimental foi de 22,85%. O erro percentual do valor da fração acumulada no overflow na simulação CFX comparativamente ao valor da fração medida experimentalmente foi de aproximadamente 6,39%.

2. Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$ , constatou-se que o valor da fração acumulada na simulação do modelo CFX foi de 63,59% e o valor da fração acumulada medida experimentalmente foi de 59,57%. O erro percentual do valor da fração acumulada no overflow na simulação CFX comparativamente ao valor da fração medida experimentalmente foi de aproximadamente 6,67%.

Tabela 14: Simulação - Malha Mediana

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	
					MODELO CFX %	Experimental %
0,04	24,0143	75,9857	0,0005	0,05853555	0,06	0,05
0,07	24,0149	75,9851	0,0013	0,152191228	0,21	0,2
0,1	24,0157	75,9843	0,001	0,117068943	0,33	0,32
0,25	24,0247	75,9753	0,0081	0,948146123	1,28	1,25
0,5	24,0563	75,9437	0,0155	1,813599058	3,09	3,09
0,75	24,1092	75,8908	0,0248	2,899737218	5,99	5,86
1	24,1839	75,8161	0,0342	3,994895078	9,98	9,48
2	24,7173	75,2827	0,1235	14,32451661	24,31	22,85
3	25,8057	74,1943	0,1161	13,27151776	37,58	35,55
4	27,191	72,809	0,1228	13,77530629	51,36	48,35
5	28,9678	71,0322	0,1118	12,23530783	63,59	59,57
10	41,7762	58,2238	0,3202	28,72365522	92,31	91,19
20	24,0143	28,1166	0,1202	5,206970308	97,52	100

Os valores da simulação 3 da Tabela 12 estão mostrados na Tabela 15. Analisando os dados da simulação 3 constatou-se que:

Tabela 15: Simulação - Malha Refinada

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	
					MODELO CFX %	Experimental %
0,04	24,5907	75,4093	0,0005	0,056455	0,06	0,05
0,07	24,5912	75,4088	0,0013	0,146782	0,20	0,20
0,1	24,5919	75,4081	0,001	0,112909	0,32	0,32
0,25	24,5993	75,4007	0,0081	0,914469	1,23	1,25
0,5	24,6257	75,3743	0,0155	1,749298	2,98	3,09
0,75	24,6706	75,3294	0,0248	2,797209	5,78	5,86
1	24,7357	75,2643	0,0342	3,854108	9,63	9,48
2	25,1994	74,8006	0,1235	13,83187	23,46	22,85
3	26,1125	73,8875	0,1161	12,84434	36,31	35,55
4	27,2217	72,7783	0,1228	13,38163	49,69	48,35
5	28,582	71,418	0,1118	11,95524	61,64	59,57
10	37,3688	62,6312	0,3202	30,02761	91,67	91,19
20	52,3087	47,6913	0,1202	8,583261	100,26	100

1. Quanto ao valor da fração argila ( $d \leq 2 \mu\text{m}$ ) acumulada no overflow na simulação do modelo CFX verificou-se que foi de 23,46% e o valor da fração



acumula medida no ensaio experimental foi de 22,85%. O erro percentual do valor da fração acumulada no overflow da simulação CFX comparativamente ao valor da fração medida experimentalmente foi de aproximadamente 2,67%.

2. O valor da fração argila ( $d \leq 5 \mu\text{m}$ ) acumulada na simulação do modelo CFX foi de 61,64% e o valor da fração acumulada medida no ensaio experimental foi de 59,57%. O erro percentual do valor da fração acumulada no overflow da simulação CFX comparativamente ao valor da fração medida experimentalmente foi de aproximadamente 3,48%.

Apresentamos na Tabela 16 o tempo de processamento e a eficiência total do overflow de cada simulação realizada para escolha do tipo de malha;

Tabela 16: Dados do Teste de Malha

Simulação	Tipo de Malha	Tempo de processamento (s)	Eficiência total do overflow (%)
1	Grosseira	1h 21min 58s	64,906
2	Mediana	3h 49min 19s	65,054
3	Refinada	6h 59min 12s	66,786

Fundamentado nas análises acima descritas, bem como no tempo de processamento e na eficiência total do overflow apresentado na Tabela 16, podemos assegurar que:

- ✓ Para fração argila acumulada no overflow ( $d \leq 2 \mu\text{m}$ ), o menor erro percentual do valor da simulação CFX comparativamente ao valor da fração medida experimentalmente, foi obtido quando se utiliza a malha refinada;
- ✓ Quanto à fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$ , o menor erro percentual da fração argila acumulada na simulação do modelo CFX comparativamente ao valor da fração medida experimentalmente, também foi obtido quando empregada à malha refinada;
- ✓ A maior eficiência total no overflow foi alcançada na malha refinada;
- ✓ O tempo de processamento aumenta proporcionalmente ao acréscimo do número de elementos e nós das malhas.

Pelo exposto, concluímos que não há necessidade de maior refinamento da malha, pois os resultados já são independentes da malha.

Mesmo assim, foi gerada uma malha tetraédrica não estruturada com refinamentos nas paredes, por meio de inflações, e próximo à junção de partes sólidas, com uma quantidade de 1.562.434 nós e 872.735 elementos, como mostrado nas Figuras 29 e 30 por meio de diferentes perspectivas.

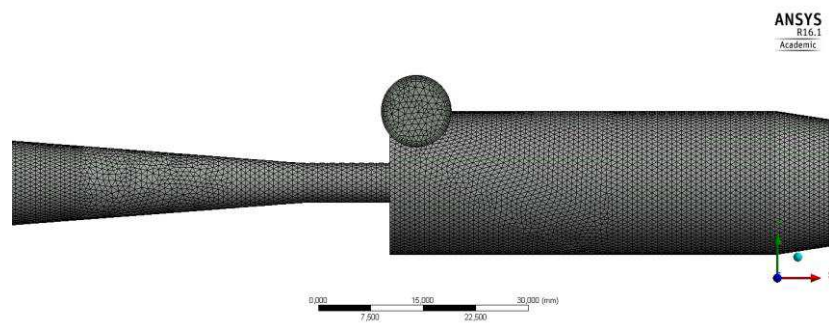


Figura 29: Visão Isométrica da Malha do Hidrociclone

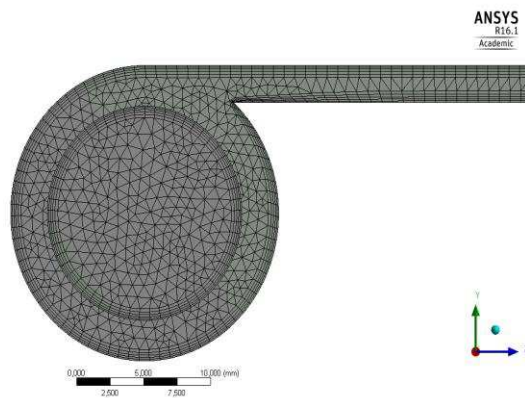


Figura 30: Visão Superior da Malha do Hidrociclone

## 5.6. Análise e Discussão dos Resultados

### 5.6.1. Validação do Modelo

Para validar o modelo CFX foram utilizados dados da análise granulométrica mostrada no anexo, realizada pelo autor no Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais do CCT/UFCG, utilizando amostra de argila bentoníticas AM1, tratada por meio de hidrociclonagem, empregando o hidrociclone modelo RWK 42L fabricado pela Netzsch AWK, Alemanha, com capacidade de separação de partículas com diâmetro de 2  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$ .

Durante o processo de validação do modelo CFX foram realizadas 6 (seis) simulações, utilizando-se diferentes geometrias para o hidrociclone estudado e variações na pressão do duto de alimentação, com a concentração de sólidos na suspensão de alimentação mantida constante com valor igual ao usado nos ensaios experimentais. Na Tabela 17 estão contidos os valores das variáveis do processo de hidrociclonagem utilizadas nas simulações supracitadas.

Ao final de cada simulação, foram analisados os valores dos percentuais da fração de argila acumulada no overflow para o diâmetro médio das partículas:  $d < 2 \mu\text{m}$ ,  $d < 4 \mu\text{m}$  e  $d < 5 \mu\text{m}$ ; e, comparado os valores obtidos nas simulações do modelo CFX com os valores dos ensaios experimentais.

Tabela 17: Variáveis utilizadas nas Simulações para Validação do Modelo

Simulação	Concentração de sólidos (%)	Diâmetro do ápex (mm)	Diâmetro do vórtex (mm)	Pressão (bar)
1	4,0	3,0	5,5	3,0
2	4,0	3,0	5,5	4,0
3	4,0	3,0	6,0	3,0
4	4,0	3,0	6,0	4,0
5	4,0	5,0	6,0	3,0
6	4,0	5,0	6,0	4,0

Na Tabela 18 estão contidos os valores da simulação 1, da Tabela 17, bem como os valores dos ensaios experimentais obtidos na análise granulométrica (ver anexo).

Tabela 18: Valores Experimentais e do CFX: ápex 3 mm, vórtex 5,5 mm e pressão 3 bar

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	
					MODELO CFX %	Experimental
0,04	18,8129	81,1871	0,0005	0,0549428	0,05	0,06
0,07	18,8133	81,1867	0,0013	0,1428506	0,20	0,2
0,1	18,8139	81,1861	0,001	0,1098842	0,31	0,31
0,25	18,8196	81,1804	0,0081	0,8899998	1,20	1,22
0,5	18,84	81,16	0,0155	1,7026581	2,90	2,94
0,75	18,8745	81,16	0,0248	2,724253	5,62	5,7
1	18,9242	81,1255	0,0342	3,7552358	9,38	9,47
2	19,2798	81,0758	0,1235	13,552266	22,93	22,73
3	19,9954	80,0046	0,1161	12,571899	35,50	35,2
4	20,8572	79,1428	0,1228	13,154171	48,66	47,95
5	21,917	78,083	0,1118	11,815497	60,47	59,17
10	29,2191	70,7809	0,3202	30,675463	91,15	90,97
20	44,0011	55,9989	0,1202	9,1104049	100,26	100

Analisando os valores da Tabela 18, verificou-se que:

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$ :

O valor da fração argila acumula overflow na simulação do modelo CFX foi de 22,93% e o valor da fração argila acumulada medido no ensaio experimental foi de 22,73%. O erro percentual do valor da simulação CFX comparativamente ao valor medido experimentalmente foi de aproximadamente 0,88%.

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 4 \mu\text{m}$ :

O valor da fração argila acumulada no overflow medida no ensaio experimental foi igual a 47,95% e o valor da fração acumula no overflow na simulação do modelo CFX foi próxima de 48,66%. O erro percentual do valor da fração obtido na simulação do modelo CFX comparativamente ao valor medido no ensaio experimental foi de aproximadamente 1,48%.

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$ :

O valor da fração argila acumula no overflow medida experimentalmente foi 59,17% e o valor obtido na simulação do modelo CFX foi de 60,47%. O erro percentual do valor da fração obtido na simulação comparativamente ao valor medido no ensaio experimental foi de aproximadamente 2,20%.

A Figura 31 ilustra a superposição das curvas granulométricas traçadas a partir dos valores experimentais acumulados do overflow e dos valores obtidos na simulação CFX, apresentados na Tabela 18.

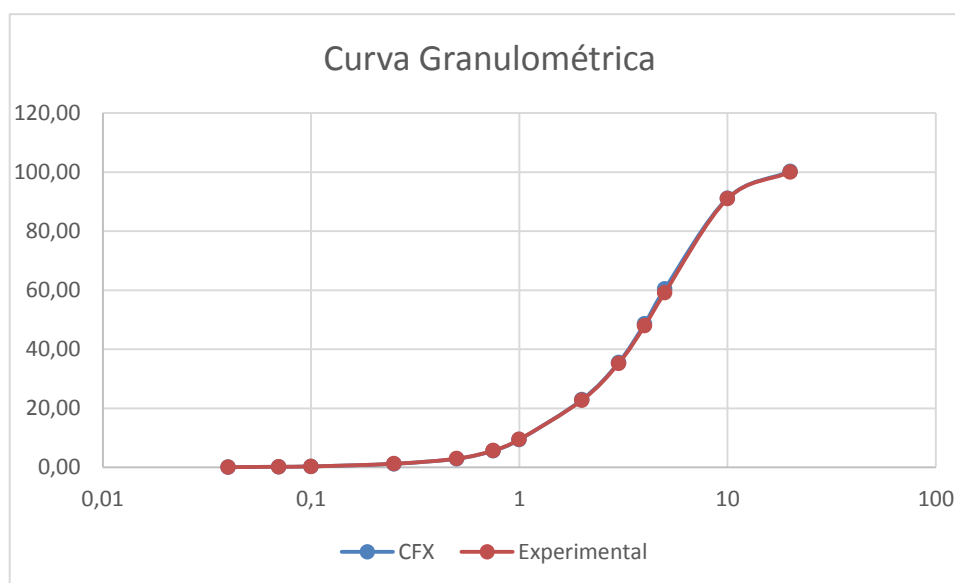


Figura 31: Curvas Granulométricas: ápex 3 mm, vórtex 5,5 mm e pressão de 3 bar

Observando a Figura 31, constou-se que o modelo do CFX representa com fidelidade os dados experimentais, para geometria do hidrociclone, pressão do duto de alimentação e a concentração de sólidos na suspensão de alimentação utilizados na simulação 1, cujas variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentadas na Tabela 17.

Os dados resultantes da simulação 2, bem como os valores dos ensaios experimentais contidos na análise granulométrica (ver anexo), estão apresentados na Tabela 19.

Após análise dos dados apresentados da Tabela 19, constatou-se que:

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$ :

O valor da fração medida experimentalmente foi de 23,92% e o valor da fração aferido na simulação do modelo CFX foi de 23,37%. O erro percentual do valor obtido na simulação no modelo CFX, comparativamente ao valor medido no ensaio experimental foi de aproximadamente 2,30%.

Tabela 19: Valores Experimentais e do CFX: ápex 3 mm, vórtex 5,5 mm e pressão de 4 bar

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	
					MODELO CFX %	Experimental
0,04	18,9217	81,0783	0,0005	0,0560031	0,06	0,05
0,07	18,9222	81,0778	0,0013	0,1456072	0,20	0,24
0,1	18,9229	81,0771	0,001	0,1120046	0,31	0,41
0,25	18,93	81,07	0,0081	0,9071577	1,22	1,48
0,5	18,9556	81,0444	0,0155	1,735371	2,96	3,74
0,75	18,9989	81,0444	0,0248	2,7765936	5,73	6,7
1	19,0611	81,0011	0,0342	3,8269664	9,56	10,21
2	19,4986	80,9389	0,1235	13,808989	23,37	23,92
3	20,3785	79,6215	0,1161	12,770273	36,14	37,66
4	21,4521	78,5479	0,1228	13,325103	49,46	51,01
5	22,7793	77,2207	0,1118	11,926504	61,39	62,28
10	31,2246	68,7754	0,3202	30,422302	91,81	94,17
20	48,8592	51,1408	0,1202	8,4919926	100,30	100

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 4 \mu\text{m}$ :

Verifica-se que o valor alcançado na simulação do modelo CFX foi de 49,46% e valor da fração acumulada medida no ensaio experimental foi de 51,01%. O erro percentual do valor obtido na simulação do modelo CFX comparativamente ao valor experimental foi aproximadamente 3,04%.

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$ :

Constatou-se que o valor obtido na simulação do modelo CFX foi de 61,39% e o valor da fração acumulada obtido no ensaio medida experimental foi de 62,28%, portanto, o erro percentual do valor obtido na simulação do modelo CFX comparativamente ao valor experimental foi aproximadamente 1,43%.

A Figura 32 ilustra a superposição das curvas granulométricas dos valores experimentais e os valores obtidos por meio da simulação 2 do modelo CFX, mostrados na Tabela 19.

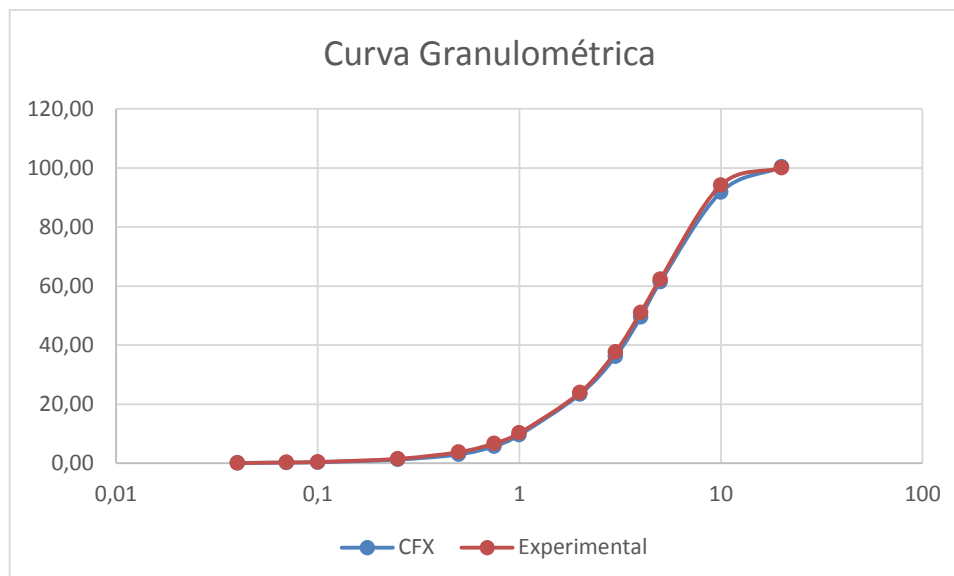


Figura 32: Curvas Granulométricas: ápex 3 mm, vórtex 5,5 mm e pressão de 4 bar

Analisando-se a Figura 32, podemos concluir que o modelo CFX representa com lealdade os dados experimentais para geometria do hidrociclone, pressão do duto de alimentação e concentração de sólidos na suspensão de alimentação utilizados na simulação 2, cujas variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentadas na Tabela 17.

Os resultados da simulação 3 do modelo CFX estão apresentados na Tabela 20, bem como os valores dos ensaios experimentais contidos na análise granulométrica (ver anexo).

Analisando os dados da Tabela 20, verificou-se que:

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$ :

O valor da fração acumula na simulação do modelo CFX foi de 22,58% e o valor da fração acumulada medida nos ensaios experimentais foi de 25,04%. O erro percentual do valor acumulado na simulação CFX comparativamente ao valor aferido nos ensaios experimental foi de aproximadamente 9,82%.

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 4 \mu\text{m}$ :

A fração acumulada na simulação do modelo CFX foi de 48,21%, enquanto o valor da fração acumulada no ensaio experimental foi de 49,78%. O erro percentual do valor obtido na simulação do modelo CFX, comparativamente ao valor medido experimentalmente foi de aproximadamente 3,15%.

Tabela 20: Valores Experimentais e do CFX, ápex 3 mm, vórtex 6,0 mm e pressão de 3 bar

D <sub>p</sub> (μm)	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_i^{overflow}$	
					$x_{iACUMULADO}$	Experimental
0,04	14,0744	85,9256	0,0005	0,0545886	0,05	0,07
0,07	14,0748	85,9252	0,0013	0,1419297	0,20	0,25
0,1	14,0753	85,9247	0,001	0,109176	0,31	0,39
0,25	14,0805	85,9195	0,0081	0,8842723	1,19	1,47
0,5	14,0993	85,9007	0,0155	1,6917558	2,88	3,49
0,75	14,1309	85,8691	0,0248	2,7058135	5,59	6,54
1	14,1762	85,8238	0,0342	3,7294356	9,32	10,61
2	15,5016	84,4984	0,1235	13,259426	22,58	25,04
3	15,1523	84,8477	0,1161	12,516461	35,09	37,6
4	15,9523	84,0477	0,1228	13,113948	48,21	49,78
5	16,9423	83,0577	0,1118	11,798613	60,01	60,53
10	23,9215	76,0785	0,3202	30,952272	90,96	88,57
20	40,6897	59,3103	0,1202	9,0582406	100,02	99,81

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$ :

O valor da fração acumulada na simulação do modelo CFX foi de 60,01%, e o valor da fração acumulada medida experimentalmente foi de 60,53. O erro percentual do valor fração acumulado na simulação CFX comparativamente ao valor da fração medida no ensaio experimental foi de aproximadamente 0,86%.

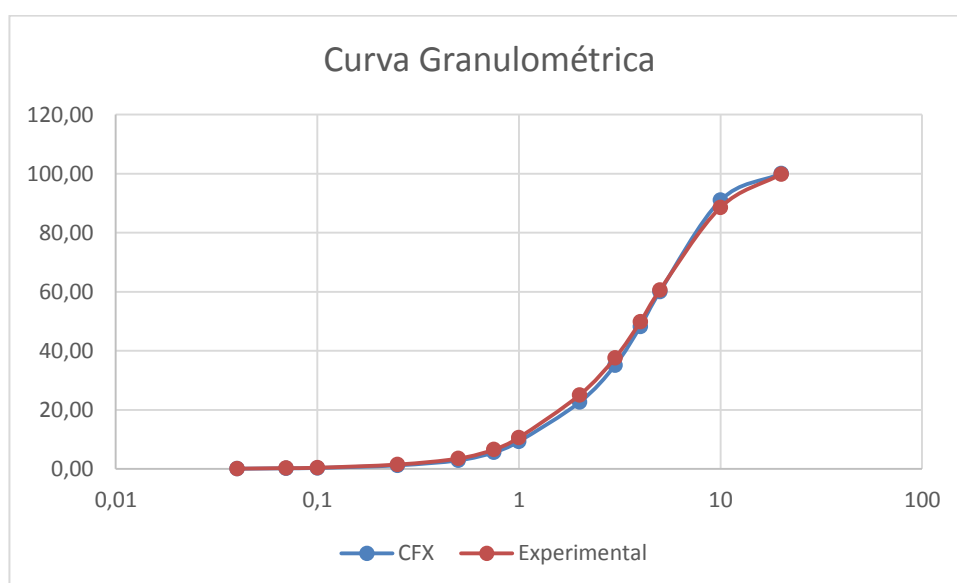


Figura 33: Curvas Granulométricas: ápex 3 mm, 6,0 mm e pressão de 3 bar



A Figura 33 ilustra a superposição das curvas granulométrica dos dados experimentais e do modelo CFX, para geometria do hidrociclone, pressão do duto de alimentação e a concentração de sólidos no fluido de alimentação utilizados na simulação 3, cujas variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentadas na Tabela 17.

Os resultados da simulação 4 estão apresentados na Tabela 21. A Tabela 21 contém também os valores dos ensaios experimentais contidos na análise granulométrica (ver anexo).

Analisando os valores apresentados na Tabela 21, verificou-se que:

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$ :

O valor da fração argila acumulada no overflow no modelo CFX foi de 23,24%, enquanto o valor da fração medida experimentalmente foi de 25,56%. O erro percentual entre o valor acumulado na simulação do modelo CFX comparativamente ao valor do ensaio experimental foi de aproximadamente 9,08%.

Tabela 21: Valores Experimentais e do CFX, ápex 3 mm vórtex 6,0 mm e pressão de 4 bar

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_i^{overflow}$	
					$x_{iACUMULADO}$	
MODELO CFX %					Experimental	
0,04	14,458	85,542	0,0005	0,05586467	0,06	0,07
0,07	14,4584	85,5416	0,0013	0,14524747	0,20	0,25
0,1	14,459	85,541	0,001	0,11172804	0,31	0,39
0,25	14,4658	85,5342	0,0081	0,90492519	1,22	1,48
0,5	14,49	85,51	0,0155	1,73115705	2,95	3,54
0,75	14,5309	85,4691	0,0248	2,76852644	5,72	6,66
1	14,5896	85,4104	0,0342	3,81526515	9,53	10,81
2	15,0062	84,9938	0,1235	13,7101456	23,24	25,56
3	15,8352	84,1648	0,1161	12,7629356	36,01	38,55
4	16,8328	83,1672	0,1228	13,3394619	49,35	51,21
5	18,0541	81,9459	0,1118	11,9662176	61,31	62,28
10	26,1725	73,8275	0,3202	30,8764494	92,19	90,83
20	48,8305	51,1695	0,1202	8,03347609	100,22	100

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 4 \mu\text{m}$ :

O valor da fração argila acumulada no overflow na simulação do modelo CFX foi de 49,35%, enquanto o valor experimental foi de 51,21%. O erro percentual

entre o valor da fração acumulado na simulação do modelo CFX comparativamente ao valor medido no ensaio experimental foi aproximado de 3,63%.

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$ :

Verificou-se que o valor da fração acumulada na simulação do modelo CFX foi 61,31%, enquanto o valor medido experimental foi de 62,28%. O erro percentual entre o valor da fração acumulado na simulação do modelo CFX comparativamente ao valor medido no ensaio experimental foi de aproximadamente 1,56%.

A Figura 34 delinea a superposição das curvas granulométricas traçadas utilizando os valores experimentais e os valores obtidos na simulação CFX, mostrados na Tabela 21.

A Figura 34 ilustra com lealdade os dados experimentais, para geometria do hidrociclone, pressão do duto de alimentação e a concentração de sólidos na suspensão de alimentação utilizados na simulação 4, cujas variáveis do processo estão apresentadas na Tabela 17.

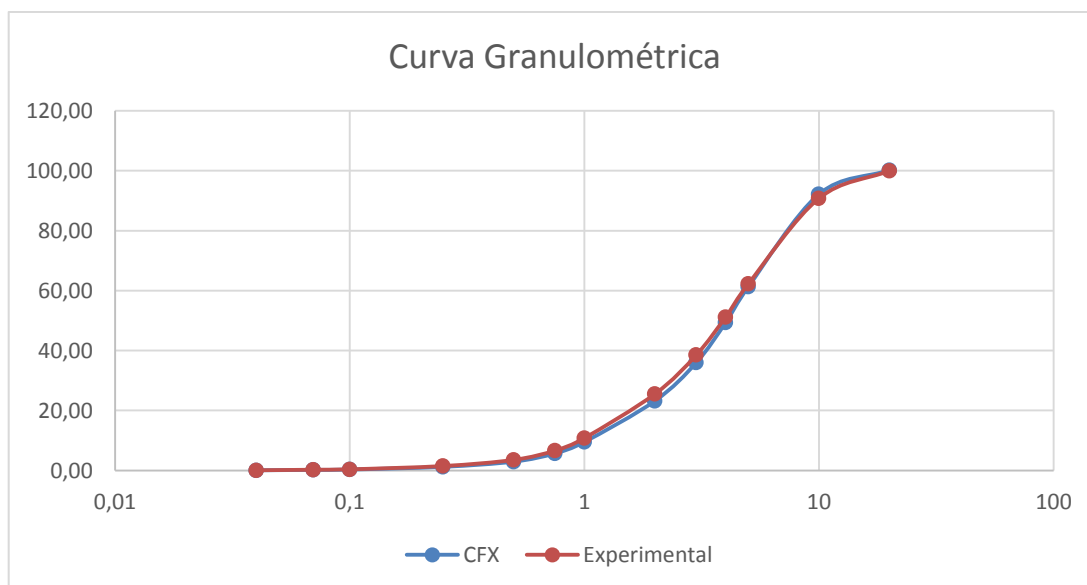


Figura 34: Curvas Granulométricas: ápex 3 mm, vórtex 6,0 mm e pressão de 4 bar

Os resultados da simulação 5 estão contidos na Tabela 22. A Tabela 22 apresenta também os valores dos ensaios experimentais contidos na análise granulométrica (ver anexo).

Após análise dos dados da Tabela 22, pode-se concluir que:

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$ :

O valor da fração argila acumulada no overflow na simulação do modelo CFX foi de 23,58%, enquanto o valor experimental foi de 29,74%. O erro percentual do valor da fração acumulada na simulação do modelo CFX comparativamente ao valor medido no ensaio experimental foi de aproximadamente 20,71%.

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 4 \mu\text{m}$ :

A fração acumulada na simulação do modelo CFX foi de 49,87%, enquanto o valor medido experimental foi de 55,93%, portanto, o erro percentual entre o valor fração acumulada na simulação do modelo CFX comparativamente ao valor medido no ensaio experimental foi de aproximadamente 10,83%.

Tabela 22: Valores Experimentais e do CFX, ápex 5 mm, vórtex 6,0 mm e pressão de 3 bar

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	
					MODELO CFX %	Experimental
0,04	24,7133	75,2867	0,0005	0,056423	0,06	0,1
0,07	24,7137	75,2863	0,0013	0,146698	0,20	0,33
0,1	24,7143	75,2857	0,001	0,112844	0,32	0,51
0,25	14,721	85,279	0,0081	1,035364	1,35	1,86
0,5	24,7452	75,2548	0,0155	1,748365	3,10	4,27
0,75	24,7862	75,2138	0,0248	2,795859	5,90	7,97
1	24,8454	75,1546	0,0342	3,852545	9,75	12,98
2	25,2642	74,7358	0,1235	13,83444	23,58	29,74
3	26,0743	73,9257	0,1161	12,86453	36,45	43,29
4	27,054	72,946	0,1228	13,4266	49,87	55,93
5	28,2486	71,7514	0,1118	12,0237	61,90	66,53
10	36,3117	63,6883	0,3202	30,5666	92,46	92,57
20	56,1633	43,8367	0,1202	7,897842	100,36	100

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$ :

A fração argila acumulada no overflow na simulação do modelo CFX foi de 61,90%, enquanto o valor experimental medido foi de 66,53%. O erro percentual entre o valor da fração acumulada na simulação do modelo CFX comparativamente ao valor medido no ensaio experimental foi de aproximadamente 6,96%.

A partir dos dados apresentados na Tabela 22, mostramos na Figura 35 a superposição das curvas granulométricas, utilizando-se os valores do ensaio experimental e os valores obtidos na simulação do modelo CFX.

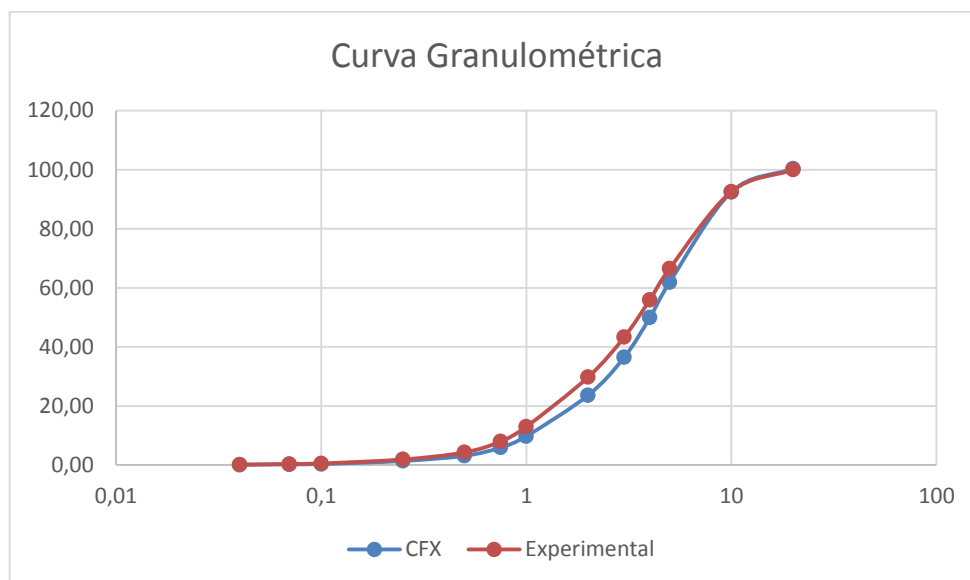


Figura 35: Curvas Granulométricas: ápex 5 mm, vórtex 6,0 mm e pressão de 3 bar

A Figura 35 representa com lealdade os dados experimentais para geometria do hidrociclone, pressão do duto de alimentação e a concentração de sólidos no fluido de alimentação utilizados na simulação 5, cujas variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentadas na Tabela 17.

Os resultados da simulação 6 estão apresentados na Tabela 23. A Tabela 23 apresenta ainda os valores dos ensaios experimentais contidos na análise granulométrica (ver anexo).

Analisando os dados mostrados na Tabela 23, verificou-se que:

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$ :

O valor da fração acumulada na simulação do modelo CFX foi de 23,95% e o valor experimental medido foi de 30,24%, portanto, com o erro percentual do valor acumulado na simulação do modelo CFX comparativamente ao valor medido no ensaio experimental foi de aproximadamente 20,80%.

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 4 \mu\text{m}$ :

A fração argila acumulada no overflow na simulação do modelo CFX foi de 50,66% e o medido experimentalmente foi de 57,27%, portanto, o erro percentual aproximado do valor da fração acumulada no modelo CFX comparativamente ao valor da fração medida no ensaio experimental foi de aproximadamente 11,52%.

Tabela 23: Valores Experimentais e do CFX, ápex 5 mm vórtex 6,0 mm e pressão de 4 bar

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_i^{overflow}$ $x_i^{ACUMULADO}$	
					CFD %	Experimental
0,04	25,0486	74,9514	0,0005	0,0576727	0,06	0,1
0,07	25,0491	74,9509	0,0013	0,1499479	0,21	0,36
0,1	25,05	74,95	0,001	0,1153432	0,32	0,58
0,25	25,0585	74,9415	0,0081	0,9341738	1,26	2,04
0,5	25,0892	74,9108	0,0155	1,7868843	3,04	4,78
0,75	25,1411	74,8589	0,0248	2,857034	5,90	8,61
1	25,2148	74,7852	0,0342	3,9360632	9,84	13,44
2	25,7329	74,2671	0,1235	14,115092	23,95	30,24
3	26,7471	73,2529	0,1161	13,088122	37,04	44,42
4	27,9503	72,0497	0,1228	13,616041	50,66	57,27
5	29,3945	70,6055	0,1118	12,147884	62,80	67,87
10	38,2921	61,7079	0,3202	30,407617	93,21	93,05
20	61,7505	38,2495	0,1202	7,0753923	100,29	100

- Quanto ao valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$ :

O valor da fração acumulada na simulação do modelo CFX foi de 62,80% e o valor medido experimentalmente foi de 67,87%, portanto, o erro percentual aproximado do valor da fração acumulada no modelo CFX comparativamente ao valor da fração medida experimentalmente foi de aproximadamente 8,07%.

Utilizando dos dados da Tabela 23, a Figura 36 ilustra a superposição das curvas granulométricas, utilizando-se os valores dos ensaios experimentais e os valores obtidos na simulação do modelo CFX da fração argila acumulada no overflow.

Analisando-se a Figura 36 podemos concluir que a mesma representa satisfatoriamente os dados experimentais, para geometria do hidrociclone, pressão do duto de alimentação e a concentração de sólidos no fluido de alimentação

utilizados na simulação 6, cujas variáveis do processo estão apresentadas na Tabela 17.

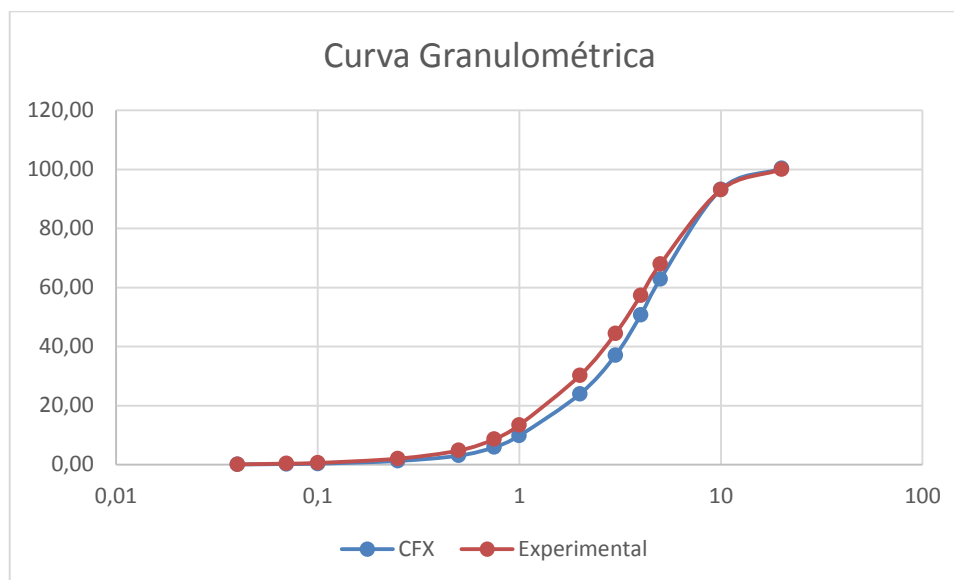


Figura 36: Curvas Granulométricas: ápex 5 mm, vórtex 6,0 mm e pressão de 4 bar

### 5.6.2. Conclusões Parciais - Validação do Modelo

- ✓ Nas simulações do modelo CFX realizadas para geometria do hidrociclone (diâmetro do ápex igual a 3 mm e diâmetro do vórtex igual a 5,5 mm), e concentração de sólidos no fluido de alimentação igual a 4%; constatou-se que: i) a eficiência total do overflow foi superior a 72,39%; ii) o erro percentual do valor da fração acumulada obtido na simulação do modelo CFX, comparativamente ao valor da fração acumulada medida experimentalmente variou entre 0,88% e 2,30%;
- ✓ Nas simulações realizadas para geometria do hidrociclone: diâmetro do ápex igual a 3 mm e diâmetro do vórtex igual a 6 mm, concentração de sólidos no fluido de alimentação igual a 4%, verificou-se que: i) a eficiência total do overflow foi superior a 76%; ii) o erro percentual do valor da fração acumulada obtido na simulação do modelo CFX, comparativamente ao valor da fração acumulada medida experimentalmente variou de 0,86% e 9,82%;

- ✓ Nas simulações realizadas para geometria do hidrociclone, diâmetro do ápex igual a 5 mm e diâmetro do vórtex igual a 6 mm, e, concentração de sólidos no fluido de alimentação igual a 4%, constatou-se que: i) a eficiência total do overflow foi superior a 64%; ii) o erro percentual do valor da fração acumulada obtido na simulação do modelo CFX, comparativamente ao valor da fração acumulada medida experimentalmente variou entre 6,96% e 20,80%;

Pelo exposto, bem como considerando as simulações do modelo CFX supra referenciadas, podemos concluir que o modelo do CFX simula de forma legítima o hidrociclone em estudo. Os resultados das simulações acima descritas validam o modelo do CFX.

Na Tabela 24 estão contidos os valores da eficiência total do overflow e do underflow obtidos nas simulações 1, 2, 3, 4, 5 e 6; mostradas na Tabela 17, variando-se a pressão no duto de alimentação e a geometria do hidrociclone.

Tabela 24: Eficiência do Overflow e do Underflow

Simulação	Pressão (bar)	Diâmetro do ápex (mm)	Diâmetro do vórtex (mm)	Eficiência Total do underflow (%)	Eficiência Total do overflow (%)
1	3	3	5,5	21,12	78,88
2	4	3	5,5	27,61	72,39
3	3	3	6	21,23	78,70
4	4	3	6	23,44	76,56
5	3	5	6	33,38	66,62
6	4	5	6	35,32	64,68

Analisando-se os valores apresentados na Tabela 24, observamos que se mantendo constante à geometria do hidrociclone e a fração de sólidos na suspensão de alimentação, aumentando os valores da pressão no duto de alimentação de 3 para 4 bar, há uma redução da eficiência total do overflow e conseqüentemente um aumento da eficiência total do underflow.

### 5.6.3. Aplicações do Modelo CFD

Na Tabela 25 estão contidas as variáveis do processo de hidrociclonagem utilizadas nas simulações realizadas após a validação do modelo CFX: fração de sólidos na suspensão de alimentação, diâmetro do ápex, diâmetro do vórtex e pressão no duto de alimentação.

Tabela 25: Variáveis das Simulações realizadas com modelo CFX validado

Simulação	Fração de sólidos (%)	Diâmetro do ápex (mm)	Diâmetro do vórtex (mm)	Pressão (bar)
1	4,0	4,0	5,5	3,5
2	8,0	4,0	5,5	3,5
3	16,0	4,0	5,5	3,5
4	4,0	5,0	7,0	4,0
5	4,0	5,0	7,0	10,0
6	4,0	5,0	6,0	3,0
7	4,0	5,0	6,0	4,0
8	4,0	5,0	6,0	10,0
9	4,0	5,0	6,0	12,5
10	4,0	5,0	6,0	15,0
11	4,0	5,0	6,0	20,0
12	4,0	5,0	6,0	30,0
13	4,0	2,0	6,0	10
14	4,0	6,0	6,0	10
15	4,0	6,0	4,5	10
16	4,0	4,0	5,0	10,5
17	4,0	4,0	5,0	11,0

#### 5.6.3.1. Alterações na Concentração de Sólidos

Nas simulações 1, 2 e 3 alterou-se a concentração de sólidos na suspensão de alimentação de 4%, 8% e 16%, foram mantidos constante a geometria do hidrociclone e a pressão no duto de alimentação.



Na simulação 1 o valor da concentração de sólido na suspensão de alimentação é de 4%, as demais variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentadas na Tabela 25.

Os valores da simulação 1 estão apresentadas na Tabela 26.

Analisando os valores da simulação 1, verificou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 23,46%;
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 61,64%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 50,57%.

Tabela 26: Simulação do Modelo CFX: concentração de sólidos no fluido de alimentação 4%

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	MODELO CFX %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	24,5907	75,4093	0,0005	0,0564552	0,06
0,07	24,5912	75,4088	0,0013	0,1467824	0,20
0,1	24,5919	75,4081	0,001	0,1129085	0,32
0,25	24,5993	75,4007	0,0081	0,9144693	1,23
0,5	24,6257	75,3743	0,0155	1,7492976	2,98
0,75	24,6706	75,3294	0,0248	2,7972089	5,78
1	24,7357	75,2643	0,0342	3,8541077	9,63
2	25,1994	74,8006	0,1235	13,831865	23,46
3	26,1125	73,8875	0,1161	12,844343	36,31
4	27,2217	72,7783	0,1228	13,381629	49,69
5	28,582	71,418	0,1118	11,955237	61,64
10	37,3688	62,6312	0,3202	30,027611	91,67
20	52,3087	47,6913	0,1202	8,5832615	100,26

Apresentamos na Tabela 27 os valores da simulação 2 do modelo CFX validado.

Na simulação 2 o valor da concentração de sólido na solução de alimentação foi de 8% e os demais valores das variáveis do processo de hidrociclonagem estão mostradas na Tabela 25.

Tabela 27: Simulação do Modelo CFX: concentração de sólidos no fluido de alimentação 8%

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	MODELO CFX %				
	Eficiência	$\varepsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_i^{overflow}$ $x_i^{ACUMULADO}$
0,1	24,3469	75,6531	0,001	0,11473526	0,32
0,25	24,3547	75,6453	0,0081	0,92925975	1,25
0,5	24,3826	75,6174	0,0155	1,77755725	3,03
0,75	24,4293	75,5707	0,0248	2,84233513	5,87
1	24,4948	75,5052	0,0342	3,91627451	9,79
2	24,9680	75,032	0,1235	14,0534722	23,84
3	26,0111	73,9889	0,1161	13,027736	36,87
4	27,213	72,787	0,1228	13,5557123	50,42
5	28,7341	71,2659	0,1118	12,0835275	62,51
10	39,0187	60,9813	0,3202	29,6133926	92,12
20	55,1786	44,8224	0,1202	8,17089693	100,29

Após análise dos valores da simulação 2, verificou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 23,84%;
- A fração argila acumulada no overflow e para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 62,51%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 49,87%.

Na simulação 3 o valor da concentração de sólido na solução de alimentação é de 16% e os demais valores das variáveis do processo de hidrociclonagem estão mostradas na Tabela 25.

Os valores da simulação 3 com o modelo CFX validado estão apresentados na Tabela 28.

Analisando os valores exibidos na Tabela 28, verificou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi é igual a 24,22%
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 63,46%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 36,87%.

Tabela 28: Simulação do Modelo CFX: concentração de sólidos no fluido de alimentação 16%.

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	MODELO CFX %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	23,7174	76,2826	0,0005	0,058281	0,06
0,07	23,7179	76,2821	0,0013	0,151529	0,21
0,1	23,7187	76,2813	0,001	0,11656	0,33
0,25	23,7267	76,2733	0,0081	0,944034	1,27
0,5	23,7551	76,2449	0,0155	1,805813	3,08
0,75	23,8024	76,1976	0,0248	2,887508	5,96
1	23,8687	76,1313	0,0342	3,978501	9,94
2	24,3215	75,6785	0,1235	14,28136	24,22
3	25,412	74,588	0,1161	13,23218	37,46
4	26,6998	73,3002	0,1228	13,75415	51,21
5	28,2631	71,7369	0,1118	12,25504	63,46
10	39	61	0,3202	29,84567	93,31
20	61,7951	38,2049	0,1202	7,017036	100,33

Comparando os valores das simulações 1, 2 e 3 do modelo CFX validado apresentados nas Tabelas 26, 27 e 28, constatou-se:

- Aumento do valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  de aproximadamente 1,62% para de concentração de 8% e, próxima de 3,24% para concentração de 16%, ambas comparativamente a concentração de sólidos na suspensão de alimentação igual a 4%;
- Aumento do valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  de aproximadamente 1,41% para concentração de 8% e, próxima de 2,95% para concentração de 16%, ambas comparativamente a concentração de sólidos na suspensão de alimentação igual a 4%;
- Diminuição do valor da fração silte acumulada no overflow, para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$ , próxima de 1,38% para concentração de 8%, e de aproximadamente 2,87% para concentração de 16%, ambas comparativamente a concentração de sólidos na suspensão de alimentação igual 4%.

### 5.6.3.2. Variações na Pressão do Duto de Alimentação

Foram realizadas onze simulações variando-se a pressão no duto de alimentação, mantendo constante a geometria do hidrociclone e a concentração de sólidos na suspensão de alimentação.

Apresentamos nas Tabelas 29 e 30 os valores das simulações do modelo CFX validado para simulação 4 e 5, respectivamente, cujas variáveis do processo de hidrociclonagem estão mostradas na Tabela 25.

Na simulação 4 o valor da pressão no duto de alimentação foi de 4 bar, os demais valores das variáveis do processo de hidrociclonagem estão mostradas na Tabela 25.

Tabela 29: Simulação do Modelo CFX: ápex 5,0 mm vórtex 7,0 mm e pressão de 4 bar

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	MODLO CFX %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	23,1737	76,8263	0,0005	0,0577689	0,06
0,07	23,1742	76,8258	0,0013	0,1501982	0,21
0,1	23,1751	76,8249	0,001	0,1155357	0,32
0,25	23,184	76,816	0,0081	0,9357309	1,26
0,5	23,2158	76,7842	0,0155	1,789855	3,05
0,75	23,2696	76,7304	0,0248	2,8617614	5,91
1	23,3474	76,6526	0,0342	3,9424598	9,85
2	23,8868	75,1132	0,1235	14,136478	23,99
3	24,9367	75,0633	0,1161	13,10612	37,10
4	26,2124	73,7876	0,1228	13,626867	50,72
5	27,7683	72,2317	0,1118	12,14462	62,87
10	37,5452	62,4548	0,3202	30,074708	92,94
20	59,322	40,678	0,1202	7,3532331	100,30

Analisando os dados da Tabela 29, verificou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 23,99%;
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 62,87%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 49,58%.

Na simulação 5 o valor da pressão no duto de alimentação foi de 10 bar, os demais valores das variáveis do processo de hidrociclonagem estão mostradas na Tabela 25.

Analisando os resultados da simulação 5, apresentados na Tabela 30, constatou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 25,25%;
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 64,77%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 47,74%.

Tabela 30: Simulação do Modelo CFX: ápex 5,0 mm vórtex 7,0 mm e pressão de 10 bar

D <sub>p</sub> (μm)	MODELO CFX %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	23,3593	76,6407	0,0005	0,061156	0,06
0,07	23,3603	76,6397	0,0013	0,159004	0,22
0,1	23,362	76,638	0,001	0,122308	0,34
0,25	23,3793	76,6207	0,0081	0,990473	1,33
0,5	23,4418	76,5582	0,0155	1,893804	3,23
0,75	23,5499	76,4501	0,0248	3,025808	6,25
1	23,7087	76,2913	0,0342	4,16402	10,42
2	24,7227	75,2773	0,1235	14,83688	25,25
3	26,7887	73,2113	0,1161	13,56507	38,82
4	29,2482	70,7518	0,1228	13,86588	52,68
5	32,2379	67,7621	0,1118	12,09039	64,77
10	50,7546	49,2454	0,3202	25,1651	89,94
20	45,3504	54,6496	0,1202	10,48342	100,42

Comparando os valores apresentados nas simulações 4 e 5, verificou-se que:

- Aumento do valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  de aproximadamente 5,25% e, para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  próximo de 3,1%;
- Diminuição do valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$ , próxima de 3,72%.

Apresentamos nas Tabelas 31, 32, 33, 34, 35, 36 e 37 os valores obtidos nas simulações do modelo CFX validado; 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12, respectivamente, cujas variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentadas na Tabela 25.

Em todas as simulações supracitadas a geometria do hidrociclone foi a mesma, bem como a fração de sólidos na suspensão de alimentação, variou-se a pressão do duto de alimentação.

Na simulação 6 o valor da pressão no duto de alimentação foi de 3 bar, os valores da geometria do hidrociclone e da fração de sólidos na suspensão de alimentação estão mostradas na Tabela 25. A Tabela 31 apresenta os valores da simulação 6.

Tabela 31: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 3 bar

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	MODELO CFX %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	24,7133	75,2867	0,0005	0,056423	0,06
0,07	24,7137	75,2863	0,0013	0,146698	0,20
0,1	24,7143	75,2857	0,001	0,112844	0,32
0,25	14,721	5,279	0,0081	1,035364	1,35
0,5	24,7452	75,2548	0,0155	1,748365	3,10
0,75	24,7862	75,2138	0,0248	2,795859	5,90
1	24,8454	75,1546	0,0342	3,852545	9,75
2	25,2642	74,7358	0,1235	13,83444	23,58
3	26,0743	73,9257	0,1161	12,86453	36,45
4	27,054	72,946	0,1228	13,4266	49,87
5	28,2486	71,7514	0,1118	12,0237	61,90
10	36,3117	63,6883	0,3202	30,5666	92,46
20	56,1633	43,8367	0,1202	7,897842	100,36

Analisando os valores da simulação 6, constatou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 23,58%;
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 61,69%;
- A fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 50,49%.

Os valores da simulação 7 estão apresentados na Tabela 32. Na simulação 7 o valor da pressão no duto de alimentação é de 4 bar, os valores da geometria do hidrociclone e da fração de sólidos na suspensão de alimentação estão mostradas na Tabela 25.

Analisando os valores da simulação 7, verificou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 23,95%;
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 62,80%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 49,63%.

Tabela 32: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 4 bar

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	MODELO CFX %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	25,0486	74,9514	0,0005	0,0576727	0,06
0,07	25,0491	74,9509	0,0013	0,1499479	0,21
0,1	25,05	74,95	0,001	0,1153432	0,32
0,25	25,0585	74,9415	0,0081	0,9341738	1,26
0,5	25,0892	74,9108	0,0155	1,7868843	3,04
0,75	25,1411	74,8589	0,0248	2,857034	5,90
1	25,2148	74,7852	0,0342	3,9360632	9,84
2	25,7329	74,2671	0,1235	14,115092	23,95
3	26,7471	73,2529	0,1161	13,088122	37,04
4	27,9503	72,0497	0,1228	13,616041	50,66
5	29,3945	70,6055	0,1118	12,147884	62,80
10	38,2921	61,7079	0,3202	30,407617	93,21
20	61,7505	38,2495	0,1202	7,0753923	100,29

Na simulação 8 o valor da pressão no duto de alimentação foi de 10 bar, os valores da geometria do hidrociclone e da fração de sólidos na suspensão de alimentação estão mostradas na Tabela 25.

Os valores da simulação 8 estão apresentados na Tabela 33.

Tabela 33: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 10 bar

D <sub>p</sub> (μm)	MODELO CFX %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	25,1327	74,8673	0,0005	0,062549	0,06
0,07	25,1337	74,8663	0,0013	0,162625	0,23
0,1	25,1354	74,8646	0,001	0,125094	0,35
0,25	25,1525	74,8475	0,0081	1,013026	1,36
0,5	25,214	74,786	0,0155	1,936914	3,30
0,75	25,3172	74,6828	0,0248	3,094786	6,39
1	25,478	74,522	0,0342	4,258621	10,65
2	26,4588	73,5412	0,1235	15,17595	25,83
3	28,4876	71,5124	0,1161	13,87305	39,70
4	30,897	69,103	0,1228	14,17926	53,88
5	33,7395	66,2605	0,1118	12,37812	66,26
10	46,9943	53,0057	0,3202	28,35974	94,62
20	70,8864	29,1136	0,1202	5,847345	100,47

Analisando os valores da simulação 8, verificou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2\mu\text{m}$  foi igual a 25,83%;
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5\mu\text{m}$  foi igual a 66,26%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5\mu\text{m} \leq d \leq 20\mu\text{m}$  foi igual a 46,59%.

Na simulação 9 o valor da pressão no duto de alimentação é de 12,5 bar, os valores da geometria do hidrociclone e da fração de sólidos na suspensão de alimentação estão mostradas na Tabela 25.

Os valores da simulação 9 estão apresentados na Tabela 34, analisando os valores da simulação 9 verificou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2\mu\text{m}$  foi igual a 25,29%;
- A fração acumulada no overflow para  $d \leq 5\mu\text{m}$  foi igual a 64,42%.
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5\mu\text{m} \leq d \leq 20\mu\text{m}$  foi igual a 46,96%.



Tabela 34: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 12,5 bar

D <sub>p</sub> (μm)	MODELO CFX %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_i^{overflow}_{ACUMULADO}$
0,04	25,1465	74,8535	0,0005	0,061355	0,06
0,07	25,1477	74,8523	0,0013	0,159521	0,22
0,1	25,1497	74,8503	0,001	0,122705	0,34
0,25	25,1697	74,8303	0,0081	0,993648	1,34
0,5	25,242	74,758	0,0155	1,899589	3,24
0,75	25,3647	74,6353	0,0248	3,034353	6,27
1	25,586	74,414	0,0342	4,172064	10,44
2	26,6723	73,3277	0,1235	14,84585	25,29
3	29,0264	70,9736	0,1161	13,50825	38,80
4	31,8137	68,1863	0,1228	13,72668	52,52
5	35,0709	64,9291	0,1118	11,90012	64,42
10	49,1593	50,8407	0,3202	26,6872	91,11
20	57,5362	42,4638	0,1202	8,367457	99,48

Os valores da simulação 10 estão apresentados na Tabela 35. Na simulação 10 o valor da pressão no duto de alimentação é de 15 bar, os valores da geometria do hidrociclone e da fração de sólidos na suspensão de alimentação estão mostradas na Tabela 25.

Tabela 35: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 15 bar

D <sub>p</sub> (μm)	MODELO CFX %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_i^{overflow}_{ACUMULADO}$
0,04	25,1822	74,8178	0,0005	0,061273	0,06
0,07	25,1836	74,8164	0,0013	0,159308	0,22
0,1	25,1858	74,8142	0,001	0,122541	0,34
0,25	25,2084	74,7916	0,0081	0,99228	1,34
0,5	25,2904	74,7096	0,0155	1,896726	3,23
0,75	25,4473	74,5527	0,0248	3,028389	6,26
1	25,673	74,327	0,0342	4,163602	10,42
2	26,8903	73,1097	0,1235	14,78899	25,21
3	29,5211	70,4789	0,1161	13,40256	38,62
4	32,6266	67,3734	0,1228	13,55138	52,17
5	36,2169	63,7831	0,1118	11,68003	63,85
10	50,7397	49,2603	0,3202	25,83538	89,68
20	45,5234	54,4766	0,1202	10,72534	100,41

Analisando os valores da simulação 10, verificou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 25,21%
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 63,85%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 48,24%.

Os valores da simulação 11 estão apresentados na Tabela 36. Na simulação 11 o valor da pressão no duto de alimentação foi de 20 bar, os valores da geometria do hidrociclone e da fração de sólidos na suspensão de alimentação estão mostradas na Tabela 25.

Tabela 36: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 20 bar

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	MODELO CFX %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_i^{overflow}_{ACUMULADO}$
0,04	25,2229	74,7771	0,0005	0,060755	0,06
0,07	25,2246	74,7754	0,0013	0,15796	0,22
0,1	25,2272	74,7728	0,001	0,121504	0,34
0,25	25,2545	74,7455	0,0081	0,983821	1,32
0,5	25,3542	74,6458	0,0155	1,880109	3,20
0,75	25,5422	74,4578	0,0248	3,000599	6,20
1	25,8063	74,1937	0,0342	4,123245	10,33
2	27,2588	72,7412	0,1235	14,598	24,93
3	30,3929	69,6071	0,1161	13,13203	38,06
4	34,023	65,977	0,1228	13,16549	51,22
5	38,1566	61,8434	0,1118	11,23521	62,46
10	53,0377	46,9623	0,3202	24,43525	86,89
20	30,096	69,904	0,1202	13,65377	100,55

Analisando os valores exibidos simulação 11, verificou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow, para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 24,93%;
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 62,46%.
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 49,33%.

Os valores da simulação 12 estão apresentados na Tabela 37. Na simulação 12 o valor da pressão no duto de alimentação foi de 30 bar, os valores da geometria do hidrociclone e da fração de sólidos na suspensão de alimentação estão mostradas na Tabela 25.

Tabela 37: Simulação do Modelo CFX: ápex 5mm, vórtex 6 mm e pressão 30 bar

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	MODELO CFX %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	25,2894	74,7106	0,0005	0,0606466	0,06
0,07	25,2916	74,7084	0,0013	0,1576766	0,22
0,1	25,295	74,705	0,001	0,1212842	0,34
0,25	25,3303	74,6697	0,0081	0,9819378	1,32
0,5	25,46	74,54	0,0155	1,8757529	3,20
0,75	25,6904	74,3096	0,0248	2,991928	6,19
1	26,0372	73,9628	0,0342	4,1067096	10,30
2	27,8513	72,1487	0,1235	14,466052	24,76
3	31,7865	68,2135	0,1161	12,857517	37,62
4	36,2005	63,7995	0,1228	12,719504	50,34
5	41,0896	58,9104	0,1118	10,692723	61,03
10	55,6015	44,3985	0,3202	23,080444	84,11
20	16,7421	83,2579	0,1202	16,247422	100,36

Analisando os valores da simulação 12, verificou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 24,76%;
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 61,03%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 50,02%.

Comparando os valores das simulações 6 e 7, verificou-se:

- Aumento no valor da fração argila, para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  próxima de 1,57% e para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  de aproximadamente 1,45%;
- Diminuição do valor da fração silte próxima de 1,7% para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$ .

Confrontando os valores das simulações 7 e 8, constatou-se:

- Aumento no valor da fração argila para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  próxima de 7,85% e para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  de aproximadamente 5,51%;

- Diminuição do valor da fração silte de aproximadamente 6,12% para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$ .

Comparando os valores das simulações 8 e 9, constatou-se:

- Diminuição no valor da fração argila para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  próxima de 2,09% e para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  de aproximadamente, 2,78%;
- Aumento do valor da fração silte de aproximadamente 0,79% para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$ .

Comparando os valores das simulações 9 e 10, constatou-se:

- Diminuição no valor da fração argila para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  próxima de 0,32% e para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  de aproximadamente 0,88%;
- Aumento do valor da fração silte de aproximadamente 2,72% para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$ .

Analisando os valores das simulações 10 e 11, constatou-se:

- Diminuição no valor da fração argila para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  próxima de 1,11% e para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  de aproximadamente 2,18%;
- Aumento no valor da fração silte de aproximadamente 2,26% para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$ .

Comparando os valores das simulações 11 e 12, verificou-se:

- Diminuição no valor da fração argila para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  próxima de 0,70% e para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  de aproximadamente, 2,29%;
- Aumento no valor da fração silte de aproximadamente 1,40% para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$ .

Nas simulações 16 e 17 foi mantida constante a concentração de sólidos na suspensão de alimentação e a geometria do hidrociclone, variou-se a pressão do duto de alimentação em torno de 10,5 bar.

A Tabela 38 apresenta os valores da simulação 16, cujas variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 38: Simulação do Modelo CFX: ápex 4mm, vórtex 5 mm e pressão 10,5 bar

D <sub>p</sub> (μm)	CFD %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	28,4338	71,5662	0,0005	0,06054	0,06
0,07	28,435	71,565	0,0013	0,157401	0,22
0,1	28,4369	71,5631	0,001	0,121074	0,34
0,25	28,456	71,544	0,0081	0,980441	1,32
0,5	28,5259	71,4741	0,0155	1,87432	3,19
0,75	28,6453	71,4741	0,0248	2,998912	6,19
1	28,8289	71,3547	0,0342	4,128687	10,32
2	29,9188	71,1711	0,1235	14,87079	25,19
3	31,6176	68,3824	0,1161	13,43197	38,62
4	33,8233	66,1767	0,1228	13,74886	52,37
5	36,4106	63,5894	0,1118	12,0279	64,40
10	48,2149	51,7851	0,3202	28,05365	92,45
20	61,4244	38,5756	0,1202	7,844774	100,30

Após análise dos valores da Tabela 38, constatou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow, para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 25,19%;
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 64,40%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 47,93%.

A Tabela 39 apresenta os valores da simulação 17, cujas variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentados na Tabela 25.

Após análise dos valores da simulação 17, verificou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 25,20%
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 64,34%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 47,95%.

Tabela 39: Simulação do Modelo CFX: ápex 4mm, vórtex 5 mm e pressão 11 bar

D <sub>p</sub> (μm)	MODELO CFD %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_i^{overflow}_{ACUMULADO}$
0,04	28,4482	71,5518	0,0005	0,060572	0,06
0,07	28,4494	71,5506	0,0013	0,157485	0,22
0,1	28,4513	71,5487	0,001	0,121139	0,34
0,25	28,4711	71,5289	0,0081	0,980954	1,32
0,5	28,5438	71,4562	0,0155	1,875227	3,20
0,75	28,6659	71,4562	0,0248	3,000364	6,20
1	28,8579	71,3341	0,0342	4,130528	10,33
2	29,9737	71,1421	0,1235	14,87565	25,20
3	31,7223	68,2777	0,1161	13,42126	38,62
4	33,988	66,012	0,1228	13,72472	52,35
5	36,6398	63,3602	0,1118	11,99335	64,34
10	48,5141	51,4859	0,3202	27,91206	92,25
20	60,4367	39,5633	0,1202	8,051546	100,30

Comparando-se os valores apresentados nas simulações 16 e 17, verifica-se que não há variação significativa nos valores da fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  e para  $d \leq 5 \mu\text{m}$ , e, no valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$ .

#### 5.6.3.3. Mudanças na Geometria do Hidrociclone

Foram realizadas as simulações 13, 14 e 15; variou-se a geometria do hidrociclone, mantendo constante a pressão no duto de alimentação, a concentração de sólidos na suspensão de alimentação.

Nas simulações 13 e 14 foram mantidas constantes a pressão no duto de alimentação, a concentração de sólidos na suspensão de alimentação e o diâmetro do vórtex, variou-se o diâmetro ápex.

Na simulação 13 o valor do diâmetro do ápex é de 2 mm, os valores do diâmetro do vórtex, da pressão do duto de alimentação e da fração de sólidos na suspensão de alimentação estão mostrados na Tabela 25.

A Tabela 40 são apresentados os valores da simulação 13.

Tabela 40: Simulação do Modelo CFX: ápex 2mm, vórtex 6 mm e pressão 10 bar

D <sub>p</sub> (μm)	CFD %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	8,08	91,920	0,0005	0,055211	0,06
0,07	8,081	91,919	0,0013	0,143546	0,20
0,1	8,081	91,919	0,001	0,11042	0,31
0,25	8,09	91,91	0,0081	0,894316	1,20
0,5	8,118	91,882	0,0155	1,710825	2,91
0,75	8,165	91,882	0,0248	2,73732	5,65
1	8,233	91,835	0,0342	3,772921	9,42
2	8,704	91,767	0,1235	13,61435	23,04
3	9,711	90,289	0,1161	12,59246	35,63
4	10,956	89,044	0,1228	13,13549	48,77
5	12,509	87,491	0,1118	11,75029	60,52
10	23,593	76,407	0,3202	29,38988	89,91
20	28,017	71,983	0,1202	10,39388	100,30

Analisando os valores da simulação 13, constatou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow, para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 23,04%
- A fração argila para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 60,52%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 51,53%.

Na simulação 14 o valor do diâmetro do ápex é de 6 mm, os valores do diâmetro do vórtex, da pressão do duto de alimentação e da fração de sólidos na suspensão de alimentação estão mostrados na Tabela 25. A Tabela 41 apresenta os valores da simulação 14.

Analisando os valores da simulação 14, verificou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow, para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 24,86%;
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 62,93%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 46,31%;

Tabela 41: Simulação do Modelo CFX: ápex 6mm, vórtex 6 mm e pressão 10 bar

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	CFD %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	31,5722	68,4278	0,0005	0,059752	0,06
0,07	31,5735	68,4265	0,0013	0,155353	0,22
0,1	31,5754	68,4246	0,001	0,119499	0,33
0,25	31,5952	68,4048	0,0081	0,967659	1,30
0,5	31,6658	68,3342	0,0155	1,849783	3,15
0,75	31,7854	68,3342	0,0248	2,959653	6,11
1	31,9778	68,2146	0,0342	4,074313	10,19
2	33,0875	68,0222	0,1235	14,6713	24,86
3	35,2831	64,7169	0,1161	13,12202	37,98
4	37,7825	62,2175	0,1228	13,34326	51,32
5	40,5694	59,4306	0,1118	11,60387	62,93
10	52,9904	47,0096	0,3202	26,28808	89,21
20	45,6089	54,3911	0,1202	11,41782	100,63

Comparando-se os valores apresentados nas simulações 13 e 14, nas quais houve um aumento do diâmetro do ápex, mantendo-se constante as demais variáveis do processo de hidrociclonagem, apresentados na Tabela 25, observou-se:

- Aumento no valor da fração argila para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  próximo de 7,90% e para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  de aproximadamente 5,12%;
- Redução do valor da fração silte de aproximadamente 10,13% para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$ .

Nas simulações 14 e 15 variou-se o diâmetro do vórtex, mantendo-se constantes a pressão no duto de alimentação, a concentração de sólidos na suspensão de alimentação e o diâmetro do ápex.

Na simulação 14 o valor do diâmetro do vórtex é de 6 mm e na simulação 15 o valor do diâmetro do vórtex 4,5 mm; os valores do diâmetro do ápex, da pressão do duto de alimentação e da fração de sólidos na suspensão de alimentação estão mostrados na Tabela 25. Os valores da simulação 14 estão apresentados na Tabela 41.

A Tabela 42 apresenta os valores da simulação 15.



Tabela 42: Simulação do Modelo CFX: ápex 6mm, vórtex 4,5 mm e pressão 10 bar

$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	CFD %				
	Eficiência	$\epsilon_{overflow}$	$x_i^{feed}$	$x_i^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	43,4156	56,5844	0,0005	0,063007	0,06
0,07	43,4167	56,5833	0,0013	0,163816	0,23
0,1	43,4184	56,5816	0,001	0,126008	0,35
0,25	43,4359	56,5641	0,0081	1,020351	1,37
0,5	43,5	56,5	0,0155	1,950311	3,32
0,75	43,6104	56,5	0,0248	3,120497	6,44
1	43,7689	56,3896	0,0342	4,294858	10,74
2	44,7984	56,2311	0,1235	15,46562	26,20
3	46,6884	53,3116	0,1161	13,78407	39,99
4	48,787	51,213	0,1228	14,00562	53,99
5	51,1773	48,8227	0,1118	12,1559	66,15
10	65,0124	34,9876	0,3202	24,94935	91,10
20	63,7824	36,2176	0,1202	9,695	100,79

Após análise dos valores da simulação 15, constatou-se que:

- O valor da fração argila acumulada no overflow, para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  foi igual a 26,20%;
- A fração argila acumulada no overflow para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  foi igual a 66,15%;
- O valor da fração silte acumulada no overflow para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$  foi igual a 46,80%;

Confrontando os valores apresentado nas simulações 14 e 15, verificou-se:

- Aumento no valor da fração argila para  $d \leq 2 \mu\text{m}$  próxima de 5,39% e para  $d \leq 5 \mu\text{m}$  de aproximadamente 5,12%;
- Aumento no valor da fração silte de aproximadamente 1,06% para  $5 \mu\text{m} \leq d \leq 20 \mu\text{m}$ .

#### 5.6.4. Tamanho Característico das Partículas e Eficiência Total do Overflow

Nas Figuras de 37 a 47 ilustramos a plotagem dos valores da fração de sólidos acumulada no overflow *versus* o diâmetro médio das partículas, empregando

o software OriginPro 8, utilizando o modelo originalmente publicado por Rossin *et al.*, 1933. A equação de Rosin-Rammler é:

$$Y = 1 - \exp(-(D_p/D_0)^n) \quad (27)$$

Onde  $D_0$  é denominado de “tamanho característico das partículas”,  $n$  é chamado de “constante de uniformidade”,  $D_p$  são os valores do diâmetro médio das partículas utilizado nas simulações e  $Y$  é a fração de sólidos acumulada no overflow obtidos nas simulações.

O tamanho característico das partículas ( $D_0$ ), é definido como o diâmetro das partículas onde 63,2% das partículas acumuladas no overflow são finas e a constante de uniformidade esta relacionada com a dispersão do tamanho das partículas da amostra, quando maior que 1 for o valor de  $n$ ,  $n > 1$ , menor é a dispersão do tamanho da amostra estudada (Vesilind P. A., 1980).

A eficiência granulométrica total do overflow é definida como sendo a razão entre as vazões mássicas de sólido no overflow  $\varepsilon_o$ , e a vazão total de sólido na suspensão de alimentação  $\varepsilon_a$ , como apresentado na Equação 28, neste caso para um determinado tamanho de partícula, requerendo a análise granulométrica de sólidos na entrada (Chu *et al.*, 2004).

$$E_G = E_T \frac{d\varepsilon_o}{d\varepsilon_a} \quad (28)$$

Na Tabela 43 são apresentados os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do coeficiente de correlação ( $R$ ), do tamanho característico das partículas ( $D_0$ ) e da constante de uniformidade ( $n$ ), obtidos por meio de ajuste estatístico do modelo de ROSSIN- RAMMLER, usando o software OriginPro 8.

Analisando os valores do coeficiente de correlação verificamos que em todas as simulações realizadas são próximos de 1. Quanto mais próximo de 1 é o valor de  $R$  melhores são os resultados obtidos no ajuste estatístico (Montgomery e Runger, 2003; Montgomery, 2008).

Tabela 43: Valores de  $R^2$ , R, n e  $D_0$ 

Simulação	Valores de $R^2$	Valores de R	Valores de n	Valores de $D_0$ ( $\mu\text{m}$ )
1	0,99986	0,99993	1,41370	5,19875
2	0,99985	0,99992	1,41731	5,11747
3	0,99986	0,99993	1,43568	5,00868
4	0,99988	0,99994	1,43081	5,06345
5	0,99927	0,99964	1,35722	4,99955
6	0,99988	0,99994	1,42422	5,15423
7	0,99988	0,99994	1,43638	5,06026
8	0,99986	0,99993	1,43692	4,75148
9	0,99964	0,99982	1,37192	4,98085
10	0,99938	0,99969	1,34505	5,06528
11	0,99874	0,99934	1,29346	5,27247
12	0,99796	0,99898	1,24333	5,50066
13	0,99979	0,99989	1,38675	5,35009
14	0,99937	0,99968	1,34111	5,15740
15	0,99936	0,99968	1,36871	4,84290
16	0,99982	0,99991	1,40104	4,94444
17	0,99980	0,99990	1,39649	4,95363

Quanto aos valores de  $D_0$  e n, constatou-se que varia com alterações na concentração de sólidos na suspensão de alimentação, com variações na pressão do duto de alimentação e na geometria do hidrociclone.

#### 5.6.4.1. Variações na Concentração de Sólidos

A Tabela 44 expomos os valores da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow e o diâmetro das partículas ( $D_p$ ), das simulações 1, 2, e 3; nas quais foram mantidos constantes a geometria do hidrociclone e a pressão no duto de alimentação, variando-se a fração de sólidos na suspensão de alimentação de 4%, 8% e 16%; os demais valores das variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 44: Fração Acumulada no Overflow nas Simulações 1, 2 e 3

Simulação	1	2	3
$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,1	0,32	0,32	0,33
0,25	1,23	1,25	1,27
0,5	2,98	3,03	3,08
0,75	5,78	5,87	5,96
1	9,63	9,79	9,94
2	23,46	23,84	24,22
3	36,31	36,87	37,46
4	49,69	50,42	51,21
5	61,64	62,51	63,46
10	91,67	92,12	93,31
20	100,26	100,29	100,33

Na Figura 37 apresentamos a superposição dos gráficos da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow versus o diâmetro médio das partículas, das simulações 1, 2 e 3, cujos valores estão mostrados na Tabela 44.

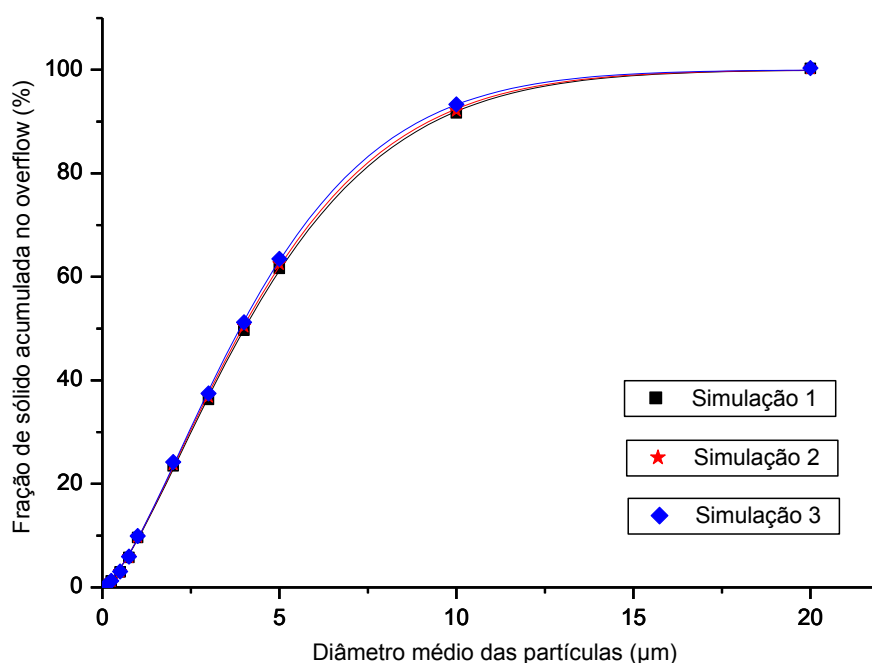


Figura 37: Curvas Superpostas da Fração acumulada no Overflow: Simulações 1, 2 e 3

Analisando a Figura 37, podemos verificar o aumento na concentração de sólidos na suspensão de alimentação induziu o aumento da fração de sólidos acumulado no overflow, para todos os valores do diâmetro médio das partículas.

Na Tabela 45 apresentamos os valores da eficiência total do overflow, da vazão no duto de alimentação, do tamanho característico das partículas ( $D_0$ ) e da constante de uniformidade ( $n$ ), das simulações 1, 2 e 3.

Tabela 45: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação,  $D_0$  e  $n$ : simulações 1, 2 e 3

Simulação	Eficiência total no overflow (%)	Vazão da alimentação (kg/s)	$D_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$n$
1	66,79	0,313	5,19875	1,4137
2	65,94	0,328	5,11748	1,4173
3	65,44	0,342	5,00868	1,4357

Analisando os valores da Tabela 45, verificou-se que aumentando a concentração de sólidos na suspensão de alimentação, mantendo-se constante a geometria do hidrociclone e a pressão no duto de alimentação, ocorreu:

- Diminuição da eficiência total do overflow para concentração de 8%, e para concentração de 16%, ambas comparativamente a concentração de sólidos na suspensão de alimentação igual 4%;
- Aumento da vazão no duto de alimentação para concentração de 8%, e para concentração de 16%, ambas comparativamente a concentração de sólidos na suspensão de alimentação igual 4%;
- Diminuição do tamanho característico das partículas próxima de 3,66%;
- Aumento da constante de uniformidade de aproximadamente 1,56%.

#### 5.6.4.2. Mudanças da Pressão do Duto de Alimentação

Na Tabela 46 apresentamos os valores do diâmetro médio das partículas e a fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow, das simulações 4 e 5, nas quais foram mantidos constantes a geometria do hidrociclone e a fração de sólidos na suspensão de alimentação, variando-se a pressão do duto

de alimentação de 4 para 10 bar, os valores das demais variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 46: fração acumulada no overflow nas simulações 4 e 5

Simulação	4	5
$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	0,06	0,06
0,07	0,21	0,22
0,1	0,32	0,34
0,25	1,26	1,33
0,5	3,05	3,23
0,75	5,91	6,25
1	9,85	10,42
2	23,99	25,25
3	37,10	38,82
4	50,72	52,68
5	62,87	64,77
10	92,94	89,94
20	100,30	100,42

Na Figura 38 mostramos a superposição dos gráficos da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow versus o diâmetro médio das partículas, das simulações 4 e 5, cujos valores estão mostrados na Tabela 46.

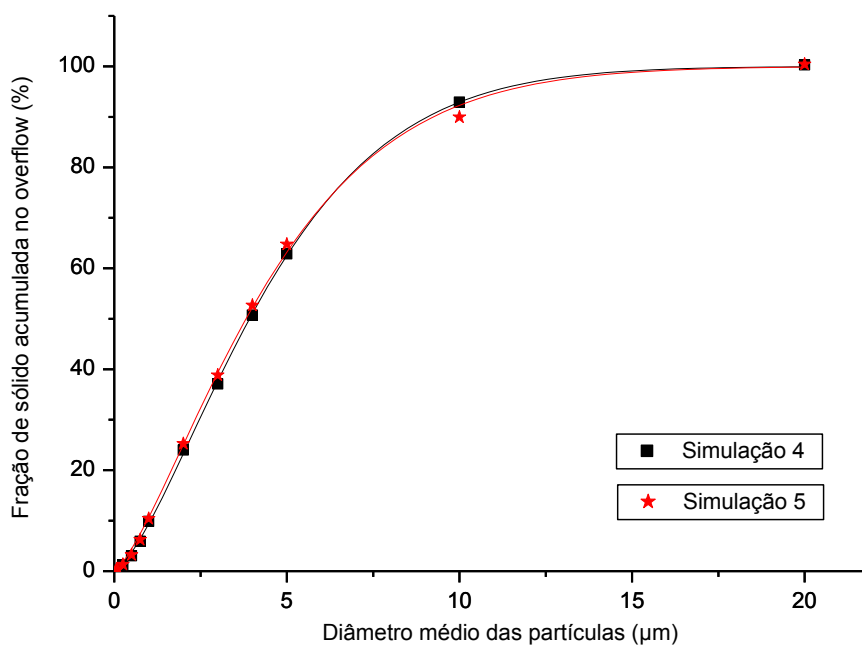


Figura 38: Curvas Superpostas da Fração Acumulada no Overflow: simulações 4 e 5

Analisando a Figura 38, verificou-se que mantendo constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação, a geometria do hidrociclone e aumentando a pressão no duto de alimentação de 4 para 10 bar, houve um acréscimo na fração de sólidos acumulado no overflow para os valores de  $D_p$  estudados, com exceção dos valores de  $D_p$  em torno de 10  $\mu\text{m}$ .

Na Tabela 47 apresentamos os valores da eficiência total do overflow, da vazão no duto de alimentação, do tamanho característico das partículas ( $D_0$ ) e da constante de uniformidade ( $n$ ), das simulações 4 e 5.

Tabela 47: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação,  $D_0$  e  $n$ : simulações 4 e 5

Simulação	Eficiência total no overflow (%)	Vazão da alimentação (kg/s)	$D_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$n$
4	66,49	0,350	5,06345	1,43081
5	62,66	0,608	4,99955	1,35722

Analisando os valores da Tabela 47, verificou-se que mantendo constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação e a geometria do hidrociclone, aumentando a pressão no duto de alimentação de 4 para 10 bar, ocorreu:

- Diminuição da eficiência total do overflow de aproximadamente de 5,76%;
- Aumento no valor da vazão no duto de alimentação próxima de 73,71%;
- Diminuição do tamanho característico das partículas próximo de 1,26%;
- Diminuição da constante de uniformidade de aproximadamente de 5,14%.

Nas simulações 6 e 7 foram mantidos constantes a geometria do hidrociclone e a fração de sólidos na suspensão de alimentação, variou-se a pressão no duto de alimentação de 3 para 4 bar.

Na Tabela 48 mostramos os valores da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow e do diâmetro médio das partículas estudadas, das simulações 6 e 7.

Tabela 48: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 6 e 7

Simulação	6	7
$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	0,06	0,06
0,07	0,20	0,21
0,1	0,32	0,32
0,25	1,35	1,26
0,5	3,10	3,04
0,75	5,90	5,90
1	9,75	9,84
2	23,58	23,95
3	36,45	37,04
4	49,87	50,66
5	61,90	62,80
10	92,46	93,21
20	100,36	100,29

Na Figura 39 apresentamos a superposição dos gráficos da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow versus o diâmetro médio das partículas das simulações 6 e 7, cujos valores estão mostrados na Tabela 48.

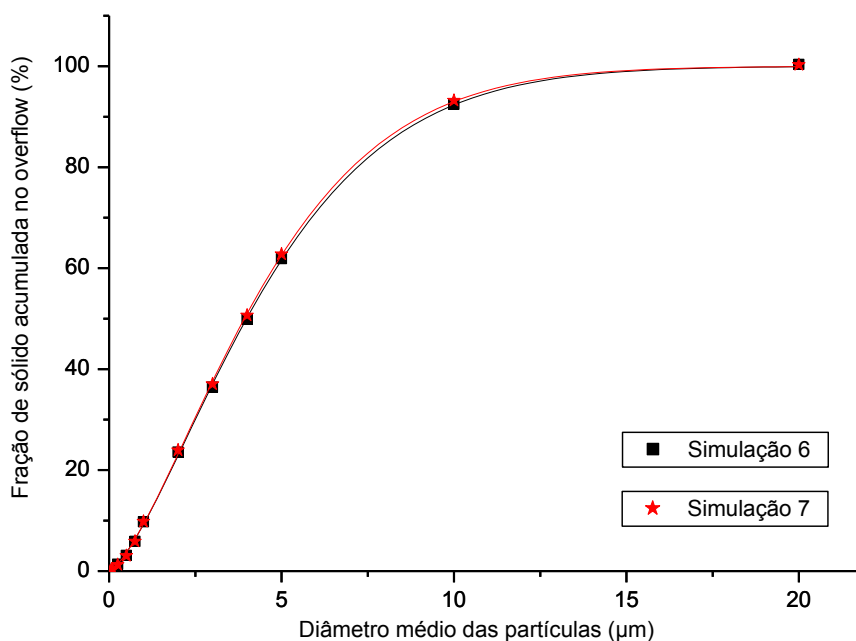


Figura 39: Curvas Superpostas da Fração Acumulada no Overflow: simulações 6 e 7



Analisando a Figura 39, mantendo constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação, geometria do hidrociclone e aumentando a pressão no duto de alimentação de 3 para 4 bar constata-se que: não houve variação significativa na fração de sólidos acumulada no overflow para  $D_p < 2,5 \mu\text{m}$ , houve um aumento na fração de sólidos acumulado no overflow para  $2,5 \mu\text{m} < D_p < 20 \mu\text{m}$ , e, para valores de  $D_p$  em torno de  $20 \mu\text{m}$  houve uma diminuição da fração de sólidos acumulada no overflow.

Na Tabela 49 apresentamos os valores da eficiência total do overflow, da vazão no duto de alimentação, do tamanho característico das partículas ( $D_0$ ) e da constante de uniformidade ( $n$ ), das simulações 6 e 7.

Tabela 49: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação,  $D_0$  e  $n$ : simulações 6 e 7

Simulação	Eficiência total no overflow (%)	Vazão da alimentação (kg/s)	$D_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$n$
6	66,72	0,287	5,15423	1,42422
7	64,90	0,350	5,06026	1,43638

Analisando os valores da Tabela 49, verificou-se que mantendo constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação e a geometria do hidrociclone, aumentando a pressão no duto de alimentação de 3 para 4 bar, ocorreu:

- Diminuição da eficiência total do overflow de aproximadamente 2,73%;
- Aumento no valor da vazão no duto de alimentação próximo de 21,95%;
- Diminuição do tamanho característico das partículas próxima de 1,82%;
- Não houve variação significativa na constante de uniformidade.

Apresentamos na Tabela 50 os valores da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow e do diâmetro médio das partículas, das simulações 7 e 8.

Nas simulações 7 e 8 foram mantidos constantes a geometria do hidrociclone e a fração de sólidos na suspensão de alimentação, variou-se a pressão no duto de alimentação de 4 para 10 bar.

Tabela 50: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 7 e 8

Simulação	7	8
$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	0,06	0,06
0,07	0,21	0,23
0,1	0,32	0,35
0,25	1,26	1,36
0,5	3,04	3,30
0,75	5,90	6,39
1	9,84	10,65
2	23,95	25,83
3	37,04	39,70
4	50,66	53,88
5	62,80	66,26
10	93,21	94,62
20	100,29	100,47

Na Figura 40 mostramos a superposição dos gráficos da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow versus o diâmetro médio das partículas das simulações 7 e 8, cujos valores estão mostrados na Tabela 50.

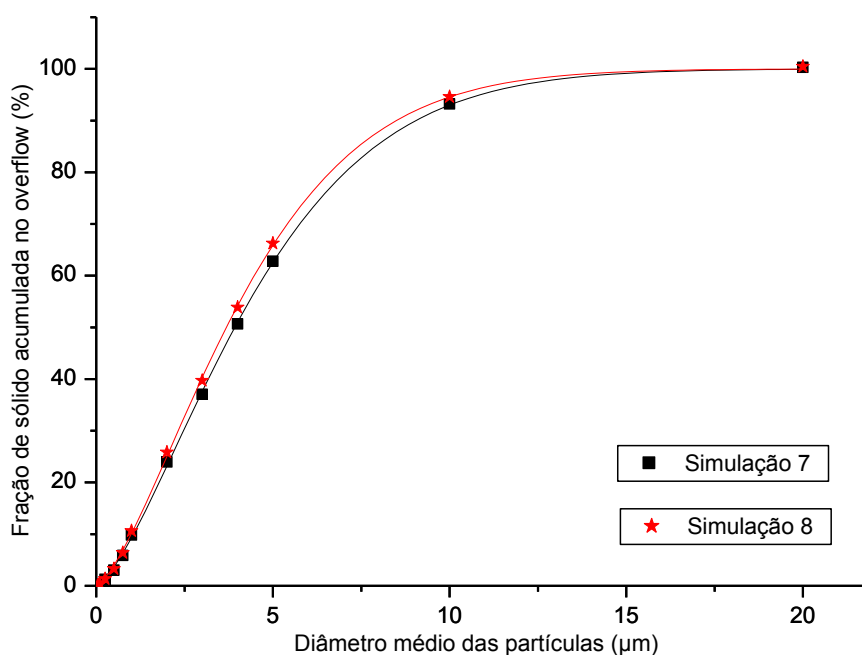


Figura 40: Curvas Superpostas da Fração Acumulada no Overflow: simulações 7 e 8

Após análise da Figura 40, verificou-se que mantendo constante a fração de sólidos na suspensão de alimentação, geometria do hidrociclone e aumentando a pressão no duto de alimentação de 4 para 10 bar, houve um aumento na fração de sólidos acumulado no overflow para todos os valores do diâmetro das partículas ( $D_p$ ).

Na Tabela 51 mostramos os valores da eficiência total do overflow, da vazão no duto de alimentação, do tamanho característico das partículas ( $D_0$ ) e da constante de uniformidade ( $n$ ), das simulações 7 e 8.

Tabela 51: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação,  $D_0$  e  $n$ : simulações 7 e 8

Simulação	Eficiência total no overflow (%)	Vazão da alimentação (kg/s)	$D_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$n$
7	66,72	0,287	5,06026	1,43638
8	59,75	0,629	4,75143	1,43692

Analisando os valores da Tabela 51, verificou-se que se mantendo constante a geometria do hidrociclone, a fração de sólidos na suspensão de alimentação e, aumentando a pressão no duto de alimentação de 4 para 10 bar, ocorreu:

- Diminuição na eficiência total do overflow próxima de 10,46%;
- Aumento na vazão no duto de alimentação de aproximadamente 119,16%;
- Diminuição do tamanho característico das partículas próxima de 6,10%;
- Não existiu variação significativa na constante de uniformidade.

Na Tabela 52 apresentamos os valores da fração de sólidos na suspensão de alimentação acumulada no overflow e o diâmetro das partículas, das simulações 8 e 9.

Nas simulações 8 e 9 foram mantidos constantes a geometria do hidrociclone e a fração de sólidos na suspensão de alimentação, variou-se a pressão no duto de alimentação de 10 para 12,5 bar.

Na Figura 41 ilustramos a superposição dos gráficos da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow versus o diâmetro médio das partículas das simulações 8 e 9, cujos valores estão mostrados na Tabela 52.

Tabela 52: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 8 e 9

Simulação	8	9
$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	0,06	0,06
0,07	0,23	0,22
0,1	0,35	0,34
0,25	1,36	1,34
0,5	3,30	3,24
0,75	6,39	6,27
1	10,65	10,44
2	25,83	25,29
3	39,70	38,80
4	53,88	52,52
5	66,26	64,42
10	94,62	91,11
20	100,47	99,48

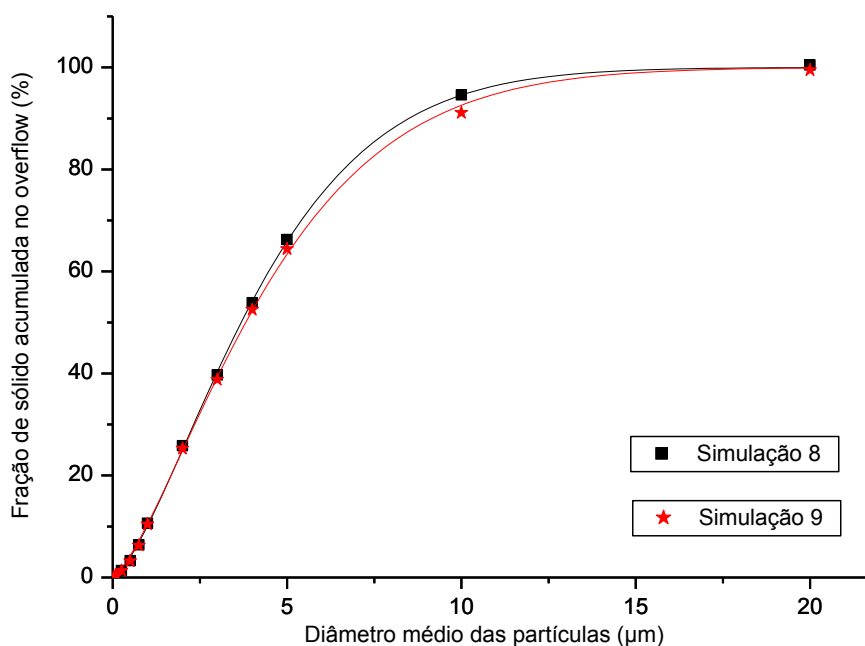


Figura 41: Curvas Superpostas da Fração Acumulada no Overflow: simulações 8 e 9

Após análise da Figura 41, mantendo-se constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação, geometria do hidrociclone e aumentando a pressão no duto de alimentação de 10 para 12,5 bar, ocorreu: para  $D_p < 0,5 \mu\text{m}$  não houve

variação significativa na fração de sólidos acumulado no overflow; para  $D_p > 0,5 \mu\text{m}$  houve diminuição na fração de sólidos acumulado no overflow.

Na Tabela 53 exibimos os valores da eficiência total do overflow, da vazão no duto de alimentação, do tamanho característico das partículas ( $D_0$ ) e da constante de uniformidade ( $n$ ), das simulações 8 e 9.

Tabela 53: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação,  $D_0$  e  $n$ : simulações 8 e 9

Simulação	Eficiência total no overflow (%)	Vazão da alimentação (kg/s)	$D_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$n$
8	59,75	0,629	4,75148	1,4329
9	61,00	0,688	4,98085	1,37192

Analisando os valores da Tabela 53, verificou-se que se mantendo constante a geometria do hidrociclone, a fração de sólidos na suspensão de alimentação e aumentando a pressão no duto de alimentação de 10 para 12,5 bar, ocorreu:

- Aumento na eficiência total do overflow próximo de 2,09%;
- Aumento na vazão no duto de alimentação de aproximadamente 9,38%;
- Aumento do tamanho característico das partículas próximo de 4,83%;
- Diminuição na constante de uniformidade próxima de 4,26%.

Na Tabela 54 mostramos os valores da fração de sólidos na suspensão de alimentação acumulada no overflow e o diâmetro médio das partículas, das simulações 9 e 10.

Nas simulações 9 e 10 foram mantidos constantes a geometria do hidrociclone, a fração de sólidos na suspensão de alimentação e variou-se a pressão no duto de alimentação de 12,5 para 15 bar. Os valores das demais variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentados na Tabela 25.

Exibimos na Figura 42 a superposição das curvas da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow versus o diâmetro médio das partículas das simulações 9 e 10, cujos valores estão mostrados na Tabela 54.

Tabela 54: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 9 e 10

Simulação	9	10
$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	$x_{iACUMULADA}^{overflow}$	$x_{iACUMULADA}^{overflow}$
0,04	0,06	0,06
0,07	0,22	0,22
0,1	0,34	0,34
0,25	1,34	1,34
0,5	3,24	3,23
0,75	6,27	6,26
1	10,44	10,42
2	25,29	25,21
3	38,80	38,62
4	52,52	52,17
5	64,42	63,85
10	91,11	89,68
20	99,48	100,41

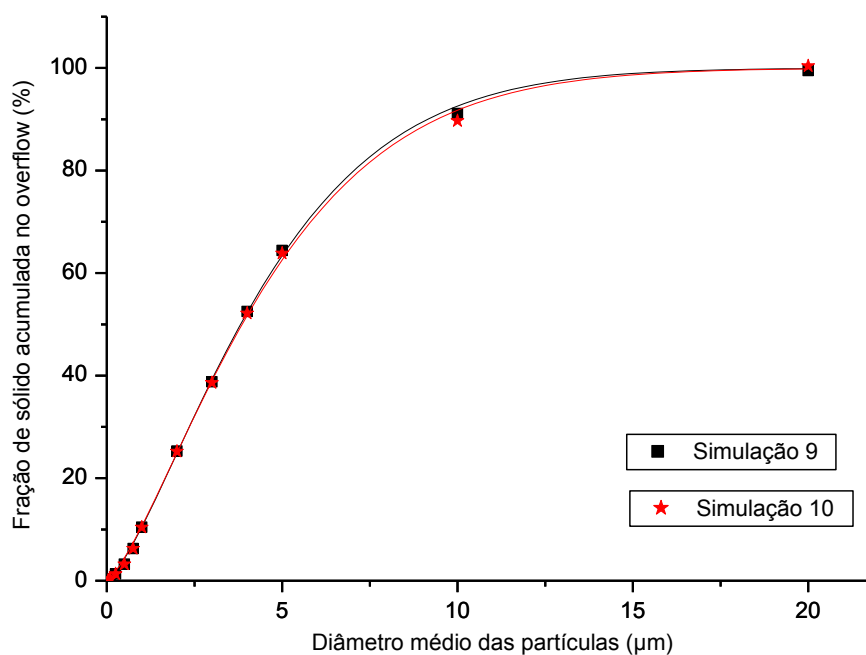


Figura 42: Curvas Superpostas da Fração Acumulada no Overflow: simulações 9 e 10

Após análise da Figura 42, mantendo-se constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação, geometria do hidrociclone e aumentando a pressão no duto de alimentação de 12,5 para 15,0 bar verificou-se que: para  $D_p < 0,5 \mu\text{m}$  não houve variação significativa na fração de sólidos acumulado no overflow; para  $0,5$

$\mu\text{m} < D_p < 20 \mu\text{m}$  houve diminuição na fração de sólidos acumulado no overflow e para valores de  $D_p$  em torno de  $20 \mu\text{m}$  houve um aumento da fração de sólidos acumulada no overflow.

Na Tabela 55 apresentamos os valores da eficiência total do overflow, da vazão no duto de alimentação, do tamanho característico das partículas ( $D_0$ ) e da constante de uniformidade ( $n$ ), das simulações 9 e 10.

Tabela 55: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação,  $D_0$  e  $n$ : simulações 9 e 10

Simulação	Eficiência total no overflow (%)	Vazão da alimentação (kg/s)	$D_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$n$
9	61,00	0,688	4,98085	1,37192
10	61,05	0,760	5,06528	1,34505

Analisando os valores da Tabela 55, verificou-se que se mantendo constante a geometria do hidrociclone, a fração de sólidos na suspensão de alimentação e aumentando a pressão no duto de alimentação de 10 para 12,5 bar, ocorreu:

- Não houve variação significativa na eficiência total do overflow;
- Aumento na vazão no duto de alimentação próxima de 7,20%;
- Aumento do tamanho característico das partículas próximo de 16,95%;
- Diminuição na constante de uniformidade de aproximadamente 1,96%.

Tabela 56: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 10 e 11

Simulação	10	11
$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	0,06	0,06
0,07	0,22	0,22
0,1	0,34	0,34
0,25	1,34	1,32
0,5	3,23	3,20
0,75	6,26	6,20
1	10,42	10,33
2	25,21	24,93
3	38,62	38,06
4	52,17	51,22
5	63,85	62,46
10	89,68	86,89
20	100,41	100,55

Na Tabela 56 apresentamos os valores da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow e o diâmetro das partículas, das simulações 10 e 11.

Nas simulações 10 e 11 foram mantidos constantes a geometria do hidrociclone e a fração de sólidos na suspensão de alimentação, variou-se a pressão no duto de alimentação de 15 para 20 bar. Os valores das demais variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentados na Tabela 25.

Na Figura 43 mostramos a superposição das curvas da fração de sólidos na suspensão de alimentação acumulada no overflow versus o diâmetro médio das partículas das simulações 10 e 11, cujos valores estão mostrados na Tabela 56.

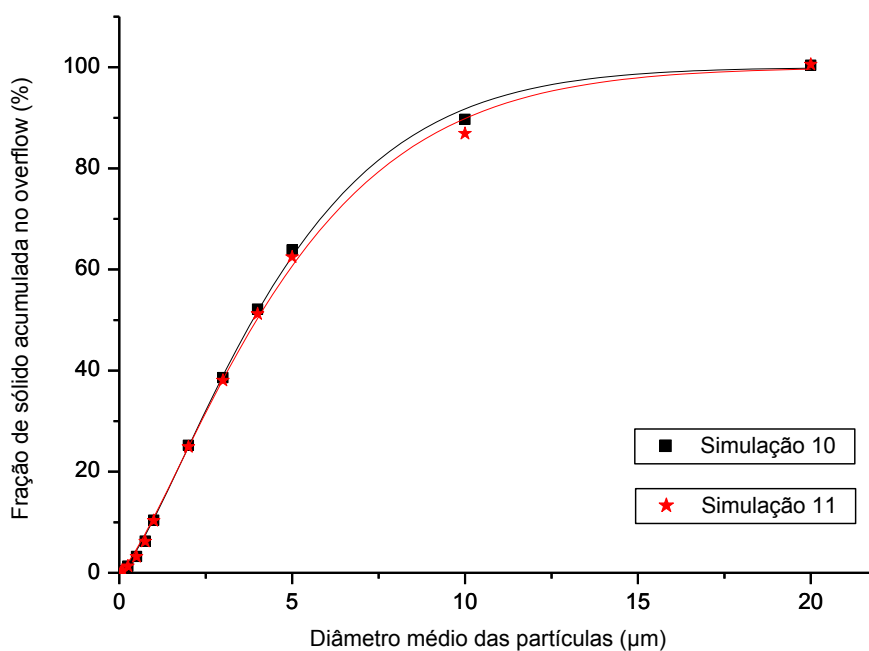


Figura 43: Curvas Superpostas da Fração Acumulada no Overflow: simulações 10 e 11

Analisando a Figura 43, verificou-se que se mantendo constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação, a geometria do hidrociclone e aumentando a pressão no duto de alimentação de 15 para 20 bar: para  $D_p < 2,5 \mu\text{m}$  não houve variação significativa na fração de sólidos acumulado no overflow; para  $2,5 \mu\text{m} < D_p < 20 \mu\text{m}$  houve diminuição na fração de sólidos acumulado no overflow.



Na Tabela 57 apresentamos os valores da eficiência total do overflow, da vazão no duto de alimentação, do tamanho característico das partículas ( $D_0$ ) e da constante de uniformidade ( $n$ ), das simulações 10 e 11.

Tabela 57: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação,  $D_0$  e  $n$ : simulações 10 e 11

Simulação	Eficiência total no overflow (%)	Vazão da alimentação (kg/s)	$D_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$n$
10	61,05	0,760	5,06528	1,34505
11	61,54	0,886	5,27247	1,29346

Analisando os valores da Tabela 57, verificou-se que se mantendo constante a geometria do hidrociclone, a fração de sólidos na suspensão de alimentação e aumentando a pressão no duto de alimentação de 15 para 20 bar, ocorreu:

- Não houve variação significativa no valor da eficiência total do overflow;
- Aumento na vazão no duto de alimentação próximo de 16,58%;
- Aumento do tamanho característico das partículas próximo de 4,09%;
- Diminuição na constante de uniformidade de aproximadamente 3,84%.

Na Tabela 58 apresentamos os valores da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow e o diâmetro das partículas, das simulações 11 e 12.

Tabela 58: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 11 e 12

Simulação	11	12
$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	0,06	0,06
0,07	0,22	0,22
0,1	0,34	0,34
0,25	1,32	1,32
0,5	3,20	3,20
0,75	6,20	6,19
1	10,33	10,30
2	24,93	24,76
3	38,06	37,62
4	51,22	50,34
5	62,46	61,03
10	86,89	84,11
20	100,55	100,36

Nas simulações 11 e 12 foram mantidos constantes a geometria do hidrociclone e a fração de sólidos na suspensão de alimentação, variou-se a pressão no duto de alimentação de 20 para 30 bar. Os demais valores do processo de hidrociclonagem estão apresentados na Tabela 25.

Na Figura 44 mostramos a superposição das curvas da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow *versus* diâmetro médio das partículas das simulações 11 e 12, cujos valores as variáveis estão mostradas na Tabela 58.

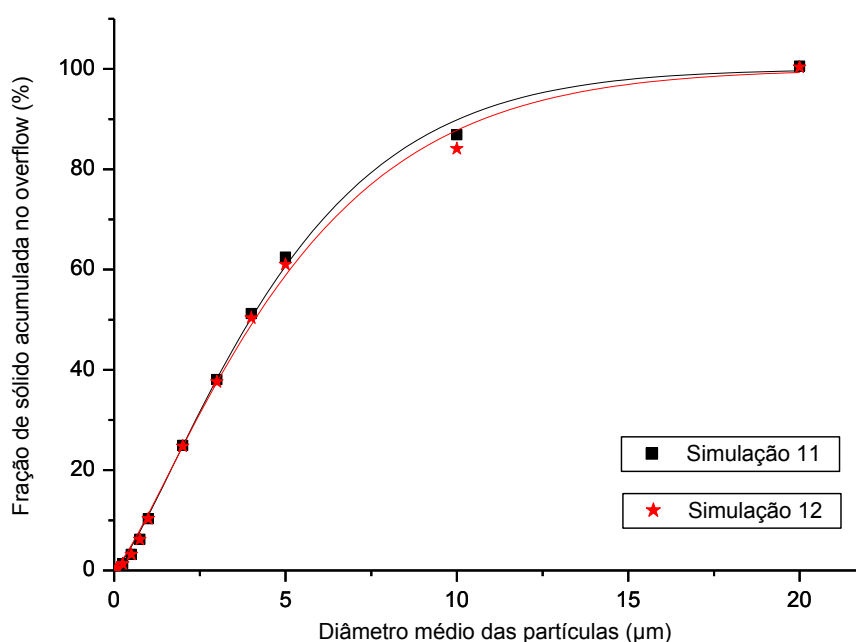


Figura 44: Curvas Superpostas da Fração Acumulada no Overflow: simulações 11 e 12

Após análise a Figura 44, constatou-se que se mantendo constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação, geometria do hidrociclone e aumentando a pressão no duto de alimentação de 20 para 30 bar: para  $D_p < 2 \mu\text{m}$  não houve variação significativa na fração de sólidos acumulado no overflow; para  $2 \mu\text{m} < D_p < 20 \mu\text{m}$  houve diminuição na fração de sólidos acumulado no overflow.

Na Tabela 59 apresentamos os valores da eficiência total do overflow, da vazão no duto de alimentação, do tamanho característico das partículas ( $D_0$ ) e da constante de uniformidade ( $n$ ), das simulações 11 e 12.

Tabela 59: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação,  $D_0$  e  $n$ : simulações 11 e 12

Simulação	Eficiência total no overflow (%)	Vazão da alimentação (kg/s)	$D_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$n$
11	61,54	0,886	5,27247	1,29346
12	61,60	1,095	5,50066	1,24333

Analisando os valores da Tabela 59 verificou-se que se mantendo constante a geometria do hidrociclone, a fração de sólidos na suspensão de alimentação e aumentando a pressão no duto de alimentação de 20 para 30 bar, ocorreu:

- Não houve variação significativa no valor da eficiência total do overflow;
- Aumento na vazão no duto de alimentação de aproximadamente 25,84%;
- Aumento do tamanho característico das partículas próximo de 4,33%;
- Decréscimo na constante de uniformidade de aproximadamente 3,88%.

Na Tabela 60 apresentamos os valores da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow e o diâmetro das partículas nas simulações 16 e 17.

Nas simulações 16 e 17 foram mantidas constantes a concentração de sólidos na suspensão de alimentação a geometria do hidrociclone e variou-se a pressão do duto de alimentação em torno de 10,5 bar.

Tabela 60: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 16 e 17

Simulação	16	17
$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	0,06	0,06
0,07	0,22	0,22
0,1	0,34	0,34
0,25	1,32	1,32
0,5	3,19	3,20
0,75	6,19	6,20
1	10,32	10,33
2	25,19	25,20
3	38,62	38,62
4	52,37	52,35
5	64,40	64,34
10	92,45	92,25
20	100,30	100,30

Na Figura 45 apresentamos a superposição das curvas da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow e o diâmetro médio das partículas das simulações 16 e 17, cujos valores estão mostrados na Tabela 60.

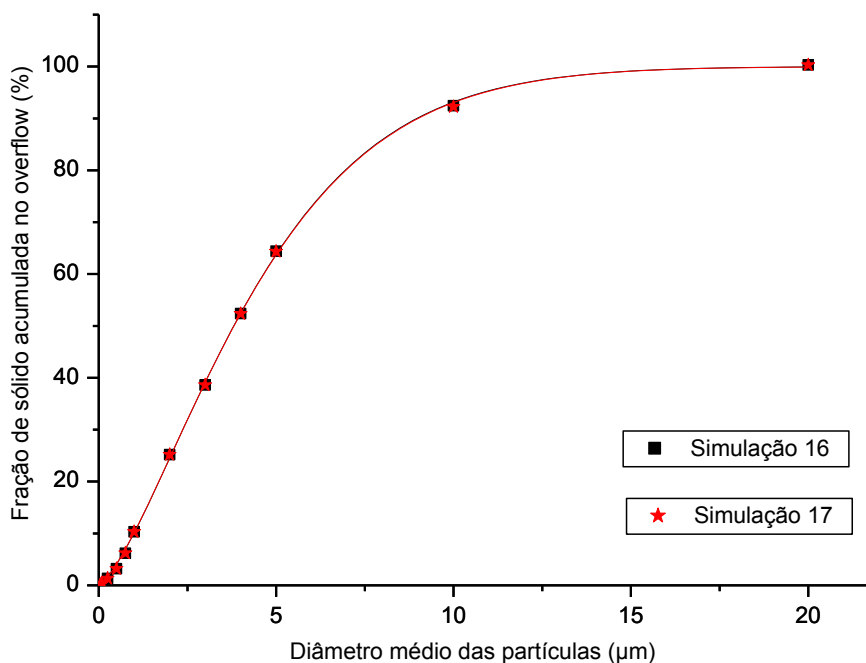


Figura 45: Curvas Superpostas da Fração Acumulada no Overflow: simulações 16 e 17

Após análise a Figura 45, verificou-se que mantendo constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação e a geometria do hidrociclone, variando a pressão no duto de alimentação de 10,5 bar para 11,0 bar, não houve variação significativa na fração de sólidos acumulado no overflow para todos os valores do diâmetro médio das partículas.

Na Tabela 61 apresentamos os valores da eficiência total do overflow, da vazão no duto de alimentação, tamanho característico das partículas ( $D_0$ ) e da constante de uniformidade ( $n$ ), das simulações 16 e 17.

Tabela 61: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação,  $D_0$  e  $n$ : simulações 16 e 17

Simulação	Eficiência total no overflow (%)	Vazão da alimentação (kg/s)	$D_0$ (µm)	$n$
16	59,11	0,650	4,94444	1,40104
17	59,06	0,666	4,95363	1,39649

Analisando os valores da Tabela 61 verificou-se que mantendo constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação e a geometria do hidrociclone, variando a pressão no duto de alimentação de 10,5 bar para 11,0 bar, ocorreu:

- Não houve variação significativa na eficiência total do overflow;
- Aumento da vazão no duto de alimentação de aproximadamente 2,46%;
- Não ocorreu variação significativa do tamanho característico das partículas;
- Não existiu variação significativa na constante de uniformidade.

#### 5.6.4.3. Alterações na Geometria do Hidrociclone

Nas simulações 13 e 14 foram mantidos constantes o diâmetro do vórtex, a fração de sólidos na suspensão de alimentação e a pressão no duto de alimentação, variando-se o valor do diâmetro do ápex de 2 mm para 6 mm. Os demais valores das variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentados na Tabela 25.

Na Tabela 62 mostramos os valores da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow e o diâmetro das partículas, das simulações 13 e 14.

Tabela 62: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 13 e 14

Simulação	13	14
$D_p$ ( $\mu\text{m}$ )	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	0,06	0,06
0,07	0,20	0,22
0,1	0,31	0,33
0,25	1,20	1,30
0,5	2,91	3,15
0,75	5,65	6,11
1	9,42	10,19
2	23,04	24,86
3	35,63	37,98
4	48,77	51,32
5	60,52	62,93
10	89,91	89,21
20	100,30	100,63

Na Figura 46 exibimos a superposição dos gráficos da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow *versus* o diâmetro médio das partículas das simulações 13 e 14, cujos valores estão mostrados na Tabela 62.

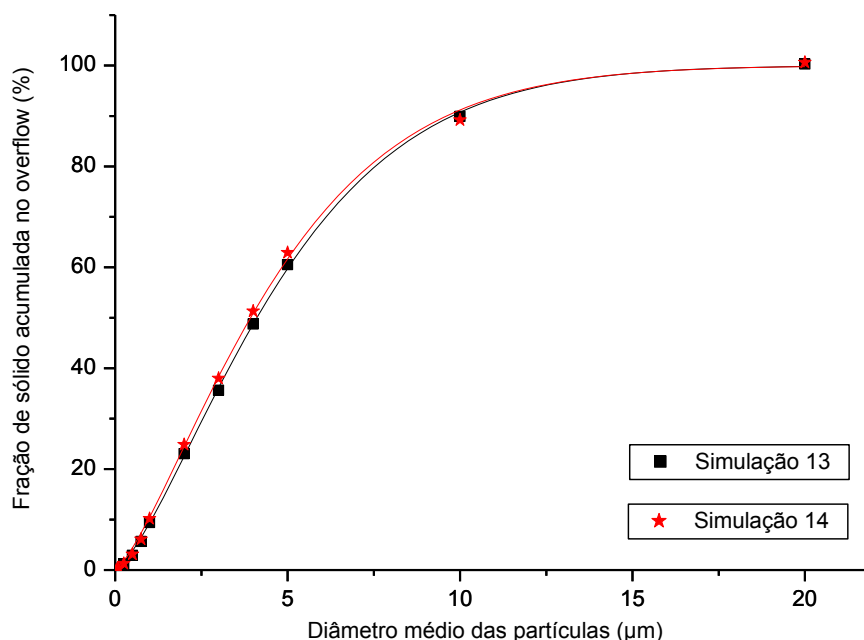


Figura 46: Curvas Superpostas da Fração Acumulada no Overflow: simulações 13 e 14

Após análise a Figura 46, mantendo constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação, a pressão no duto de alimentação, o diâmetro do vórtex e aumentando o diâmetro do ápex de 2 mm para 6 mm, houve um aumento na fração de sólidos acumulado no overflow para todos os valores do diâmetro médio das partículas, com exceção para valores em torno de  $D_p = 10 \mu\text{m}$ .

Na Tabela 63 apresentamos os valores da eficiência total do overflow, da vazão no duto de alimentação, do tamanho característico das partículas ( $D_0$ ) e da constante de uniformidade ( $n$ ), das simulações 13 e 14.

Tabela 63: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação,  $D_0$  e  $n$ : simulações 13 e 14

Simulação	Eficiência total no overflow (%)	Vazão da alimentação (kg/s)	$D_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$n$
13	83,24	0,668	5,35009	1,38675
14	57,26	0,656	5,15740	1,34111

Analisando os valores da Tabela 63 verificou-se que mantendo constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação, a pressão no duto de alimentação, diâmetro do vórtex e aumentando o diâmetro do ápex, ocorreu:

- Diminuição no valor da eficiência total do overflow próxima de 31,21%;
- Não houve variação significativa na vazão no duto de alimentação;
- Diminuição do tamanho característico das partículas próxima de 3,60%;
- Diminuição da constante de uniformidade de aproximadamente 3,29%.

Na Tabela 64 apresentamos os valores da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow e o diâmetro das partículas nas simulações 14 e 15.

Nas simulações 14 e 15 foram mantidos constantes o diâmetro do ápex, a fração de sólidos na suspensão de alimentação e a pressão no duto de alimentação, variando-se o valor do diâmetro do vórtex de 6 mm para 4,5 mm. Os demais valores das variáveis do processo de hidrociclonagem estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 64: Fração Acumulada no Overflow nas simulações 14 e 15

Simulação	14	15
Dp ( $\mu\text{m}$ )	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$	$x_{iACUMULADO}^{overflow}$
0,04	0,06	0,06
0,07	0,22	0,23
0,1	0,33	0,35
0,25	1,30	1,37
0,5	3,15	3,32
0,75	6,11	6,44
1	10,19	10,74
2	24,86	26,20
3	37,98	39,99
4	51,32	53,99
5	62,93	66,15
10	89,21	91,10
20	100,63	100,79

Na Figura 47 apresentamos a superposição das curvas da fração de sólidos da suspensão de alimentação acumulada no overflow e o diâmetro médio das partículas das simulações 14 e 15, cujos valores estão mostrados na Tabela 64.

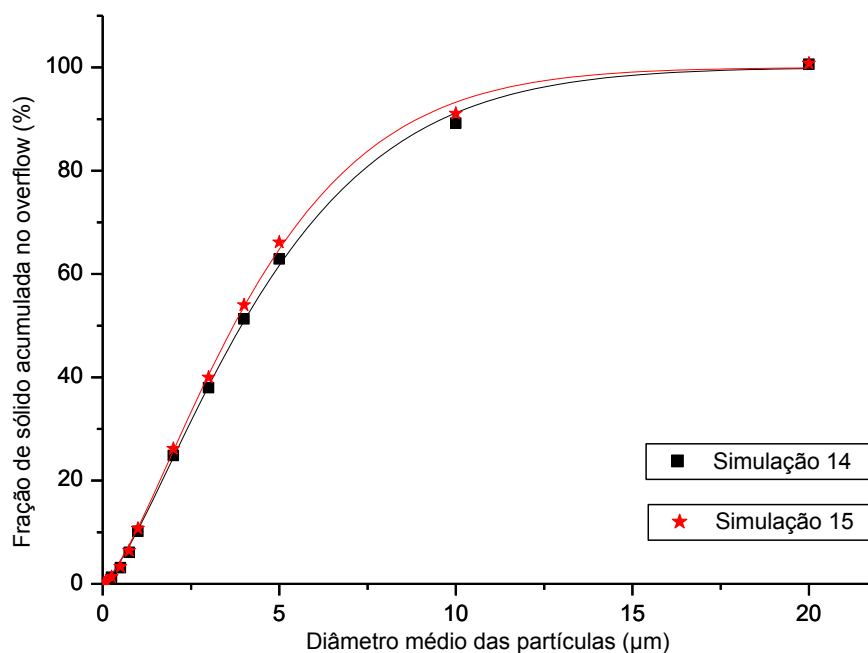


Figura 47: Curvas Superpostas da Fração Acumulada no Overflow: simulações 14 e 15

Após análise a Figura 47, verificou-se que mantendo constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação, a pressão no duto de alimentação e o diâmetro do ápex, variando o diâmetro do vórtex de 6 mm para 4,5 mm, houve um aumento na fração de sólidos acumulado no overflow para todos os valores do diâmetro médio das partículas ( $D_p$ ).

Na Tabela 65 apresentamos os valores da eficiência total do overflow, da vazão no duto de alimentação, do tamanho característico das partículas ( $D_0$ ) e da constante de uniformidade ( $n$ ), das simulações 14 e 15.

Tabela 65: Eficiência Total do Overflow, Vazão de Alimentação,  $D_0$  e  $n$ : simulações 14 e 15

Simulação	Eficiência total no overflow (%)	Vazão da alimentação (kg/s)	$D_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$n$
14	57,26	0,656	5,15740	1,3411
15	44,90	0,637	4,84290	1,36871



Analisando os valores da Tabela 65 verificou-se que mantendo constante o percentual de sólidos na suspensão de alimentação, a pressão no duto de alimentação, o diâmetro do ápex e diminuindo o diâmetro do vórtex ocorreu:

- Diminuição no valor da eficiência total do overflow próxima de 21,56;
- Diminuição na vazão no duto de alimentação de aproximadamente 2,90%;
- Diminuição do tamanho característico das partículas próxima de 6,10%;
- Aumento na constante de uniformidade de aproximadamente 2,10%.

### 5.7. Conclusões Parciais - Análise Fenomenológica

Após a análise das variáveis do processo de hidrociclonagem utilizando fluidodinâmica computacional, por meio do software Ansys CFX<sup>®</sup>, realizando-se experimentações numéricas em condições diferentes das possíveis experimentalmente, e empregando o modelo de Rosin-Rammler para análise do tamanho característico das partículas e da constante de uniformidade, foi possível concluir que:

- O aumento da concentração de sólidos na suspensão de alimentação, mantendo-se constante a geometria do hidrociclone e a pressão do duto de alimentação, ocasionou:
  - Diminuição da eficiência total do overflow;
  - Aumento da vazão no duto de alimentação;
  - Aumento do percentual da fração argila acumulada no overflow;
  - Diminuição do percentual da fração silte acumulada no overflow;
  - Diminuição do tamanho característico das partículas;
  - Aumento da constante de uniformidade.
- Aumentando-se a pressão no duto de alimentação até um valor em torno de 10 bar, conservando-se estável a geometria do hidrociclone e a concentração de sólidos na suspensão de alimentação, constatou-se:
  - Diminuição da eficiência total do overflow;
  - Aumento da vazão do duto de alimentação;

- Aumento do percentual da fração argila acumulada no overflow;
  - Diminuição do percentual da fração silte acumulada no overflow;
  - Não houve variação significativa do tamanho característico das partículas;
  - Não ocorreu variação significativa na constante de uniformidade.
- Quando a pressão no duto de alimentação atinge um valor contido no intervalo entre 12 e 20 bar, conservando-se estável a geometria do hidrociclone e a concentração de sólidos na suspensão de alimentação, observou-se:
- Aumento da eficiência total do overflow;
  - Aumento da vazão do duto de alimentação;
  - Diminuição do percentual da fração argila acumulada no overflow;
  - Aumento do percentual da fração silte acumulada no overflow;
  - Aumento do tamanho característico das partículas;
  - Decréscimo no valor da constante de uniformidade.
- Com o valor da pressão no duto de alimentação contida no intervalo de 20 a 30 bar, conservando-se estável a geometria do hidrociclone e a concentração de sólidos na suspensão de alimentação, observou-se:
- Não houve variação significativa no valor da eficiência total do overflow;
  - Aumento da vazão do duto de alimentação;
  - Diminuição do percentual da fração argila acumulada no overflow;
  - Aumento do percentual da fração silte acumulada no overflow;
  - Aumento do tamanho característico das partículas;
  - Decréscimo na constante de uniformidade.
- Aumentando-se o valor do diâmetro do ápex, mantendo-se constante o diâmetro do vórtex, pressão do duto de alimentação e a concentração de sólidos na suspensão de alimentação, observou-se:
- Aumento da eficiência total do overflow;
  - Diminuição da vazão do duto de alimentação;
  - Aumento do percentual da fração argila acumulada no overflow;
  - Redução do percentual da fração silte acumulada no overflow;

- Diminuição do tamanho característico das partículas;
  - Diminuição da constante de uniformidade.
- Quando o valor do diâmetro do vórtex foi reduzido, mantendo-se constante o diâmetro do ápex, pressão do duto de alimentação e a concentração de sólidos na suspensão de alimentação, observou-se:
- Aumento da eficiência total do overflow;
  - Diminuição da vazão do duto de alimentação;
  - Aumento do percentual da fração argila acumulada no overflow;
  - Aumento do percentual da fração silte acumulada no overflow;
  - Diminuição do tamanho característico das partículas;
  - Aumento na constante de uniformidade.
- Mantendo-se constante a geometria do hidrociclone, a concentração de sólido na suspensão de alimentação, e, variando a pressão no duto de alimentação em torno de 10,5 bar, verificou-se que não houve variação significativa no (a):
- Eficiência total do overflow;
  - Vazão do duto de alimentação;
  - Percentual da fração argila;
  - Percentual da fração silte;
  - Tamanho característico das partículas;
  - Constante de uniformidade.

## 6. CONCLUSÕES FINAIS

Por meio de estudos das variáveis do processo de hidrociclonagem utilizando-se técnicas de caracterização, de planejamento experimental, de superfícies de resposta, de fluidodinâmica computacional e empregando o modelo de Rosin-Rammler para análise do tamanho característico das partículas e da constante de uniformidade, foi possível concluir que:

Após a realização a caracterização física, química e mineralógica da argila bentoníticas *in natura* e após o processo de hidrociclonagem constatou-se uma redução do tamanho médio equivalente das partículas de até 19,2%, e um aumento do concentrado da fração argila de 44,7% (máximo), bem como, uma diminuição no percentual do óxido de silício, do óxido de ferro, de calcita, de dolomita; para pressão no duto de alimentação, abertura ápex e abertura do vórtex diferentes.

Posteriormente a modelagem, otimização e simulação da variável resposta diâmetro médio das partículas, empregando técnicas de planejamento experimental, verificou-se que os fatores: diâmetro do ápex, diâmetro do vórtex e pressão do duto de alimentação, quando analisados individualmente influenciam no diâmetro médio das partículas. A interação dos fatores; (ápex e vórtex), (vórtex e pressão) e, (ápex, vórtex e pressão), são significativos, portanto influenciam no diâmetro médio das partículas, todavia, a interação dos fatores (ápex e pressão) não é significativo, não influencia no diâmetro médio das partículas.

As variáveis de processo têm uma influência significativa no processo de hidrociclonagem em relação a cada tipo de minerais acessórios presentes nas argilas, fato este que pode contribuir em muito para o uso dessas argilas para aplicações industriais.

Efetivada a modelagem, otimização e simulação numérica do processo de hidrociclonagem, utilizando técnicas de fluidodinâmica computacional, foi possível o estudo das variáveis do hidrociclone em condições diferentes das possíveis experimentalmente, sendo constatado que:

- a. O aumento da concentração de sólidos na suspensão de alimentação, mantendo-se constante as demais variáveis do processo de hidrociclonagem, resultou na diminuição da eficiência total do overflow, no aumento do

- percentual da fração argila acumulada no overflow e na diminuição do tamanho característico das partículas;
- b. O aumentando da pressão no duto de alimentação até 10 bar, conservando-se imutável as demais variáveis do processo de hidrociclonagem, constatou-se diminuição da eficiência total do overflow, aumento do percentual da fração argila acumulada no overflow e não houve variação significativa do tamanho característico das partículas;
  - c. Variando a pressão no duto de alimentação em torno de 10,5 bar, mantendo-se constante as demais variáveis do processo de hidrociclonagem, verificou-se que não há variação significativa na eficiência total do overflow, na fração argila acumulada no overflow e no tamanho característico das partículas;
  - d. Quando a pressão no duto de alimentação atinge valores contidos no intervalo entre 12 e 20 bar, conservando-se estável as demais variáveis do processo de hidrociclonagem, verificou-se aumento da eficiência total do overflow, diminuição do percentual da fração argila acumulada do overflow e aumento do tamanho característico das partículas;
  - e. Com o valor da pressão no duto de alimentação contida no intervalo de 20 a 30 bar, conservando-se constante as demais variáveis do processo de hidrociclonagem, observou-se que não há variação significativa na eficiência total do overflow, diminuição do percentual da fração argila acumulada no overflow e aumento do tamanho característico das partículas;
  - f. O aumento do valor do diâmetro do ápex, mantendo-se constante o diâmetro do vórtex, pressão do duto de alimentação e a concentração de sólidos na suspensão de alimentação, verificou-se aumento da eficiência total do overflow, no percentual da fração argila acumulada no overflow e diminuição do tamanho característico das partículas;
  - g. A redução do valor do diâmetro do vórtex, mantendo-se constante o diâmetro do ápex, e as demais variáveis do processo de hidrociclonagem, observou-se aumento da eficiência total do overflow, no percentual da fração argila acumulada no overflow e diminuição do tamanho característico das partículas.

## 7. SUGESTÃO DE TRABALHOS

- ✓ Variar as dimensões do clone do hidrociclone, utilizando técnicas de fluidodinâmica computacional, para avaliar variações nos valores da fração argila e da fração silte acumulada no overflow, e eficiência do overflow;
- ✓ Conceber montagem com hidrociclones ligados em série, sendo à saída do overflow do primeiro hidrociclone é a alimentação do segundo e assim sucessivamente, podendo-se avaliar variações da fração dos finos, da eficiência total do overflow final, o tamanho característico das partículas e a constante de uniformidade;
- ✓ Edificar montagem com hidrociclones ligados em paralelo, sendo à saída do underflow do primeiro hidrociclone a alimentação do segundo e assim sucessivamente, podendo-se avaliar variações da fração final dos finos e a eficiência total do overflow final;
- ✓ Construir um hidrociclone com dois dutos de alimentação, podendo ser alimentados com a concentração de sólidos diferentes, possibilitando o estudo da variação da fração de finos, dependência da geometria do equipamento e eficiência total do overflow;
- ✓ Utilizar técnicas de fluidodinâmica computacional para estudar variações na eficiência total do overflow e na fração de argilas acumuladas no overflow, decorrente de mudanças no comprimento do cilindro do hidrociclone.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOU, M. I.; AL-SABAGH, A.M.; DARDIR, M.M., Evaluation of Egyptian bentonite and nano-bentonite as drilling mud. **Egyptian Journal of Petroleum**. v. 22, p. 53-59, 2013.

ANSYS CFX-Solver Theory Guide, ANSYS Inc., Canonsburg, USA. 2013.

AMORIM L.V.; GOMES C.M.; LIRA H.L; FRANÇA K.B.; FERREIRA H.C. **Materials Research**, v. 7, n. 4, p. 585-593, 2004.

ARRUDA, A. A.; SANTOS, V. A.; VASCONCELOS, E. C., Otimização da Operação de Separação da Mistura Biodiesel-Glicerina em Hidrociclone. **Environment and Development Economics**, v. 10, p. 28-43, 2010.

AZIZI, D.; SHAFAEI, S.Z.; NOAPARAST M.; ABDOLLAHI H., Modeling and Optimization of Low-Grade Mn Bearing ore Leaching Using Response Surface Methodology and Central Composite Rotatable Design. **Science Direct**, v. 22, p. 2295-2305, 2012.

BALTAR, C. A. M.; LUZ, A. B.; OLIVEIRA, C. H.; ARANHA, I. B., Caracterização, Ativação e Modificação Superficial de Bentonitas Brasileiras. In: **BALTAR, C. A. M.; LUZ, A. B. (Ed.). Insumos Minerais para Perfuração de Poços de Petróleo**. Rio de Janeiro, CETEM/UFPE, p. 15-38, 2003.

BARBOSA, E. A.; VIEIRA, L. G. M.; ALMEIDA, C. A. K.; DAMASCENO, J. J. R.; BARROZO, M. A. S., Differences of Behavior between Filtering Hydrocyclones with Bradley and Rietz Geometries. **Materials Science Forum**. v. 416. p. 317-322, 2003.

BARBOSA, R.; MORAIS, D. D. S.; ARAUJO, E. M.; MELO, T. J. A., Caracterizações de Argilas Bentoníticas e Síntese de Argilas Organofílicas para uso em Nanocompósitos Poliméricos: parte II, **Cerâmica**, v. 58, p. 347, 2012.

BATISTA A.P.S.; MENEZES, R.R; MARQUES L.N.; CAMPOS L.A.; NEVES G.A.; FERREIRA H.C., **Revista Eletrônica de Materiais e Processos (REMAP)**, v. 4., n. 3, p. 64-71, 2009.

BHASKAR K. U., RAMA M. Y., RAMAAKRISHNAN N., SRIVASTAVA J. K., SARKAR S., KUMAR V., CFD Validation for Flyash Particle Classification in Hydrocyclones, **Minerals Engineering**, v. 20, p. 290 - 302, 2007

BOYLU, F.; ÇINKU, K; ESENLİ, F; ÇELİK, M. S., The Separation Efficiency of Bentonite by Hydrocyclone and Characterization of Hydrocyclone Products. **International Journal of Mineral Processing**, v. 94, p. 96-202, 2010.

BERGSTROM M.; VOMHOFF H., Experimental Hydrocyclone Flow Field. **Studies Separation and Purification Technology**, v. 53, n. 1, p. 8-20, 2007.

CAMPOS L. F. A.; AMORIM L. V.; FERREIRA H. C., Utilização do Planejamento Experimental no Efeito da Composição de Misturas de Bentonitas na Reologia de Fluidos de Perfuração, Parte II: Composição Ternária. **Cerâmica**, v. 53, p. 68-73, 2007.

CARDOSO, M. A. F., Purificação de Argilas Bentoníticas de Novos Depósitos do Município de Pedra Lavrada – PB, para Uso em Fluidos de Perfuração. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). **Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande-Paraíba.**

CARVALHO, A. T., Otimização de Ciclone para a Pré-Separação de Areia na Produção de Petróleo, Rio de Janeiro: **UFRJ**, p. 70-72, 2008. Dissertação de Mestrado.

CARRERA, A. F. D. C. e VARAIÃO, M. A., Caracterização Mineralógica das Argilas da Península de Santa Elena, Equador. **Revista Escola de Minas**, v. 61, n. 1, p. 97-105, 2008.



CARVALHO, A. T.; MEDRONHO, R. A. A., Separação da Barita do Fluido de Perfuração para Promover uma Perfuração com Duplo Gradiente. **Anais do III Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**, 2005.

COLLEMAN, D. E.; MONTEGOMERY, D. C. A., A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment. **Technometrics**, v. 35, n. 1, p. 11-20, 1993.

CHU, L. Y.; CHEN, W. M.; LEE, X. Z., Enhancement of Hydrocyclone Performande by Controlling the Inside Turbulence Structure. **Chemical Engineering Science**, v. 57, n. 1, p. 207-212, 2002.

CHU, L. Y.; YU, W.; WANG, G. J.; ZHOU, X. T.; CHEN, W. M.; DAI, G. Q., Enhancement of Hydrocyclone Performande by Eliminating the Air Core. **Chemical Engineering and Processing**, v. 43, n. 12, p. 1441-1448, 2004.

COSTA, J. M. R.; ARAÚJO, J. P.; SILVA, I. A.; CARDOSO, M. A. F.; SILVA, C. D.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C., Purificação de Argilas Bentoníticas do Município de Cubatí, PB, para usos diversos. **56º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 2012.

CRUZ, O. C., Desempenho de um Hidrociclone de Heometria "Rietema" como pré-Filtro para Sistemas de Irrigação. **Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho**, Jaboticabal, 2008.

CRUZ, O. C.; ZANINI, J. R., Efficiency of a Hydrocyclone of "Rietema" Geometry for Pre-Filtering of Water for Irrigation. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, Jaboticabal, 2010.

CRUZ, O.; ZANINI, J. R.; BARRETO, A. C.; FERRAUDO, A. S., Eficiência Granulométrica de um Hidrociclone de Geometria "Rietema" para Pré-Filtragem de Água para Irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, n. 4, p. 254-264, 2011.

CULLIVAN, J. C.; WILLIAMS R. A.; DYAKOWSKI T. e CROSS C. R., New Understanding of a Hydrocyclone Flow Field and Separation Mechanism from

Computational Fluid Dynamics. **Elsevier Minerals Engineering** v. 17, p. 651-660, 2004.

DANYLO DE OLIVEIRA SILVA, Otimização da Separação Sólido-Líquido em Hidrociclones Mediante Modificações Geométricas. **Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química**, 2012.

DANTZIG, G. B., Origins of the Simplex Method. **Computers in Mathematics**. v. 15, p. 233-240, 1991.

DELGADILLO J. A. e RAJAMANI R. K., Exploration of Hydrocyclone Designs using Computational Fluid Dynamics, **International Journal of Mineral Processing**, v. 84, p. 252 - 261, 2007.

DING J. e GIDASPOW D., **A Bubbling Fluidisation Model Using Theory of Granular Flow**. *AI Ch EJ*. 36, p. 523-538, 1990.

DHODAPKAR, S.; HEUMANN, W. L., Harnessing the Power of a Cyclone. **Chemical Engineering**, v. 118, p. 34-43, 2011.

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuario Mineral Brasileiro, Bentonita**, 2012.

DAVAILLES, A., CLIMENT, E., BOURGEOIS F., Fundamental Understanding of Swirling Flow Pattern in Hydrocyclones. **Separation and Purification Technology**. v. 92, p. 152-160, 2012.

DWARIIA R. K., BISWAS M.N., MEIKAPA B.C., Performance Characteristics for Particles of Sand FCC and Ash in a Novel Hydrocyclone. **Chemical Engineering Science**, v. 59, p. 671 - 684, 2004.

ELSAYED, K.; LACOR, C., Optimization of the Cyclone Separator Geometry for Minimum Pressure Drop Using Mathematical Models and CFD Simulations. **Chemical Engineering Science**. v. 65, p. 6048-6058, 2010.

FARGHALY, M. G.; GOLYK, V.; IBRAHIM, G. A.; AHMED, M. M.; NEESSE, Th., Controlled Wash Water Injection to the Hydrocyclone Underflow. **Minerals**

**Engineering**, v. 23, p. 321–325, 2010.

FERREIRA, H. S.; MENEZES, R. R.; MARTINS, A. B.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C., Análise da Influência do Tratamento de Purificação no Comportamento de Inchamento de Argilas Organofílicas em Meios não Aquosos. **Cerâmica**, n. 54, p. 77-85, 2008.

FERREIRA H. S.; CAMPOS L. F. A.; MENEZES R. R.; CARTAXO J. M.; SANTANA L. N. L.; NEVES G. A.; FERREIRA H. C., Influência das Variáveis de Processo na Obtenção de Argilas Organofílicas, **Cerâmica**, v. 57, p. 277-284, 2013.

FIGUEIRÊDO, J. M. R.; ARAÚJO, J. P.; I. SILVA, A.; CARTAXO, J. M.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C., Purified Smectite Clays Organofilized with Ionic Surfactant for Use in Oil-Based Drilling Fluids. **Materials Science Forum**, v.798, p. 21-26, 2014.

FIGUEIRÊDO, J. M. R.; CARTAXO, J. M.; SILVA, I. A.; SILVA, C. D.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C., Purification of Bentonite Clays from Cubati, PB, Brasil, for Diversified Applications. **Materials Science Forum**, v.805, p. 486-491, 2014.

FONTES, C.E., SILVA, L.F.L.R., LAGE, P.L.C., RODRIGUES, R.C., *Introdução a Fluidodinâmica Computacional*. **Escola Piloto Virtual, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro**, 2005.

FLINTOFF, B. C.; PLITT, L. R.; TURAK, A. A. Cyclone modeling: A review of present technology. Canadian Institute of Mining. **Metallurgy and Petroleum Bulletin, Alberta**, v.80, n.905, p. 39-50, 1987.

GHODRAT M., KUANG S. B., YU A. B. , VINCE A., BARNETT G.D. e BARNETT P.J., Numerical Analysis of Hydrocyclones with Different Conical Section Designs, **Minerals Engineering** v 62, p. 74-84, 2014.

GOLYK, V.; HUBER, S.; FARGHALY, M.G.; PRÖLSS, G.; ENDRES, E.; NEESSE, T.; HARARAH, M.A. Higher Kaolin Recovery with a Water-Injection Cyclone. **Minerals Engineering**, v.24, p. 98–101, 2011.

GONG Z.; LIAO L.; GUOCHENG L.; WANG X. A Simple Method for Physical Purification of Bentonite. **AppliedClay**, v.119, p. 294 - 300, 2016.

GUIFA W. M., Sistema de Recuperação de Areias Alcalinas de Fundição. **Revista Fundição e Matérias Primas**. Caderno técnico. São Paulo, 2004.

HASSAN M.S.; ABDEL-KHALEK N.A., Beneficiation and Applications of an Egyptian Bentonite. **Applied Clay Science**, v. 13, p. 99 -115, 1998.

JONES L. L., AMARAL D'AVILA; Engenharia de Avaliações, 2005.

LAGALY, G.; ZIESMER, S., Colloid Chemistry of Clay Minerals: The Coagulation of Montmoril on it Dispersions. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.100-102, p. 105-128, 2003.

LEITE, S. M.; COLODETE, C. H. A.; DIEGUEZ, L. C.; SAN GIL, R. A. S., Extração de Ferro de Esmeclitas Brasileiras com o Emprego do Método Ditionitocitrato-bicarbonato. **Química Nova**, v.23, p. 297-302, 2000.

LEITE, I. F; MALTA, O. L.; RAPOSO, C. M. O.; CANEDO, L. E.; CARVALHO, L. H.; SILVA, S. M. L., Efeito de Diferentes Tipos de Argilas e Modificadores Orgânicos na Morfologia e Propriedades Térmicas dos Nanocompósitos de PET. **Polímeros**, v.21, n.3, p. 195-203, 2011.

MAILAPALLI, D. R.; MARQUES, P. A. A.; THOMAS, K. J. Performance Evaluation of the Hydrocyclone Filter for Microirrigation. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n. 2, p. 373-382, 2007.

MARQUES, V. C. Beneficiamento por hidrociclonação de misturas de argilas bentoníticas pouco nobres e Boa Vista – PB, visando melhoria de suas propriedades reológicas. 2014. 153f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). **Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, João Pessoa-Paraíba.**

MARQUES, V. C.; SILVA, H. C.; RODRIGUES, A. M. T.; CARTAXO, J. de M.; MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S. Influência da Hidrociclonação e da Secagem

por Spray Dryer nas Propriedades Reológicas de Argilas Bentoníticas. **Cerâmica**, v. 61, p. 285-297, 2015.

MARTINS, A. B., Uso de um Hidrociclone para Purificação de Esmectítica. 2009. 62f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). **Universidade Federal de Campina Grande-UFCG. Campina Grande- PB.**

MENEZES R.R.; SOUTO P.M; SANTANA L.N.L.; NEVES G.A.; KIMINAMI R.H.G.A; FERREIRA H.C.; Argilas Bentoníticas de Cubatí, Paraíba, Brasil: Caracterização Física e Mineralógica, **Cerâmica**, v. 57, n. 334, pp 163-169, 2009.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L., Iron Oxide Removal from Soils and Clays by Dithionite-Citrate Systems Buffered with Sodium Bicarbonate. **Clays Clay Miner**, v. 7, p. 317-327, 1960.

MENEZES, R. R., MELO, L. R. L., FONSECA, F. A. S., FERREIRA, H. S., MARTINS, A. B., NEVES, G. A., Caracterização de Argilas Bentoníticas do Município de Sossego, Paraíba, Brasil, **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 3, n. 2, p. 36-43, 2008.

MENEZES R. R., SOUTO, P. M., SANTANA, L. N. L., NEVES, G. A. R., KIMINAMI, H. G. A. FERREIRA, H. C., Argilas Bentoníticas de Cubatí, Paraíba, Brasil: Caracterização Física-Mineralógica. **Revista Cerâmica**, v. 55, p. 163-169, 2009.

MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C.. Estudo do Comportamento Reológico das Argilas Bentoníticas de Cubatí, Paraíba. **Anais do II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste**, Rio de Janeiro, p. 59-68, 2010.

MINITAB INC. STATISTICAL SOFTWARE–Data **Analysis Software**. Version 17, 2014.

MYERS, RAYMOND H., MONTGOMERY, DOUGLAS C., Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments, **Published by John Wiley and Sons Canada LTD**, 1995.

MONTGOMERY, DOUGLAS C., GEORGE C., **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**, 4ª Edição LTC Editora São Paulo 2009.

MONTGOMERY, D.C; RUNGER, G.C., **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 2ª Ed. LTC Editora São Paulo, 2003.

MONTGOMERY, D. C., Design and Analysis of Experiments. 7. Edição. **New York: John Wiley & Sons**, 2008. p. 680.

MOTSAMAI, S. O., Investigation of Influence of Hydrocyclone Geometric and Flow Parameters on its Performance Using CFD. **Advances in Mechanical Engineering**. v. 12, p. 12-14, 2010.

MURRAY, H. H., Applied Clay Mineralogy – Occurrences, Processing and Applications of Kaolin, Bentonites, Palygorskite-Sepiolite, and Common Clays. **Developments in Clay Science**, v. 2, p. 180, 2006.

MURPHY, S.; DELFOS, R.; POURQUIE, M. J. B. M.; OLUJIC, Z.; JANSENS, P. J.; NIEUWSTADT, F. T. M., Prediction of Strongly Swirling Flow within Axial Hydrocyclone Using two Commercial CFD codes. **Chemical Engineering Science**, v. 62, n. 6, p. 1619-1635, 2007.

NEESSE A.T.; TIEFEL H.; KANIUT P., Volume Split Control of a Hydrocyclone Group. **Minerals Engineering**, v. 20, p. 355-360, 2007.

ODOM, I. E. Smectite Clay Minerals: Properties and Uses, in Phil. **Trans. R. Sac. Lond.** v. 311, p. 391-400, 1984.

OLIVEIRA, D. C.; ALMEIDA, C. A. K.; VIEIRA, L. G. M.; DAMASCENO, J. J. R.; BARROZO, M. A. S., Influence of Geometric Dimensions on the Performance of a Filtering Hydrocyclone: an Experimental and CFD Study Numerical Study of Particle. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. v. 26, n. 3, p. 575-582, 2009.

OLIVEIRA, D. C.; ALMEIDA, C. A. K.; VIEIRA, L. G. M.; DAMASCENO, J. J. R.; BARROZO, M. A. S., Influence of Geometric Dimensions on the Performance of a

Filtering Hydrocyclone: an Experimental and CFD Study Numerical Study of Particle. **Brasilian Journal of Chemical Engineering**. v. 26, p. 575-582, 2009.

OLIVEIRA, P. L. DE; FIGUEIRÊDO, J. M. R.; CARTAXO, G. A.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C., Influence of Hydrocycloning Pressure on the Purification of Bentonite. **Materials Science Forum**, v. 798-799, p. 55-60, 2014.

OLSON, T. J.; OMMEN, R. V., Optimizing Hydrocyclone Design Using Advanced CFD Model. **Minerals Engineering**. v.17, n.5, p. 713-720, 2004.

PAIVA, L. B.; MORALES, A. R.; DÍAZ, F. R. V., An Overview on Organophilic Clays: Properties, Routes of Preparation and Applications. **Applied Clay Science**, v. 42, p. 8-24, 2008.

PARRY, J.; BORNOFF, R. B.; STEHOUWER, P.; LONNEKE, T. D.; STINSTRAS, E., Simulation-Based Design Optimization Methodologies Applied to CFD. **IEEE Transactions on Componentes and Packaging Technologies**, v. 27, n. 2, p. 391-397, 2004.

PATENTE da AMCOL - "American Colloid Corporation".

PEREIRA, I. D. S.; LISBOA, V. N. F.; SILVA, I. A.; FIGUEIRÊDO, J. M. R.; NEVES, G. A.; MENEZES, R. R. Bentonite clays from sossego, Paraiba, Brazil: Physical and Mineralogical characterization. **Materials Science Forum** vs.798-799, pp.50-54, 2014.

PORTO, J. P. P.; ARANHA, I. B., Caracterização Cristal Química Preliminar de Bentonitas Brasileiras. **Anais da JIC**, 2010.

RAPOSO, G. M.; Simulação numérica do escoamento em hidrociclone destinado a aplicações de alto teor de óleo. 2008. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). **Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro**, 2008.

REKLAITIS, G. V.; RAVINDRAN, A.; RAGSDALL, K. M.; Engineering Optimization: Methods and Applications. **1. ed. Jonh Wiley & Sons**, p. 450, 1983.

RODRIGUES, A. W.; BRASILEIRO, M; I.; ARAÚJO, W. D.; ARAÚJO, E. M.; NEVES, G. A.; MELO, T. J. A., Desenvolvimento de Nanocompósitos Polipropileno/Argila Bentonita Brasileira: I Tratamento da Argila e Influência de Compatibilizantes Polares nas Propriedades Mecânicas. **Polímeros**, v. 17, p. 219-227, 2007.

ROSIN P. e RAMMLER E., The Laws Governing the Fineness of Powdered Coal, **Journal Institute Fuel**, Vol.7, No. 31, p. 29-36, 1933

SALVADOR, F. F.; SILVA, N. K. G; BARROZO, M. A. de S.; VIEIRA, L. G. M., Study of the Capacity in a Totally Permeable Hydrocyclone. **Materials Science Forum**, v. 802, p. 250-255, 2014.

SAMPAIO, J. A.; OLIVEIRA, G. P.; SILVA, A. O., Ensaio de Classificação em Hidrociclone. In: SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C.; BRAGA, P.F.A. (Ed.). Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais. Rio de Janeiro: **CETEM/MCT**, p. 139-154, 2007.

SCHNEIDER M.; NEEGE T. H., Overflow-Control System for a Hydrocyclone battery, **Institute Journal Mineralogical Process**, v. 74, pp. 339-343, 2004.

SHEPHERDS B. R.; TRINDENT H.; Advances in CFD Modelling of Multiphase Flows in Cyclone Separators. **Chemical Engineering Transactions**, v. 43, pp 1-2, 2015.

SHUETZ S.; MAYER M. B.; PIESCHE M., Investigation on the flow and separation behavior of hydrocyclones using computational fluid dynamics. **Elsevier Mineralogical Processo**. v. 73, p. 229-237, 2004.

SILVA, A. R. V.; FERREIRA, H. C., Argilas bentoníticas: conceitos, estruturas, propriedades, síntese, usos industriais e produtores/fornecedores nacionais e internacionais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos (REMAP)**, v. 3, n. 2, pp. 26- 35, 2008.

SILVA, A. R. V.; FERREIRA, H. C., Argilas Bentoníticas: conceitos, estruturas, propriedades, síntese, usos industriais e produtores/fornecedores nacionais e internacionais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 3, n. 2, p. 26-35, 2008a.



SILVA, I. A.; COSTA, J. M. R.; FERREIRA, H. S.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C., Organofilização de Argilas Bentoníticas com Tenso Ativo não-iônicos Visando seu uso em Fluidos de Perfuração Base Óleo. **Cerâmica**, v. 58, p. 317-327, 2012.

SILVA, I. A; PEREIRA I.D.S.; CAVALCANTE W. S., SOUSA F.K.A.; NEVES, G. A; FERREIRA, H. C., Study of the Characterization of Smectitic Clays from a Town in the State of Paraíba, **Materials Science Forum**, v. 820, p. 68- 75, 2015.

SILVA, D. O.; FAÇANHA, J.M.F.; VIEIRA, L.G.M.; BARROZO, M.A.S., Experimental Study of the Influence of Vortex Finder Geometry on Hydrocyclones Performance. **Materials Science Forum**, v. 727-728, p. 1848-1853, 2012.

SILVA, N. K. G.; SALVADOR, F. F.; VIEIRA, L. G. M.; BARROZO, M. A. S., Analysis of the Effect of the Underflow Orifice Size on the Filtering and Concentrating Hydrocyclone. **Materials Science Forum**, v. 802, p. 245-249, 2014.

SILVA, D. de O.; SALVADOR, F. F.; VIEIRA, L. G. M.; BARROZO, M. A. de S., Experimental Study of the Hydrocyclone H11 with Rotational Feed. **Materials Science Forum**, v. 802, p. 256-261, 2014.

SLACK M.D. e DEL PORTE S., Designing Automated Computational Fluid Dynamics Modelling tools for Hydrocyclone Design. **Minerals Engineering**, v. 17, p. 705 - 711, 2004.

SOCOOL, O. J., Construção e Avaliação de Hidrociclone para Pré-Filtragem da Água de Irrigação. 2003. 89f. Tese (Doutorado em Agronomia). **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba**, 2003.

SOCOOL, O. J.; BOTREL, T. A.; GERVÁSIO, E. S.; ULLMANN, M.N., Avaliação de um Hidrociclone de Rietema para Remoção de Areia da Água de Irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 464-468, 2005.

SOCOOL, O. J.; RODRIGUES, L; N.; BOTREL, T.A.; ULLMANN, M. N., Evaluation of Hydrocyclone as Pre-Filter in Irrigation System. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 50, n. 2, p. 193-199, 2007.

SOFTWARE Ansys CFX®

SOFTWARE OriginPro 8

SOUSA SANTOS, P., **Ciência e Tecnologia de Argilas**. v. 1, 2ª edição, São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, ISBN-10: 8521201982, 1989.

SOUZA SANTOS, P., **Ciência e Tecnologia de Argilas**, v. 1, 2ª edição, São Paulo: Edgar Blücher Ltda, São Paulo, ISBN-13: 9788521201984, 1992

SOUZA, F. J.; VIEIRA, L. G. M.; DAMASCENO, J. J. R.; BARROZO, M. A. S., Analysis of the Influence of the Filtering Medium on the Behavior of the Filtering Hydrocyclones. **Powder Technology**, New York, n. 107, p. 259 – 267, 2000.

SOUSA. F. K. A., Estudo de Composições de Argilas Organofílicas para Fluidos de Perfuração de Poços de Petróleo em Águas Ultra Profundas. **2010. 124f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande-Paraíba.**

SOUSA F. K. A.; RAMOS A. P.; CAMPOS L. F. A.; MENEZES R. R., FERREIRA H. S.; NEVES G. A; Composição de Argilas Organofílicas Obtidas com Tenso Ativo não Iônico para Fluido de Perfuração Base Iônico, **Cerâmica**, v. 57, p. 199-205, 2011.

STEPHENS D.W. e MOHANARANGAM K., Turbulence Model Analysis of Flow Inside a Hydrocyclone. **Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries**, 2009. Melbourne, Australia.

SVAROVSKY, L., Solid-Liquid Separation. **2ª edição. London: Butter Worths**, 2000.

TILLER, F. M.; LI, W.; CHEN, W., Solid/Liquid separation. In: Albright's chemical engineering handbook. **Taylor & Francis Group**, LLC, 2009. Cap. 22, p. 1599-1666.

TONNESEN, D. A.; BERTOLINO, L. C.; LUZ, A. B.; SILVA, F. T.; TIMÓTEO, D. M. O. Caracterização Mineralógica e Beneficiamento das Bentonitas da Região de

Cubatí e Pedra Lavrada-PB. **Revista HOLOS** (ISSN 1807-1600), v. 1, n. 28, p. 1-14, 2012.

TOTTEN, M. W.; HANAN, M. A.; KNIGHT, D.; BORGES, J., Characteristics of Mixedlayer Smectite/Illite Density Separates During Burial Diagenesis. **American Mineralogist**, v. 87, p. 1571-1579, 2002.

TRIPATHY K.; MURTHY Y.R., Modeling Otimização Industrial Separação Gravidade Espiral Concentrador Ultra fi ne Cromita. **Powder Technology**, v. 221, p. 387-394, 2012.

VESILIND P. A., Esource Recovery and Conservation, **Scientific Publishing Company**, v. 5, p. 275-277, 1980.

VIEIRA, L. G. M. Otimização dos Processos de Separação em Hidrociclones Filtrantes. 2006. 297 f. **Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2006.**

VIEIRA, L. G. M.; SILVÉRIO, B. C.; DAMASCENO, J. J. R.; BARROZO M. A. S., Performance of Hydrocyclones with Different Geometries. **Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 89, n. 4, p. 655-662, 2011.

VIEIRA L. G. M. e BARROZO M. A. S., Effect of Vortex finder Diameter on the Performance of a novel Hydrocyclone separator, **Minerals Engineering** v 57, p. 50 - 56, 2014.

WANG B. e YU A. B., Numerical Study of Particle – Fluid Flow in Hydrocyclones with Different Body Dimensions. **Minerals Engineering**. v. 19, p. 1022-1033, 2007.

WANG B.; CHU K. W. e YU A. B., Numerical Study of Particle – Fluid Flow in Hydrocyclones. **Industrial & Engineering Chemistry Research**. v. 46, p. 4695-4705, 2007.

ZANINI, A. E.; EMBIRUÇU, M.; SANTOS, I. T. Q. P.; CARVALHO, L. H.; COSTA, A., C.; PASSOS, M., Seleção e Purificação de Argilas Bentoníticas para Obtenção de

Nanocompósitos Poliméricos: Separação por Fluxo Cruzado. In: **V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica** (CONEM 2008), 2008.

NARASIMHA M., M.S. BRENNAN M. S., HOLTHAM P. N., CFD Modeling of Hydrocyclones: Prediction of Particle size Segregation. **Minerals Engineering v. 39**, p. **173–183**, 2012.

ZHAOA L., JIANG M., e, WANG Y., Experimental Study of a Hydrocyclone under Cyclic flow Conditions for fine Particle Separation. **Separation and Purification Technology**, v. 59, p. 183 - 189, 2008.

# ANEXO

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_sem hidroc  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 00:59:11  
 Índice med. : 3272

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 178  
 Diâmetro a 10% : 1.11 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.45 mu  
 Diâmetro a 90% : 10.55 mu  
 Diâmetro médio : 5.21 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

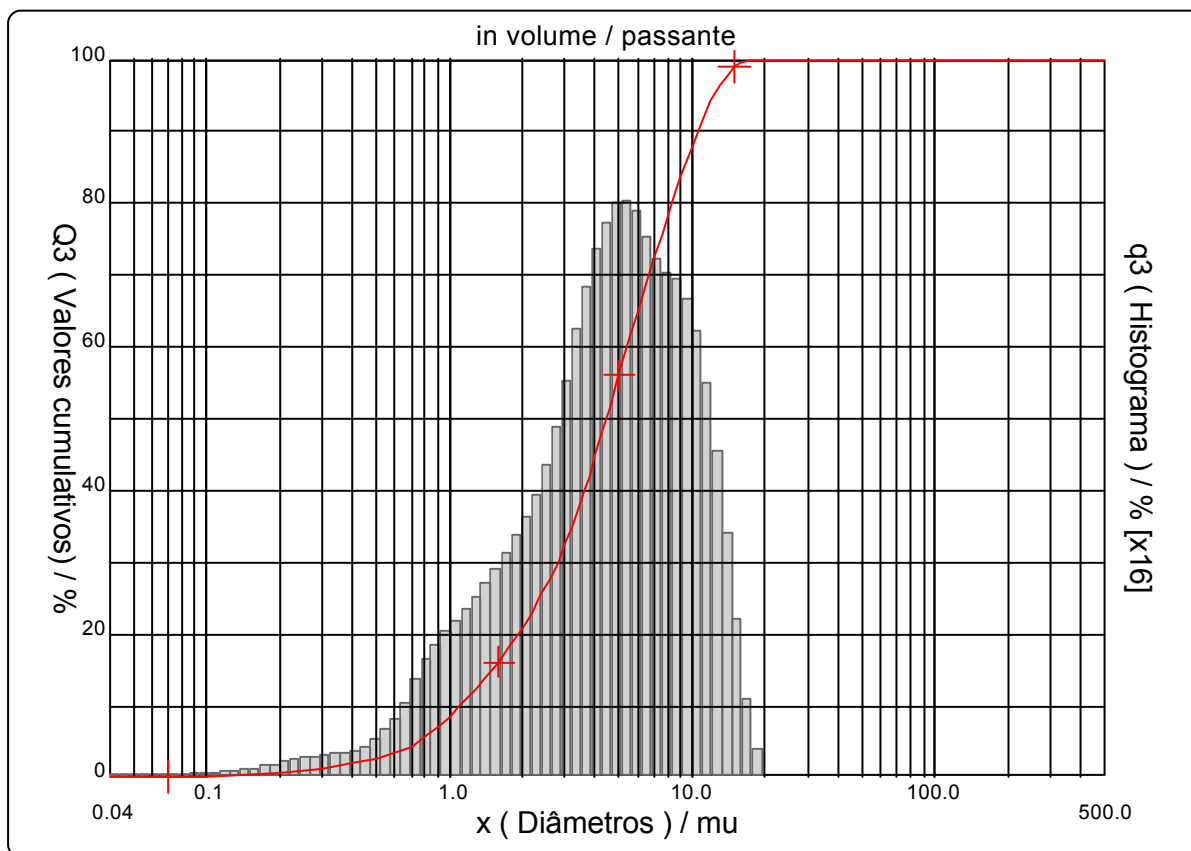
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.05	0.18	0.28	1.09	2.64	5.12	8.54	20.89	32.50	44.78

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	55.96	87.98	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.36	3.61	7.41	9.31	18.00



Ref da amostra : VI\_sem hidroc  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 00:59:11  
 Índice med. : 3272

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 178  
 Diâmetro a 10% : 1.11 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.45 mu  
 Diâmetro a 90% : 10.55 mu  
 Diâmetro médio : 5.21 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.05	0.18	0.28	0.75	1.43	2.03	2.64	3.46	4.49	5.79
q3	0.01	0.02	0.02	0.05	0.13	0.16	0.21	0.35	0.51	0.75
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	7.16	8.54	9.88	11.19	12.47	13.73	16.18	18.56	20.89	23.17
q3	0.90	1.01	1.08	1.16	1.23	1.31	1.41	1.56	1.70	1.84
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	25.45	27.75	30.10	32.50	34.96	37.44	39.91	42.36	44.78	48.30
q3	2.02	2.21	2.44	2.68	2.93	3.15	3.33	3.49	3.63	3.75
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	51.69	55.96	58.94	61.74	65.18	69.02	72.45	75.57	78.44	81.13
q3	3.87	3.94	3.94	3.91	3.84	3.69	3.56	3.48	3.42	3.42
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	83.61	87.98	91.55	94.36	96.47	97.96	98.95	99.52	99.84	100.00
q3	3.34	3.19	2.88	2.49	2.03	1.55	1.10	0.68	0.41	0.22
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C1\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 01:07:33  
 Índice med. : 3273

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 162  
 Diâmetro a 10% : 1.04 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.17 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.75 mu  
 Diâmetro médio : 4.86 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

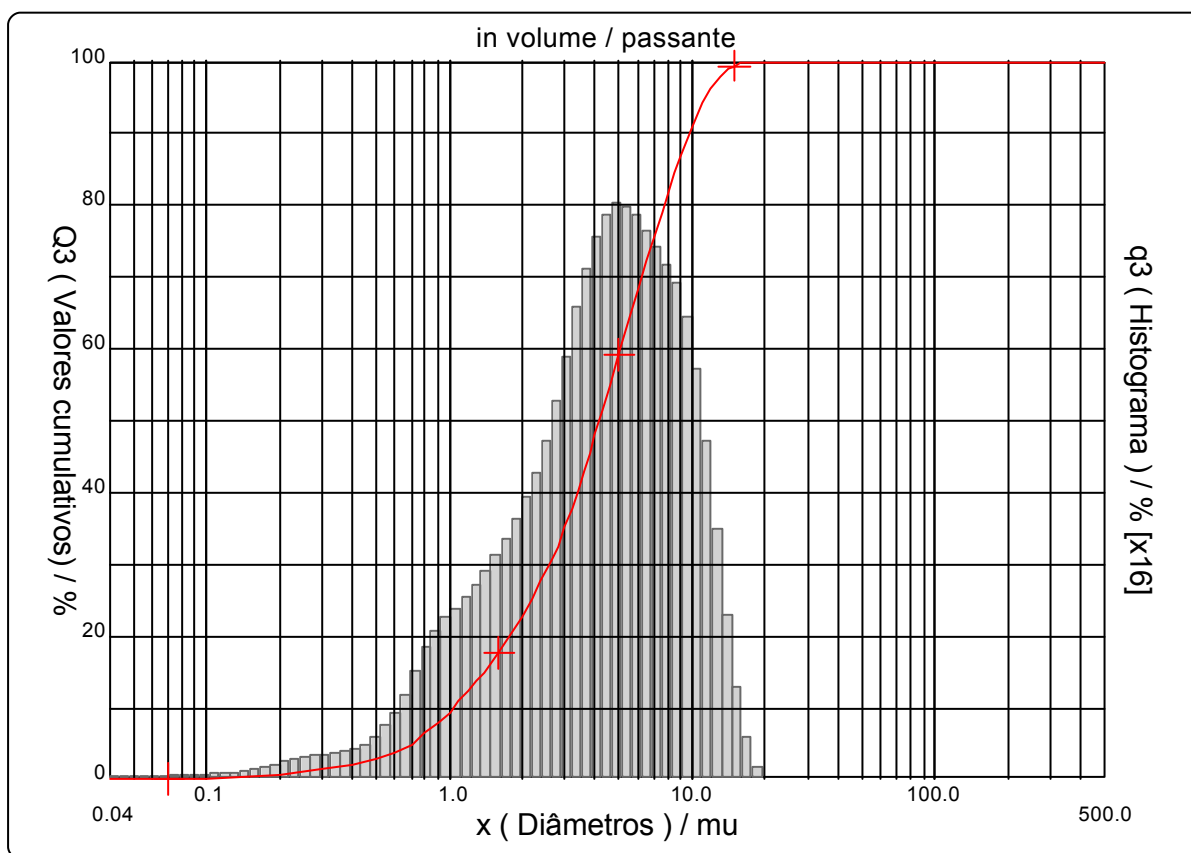
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.06	0.20	0.31	1.22	2.94	5.70	9.47	22.73	35.20	47.95

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	59.17	90.97	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.18	3.37	6.90	8.61	18.00





Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C1\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 01:07:33  
 Índice med. : 3273

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 162  
 Diâmetro a 10% : 1.04 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.17 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.75 mu  
 Diâmetro médio : 4.86 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.06	0.20	0.31	0.84	1.59	2.26	2.94	3.85	5.00	6.44
q3	0.02	0.02	0.02	0.06	0.14	0.18	0.24	0.39	0.58	0.84
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	7.96	9.47	10.92	12.33	13.70	15.04	17.67	20.22	22.73	25.20
q3	1.00	1.11	1.18	1.25	1.33	1.40	1.53	1.68	1.84	2.01
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	27.66	30.14	32.66	35.20	37.80	40.39	42.96	45.48	47.95	51.52
q3	2.19	2.40	2.63	2.85	3.12	3.31	3.48	3.61	3.73	3.82
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	54.92	59.17	62.12	64.89	68.32	72.20	75.71	78.89	81.79	84.46
q3	3.90	3.95	3.92	3.90	3.85	3.75	3.67	3.57	3.48	3.41
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	86.87	90.97	94.12	96.40	97.91	98.88	99.46	99.77	99.93	100.00
q3	3.26	3.01	2.56	2.03	1.46	1.01	0.65	0.37	0.20	0.09
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C1\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 01:15:26  
 Índice med. : 3274

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 167  
 Diâmetro a 10% : 1.02 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.11 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.45 mu  
 Diâmetro médio : 4.75 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

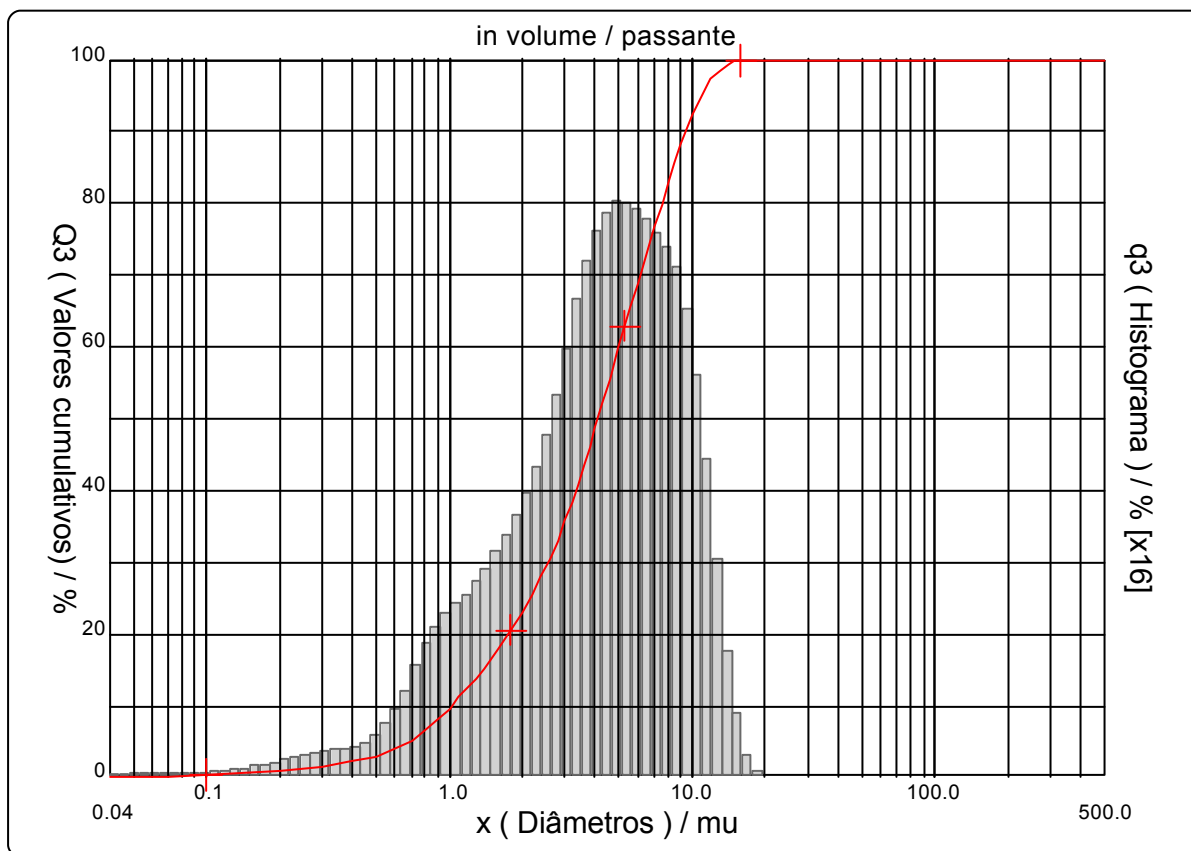
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.06	0.21	0.32	1.27	3.05	5.88	9.71	23.10	35.73	48.62

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	59.86	92.21	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.15	3.32	6.77	8.38	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C1\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 01:15:26  
 Índice med. : 3274

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 167  
 Diâmetro a 10% : 1.02 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.11 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.45 mu  
 Diâmetro médio : 4.75 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.06	0.21	0.32	0.88	1.66	2.35	3.05	3.98	5.17	6.64
q3	0.02	0.02	0.02	0.06	0.15	0.19	0.24	0.40	0.60	0.85
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	8.18	9.71	11.18	12.60	13.99	15.34	17.99	20.57	23.10	25.59
q3	1.01	1.13	1.20	1.26	1.35	1.41	1.54	1.70	1.86	2.02
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	28.08	30.60	33.15	35.73	38.36	40.99	43.58	46.13	48.62	52.20
q3	2.22	2.44	2.67	2.90	3.16	3.36	3.51	3.66	3.76	3.84
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	55.61	59.86	62.82	65.61	69.06	73.02	76.61	79.89	82.89	85.63
q3	3.92	3.95	3.94	3.93	3.88	3.83	3.75	3.68	3.60	3.50
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	88.10	92.21	95.24	97.32	98.58	99.31	99.71	99.89	99.97	100.00
q3	3.35	3.02	2.46	1.85	1.22	0.76	0.45	0.22	0.10	0.04
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Ref da amostra : VI\_C1\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 01:24:58  
 Índice med. : 3275

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 167  
 Diâmetro a 10% : 0.98 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.92 mu  
 Diâmetro a 90% : 8.94 mu  
 Diâmetro médio : 4.50 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

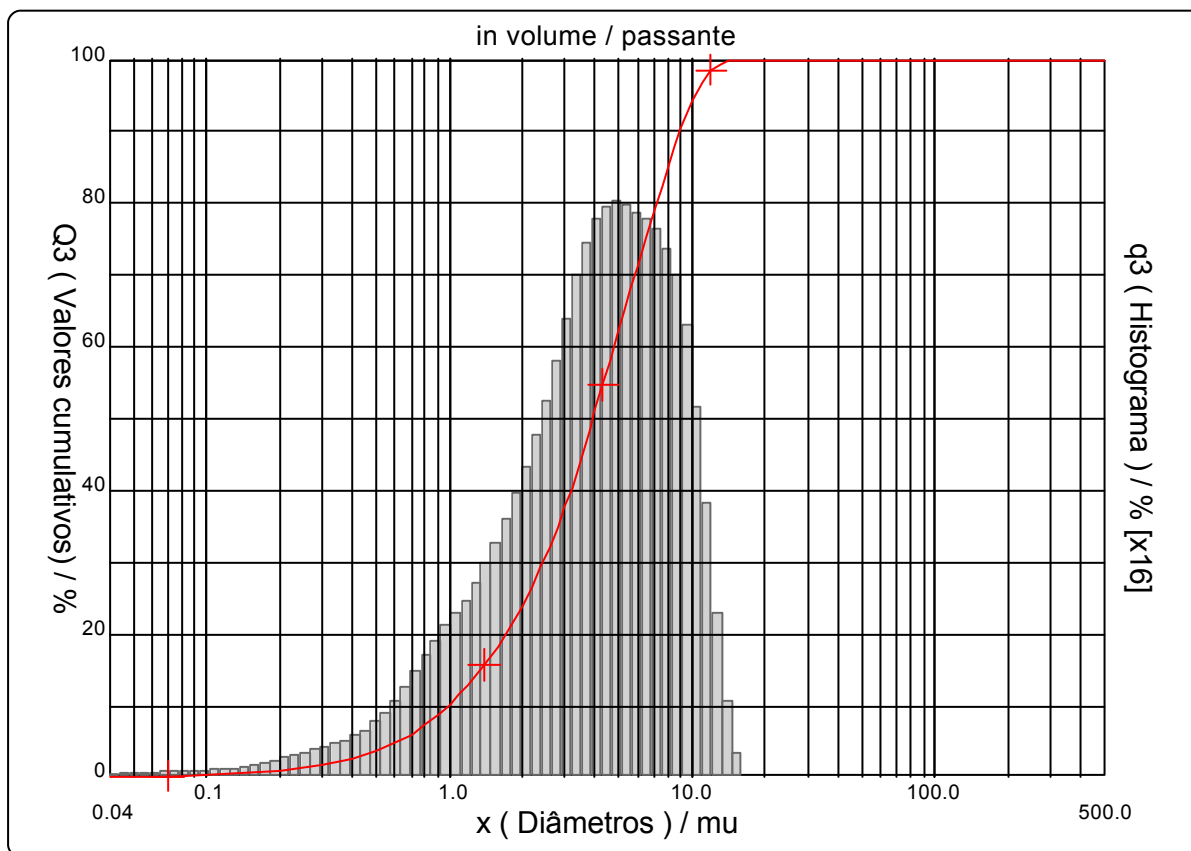
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.05	0.24	0.41	1.48	3.74	6.70	10.21	23.92	37.66	51.01

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	62.28	94.17	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.08	3.17	6.45	7.97	15.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C1\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 01:24:58  
 Índice med. : 3275

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 167  
 Diâmetro a 10% : 0.98 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.92 mu  
 Diâmetro a 90% : 8.94 mu  
 Diâmetro médio : 4.50 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.05	0.24	0.41	1.07	1.92	2.80	3.74	4.82	6.04	7.40
q3	0.01	0.03	0.04	0.07	0.16	0.24	0.33	0.46	0.62	0.79
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	8.80	10.21	11.60	12.97	14.34	15.71	18.44	21.18	23.92	26.65
q3	0.93	1.04	1.14	1.23	1.33	1.44	1.59	1.81	2.03	2.23
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	29.39	32.14	34.90	37.66	40.44	43.18	45.86	48.48	51.01	54.63
q3	2.45	2.68	2.90	3.12	3.36	3.52	3.65	3.77	3.84	3.90
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	58.05	62.28	65.22	67.98	71.40	75.35	78.94	82.22	85.19	87.89
q3	3.95	3.95	3.93	3.90	3.86	3.84	3.77	3.70	3.58	3.47
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	90.29	94.17	96.86	98.56	99.42	99.83	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	3.27	2.87	2.20	1.52	0.84	0.43	0.19	0.00	0.00	0.00
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C2\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 01:39:06  
 Índice med. : 3276

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 150  
 Diâmetro a 10% : 1.05 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.21 mu  
 Diâmetro a 90% : 10.14 mu  
 Diâmetro médio : 4.97 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

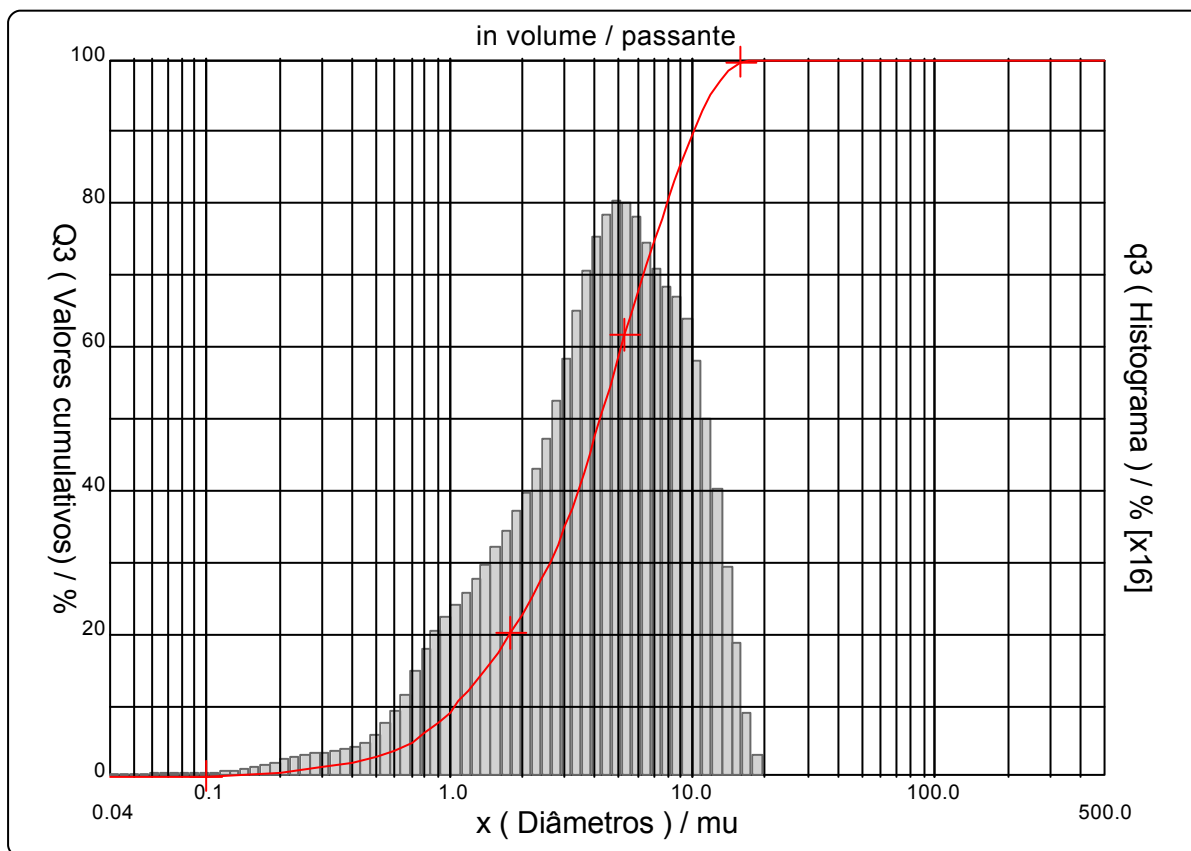
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.05	0.19	0.30	1.18	2.89	5.59	9.27	22.66	35.02	47.55

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	58.67	89.53	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.19	3.39	7.03	8.90	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C2\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 01:39:06  
 Índice med. : 3276

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 150  
 Diâmetro a 10% : 1.05 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.21 mu  
 Diâmetro a 90% : 10.14 mu  
 Diâmetro médio : 4.97 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.05	0.19	0.30	0.81	1.55	2.21	2.89	3.79	4.92	6.31
q3	0.01	0.02	0.02	0.06	0.14	0.18	0.24	0.38	0.57	0.81
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	7.79	9.27	10.72	12.13	13.52	14.88	17.55	20.13	22.66	25.12
q3	0.97	1.09	1.18	1.26	1.35	1.42	1.55	1.70	1.86	2.00
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	27.57	30.03	32.52	35.02	37.57	40.11	42.63	45.11	47.55	51.08
q3	2.18	2.38	2.60	2.81	3.06	3.25	3.42	3.55	3.69	3.78
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	54.45	58.67	61.61	64.36	67.72	71.46	74.79	77.80	80.55	83.11
q3	3.87	3.92	3.91	3.87	3.77	3.62	3.48	3.38	3.30	3.27
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	85.46	89.53	92.76	95.25	97.06	98.32	99.15	99.62	99.87	100.00
q3	3.19	2.99	2.63	2.22	1.75	1.32	0.93	0.56	0.32	0.18
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra	: VI_C2_3,5
Type produit	: Argila
Client	: UFCG
Comentários	: Calibrado
Líquido	: Água
Agente dispersante	: HMFNa + Na2CO3
Operador	: Juliana
Empresa	: UFCG
Localização	: Campina Grande - PB
Data	: 02/12/2003 Hora : 01:46:56
Índice med.	: 3277

Ultrasom	: 60	s
Concentração	: 167	
Diâmetro a 10%	: 1.04	mu
Diâmetro a 50%	: 4.14	mu
Diâmetro a 90%	: 9.69	mu
Diâmetro médio	: 4.82	mu
Fraunhofer		
Densidade/Fator	-----	
Superfície específica	-----	
Diluição automática	: Não / Não	
Medida./Limp.	: 60/60/3	
SOP	: Argila	

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

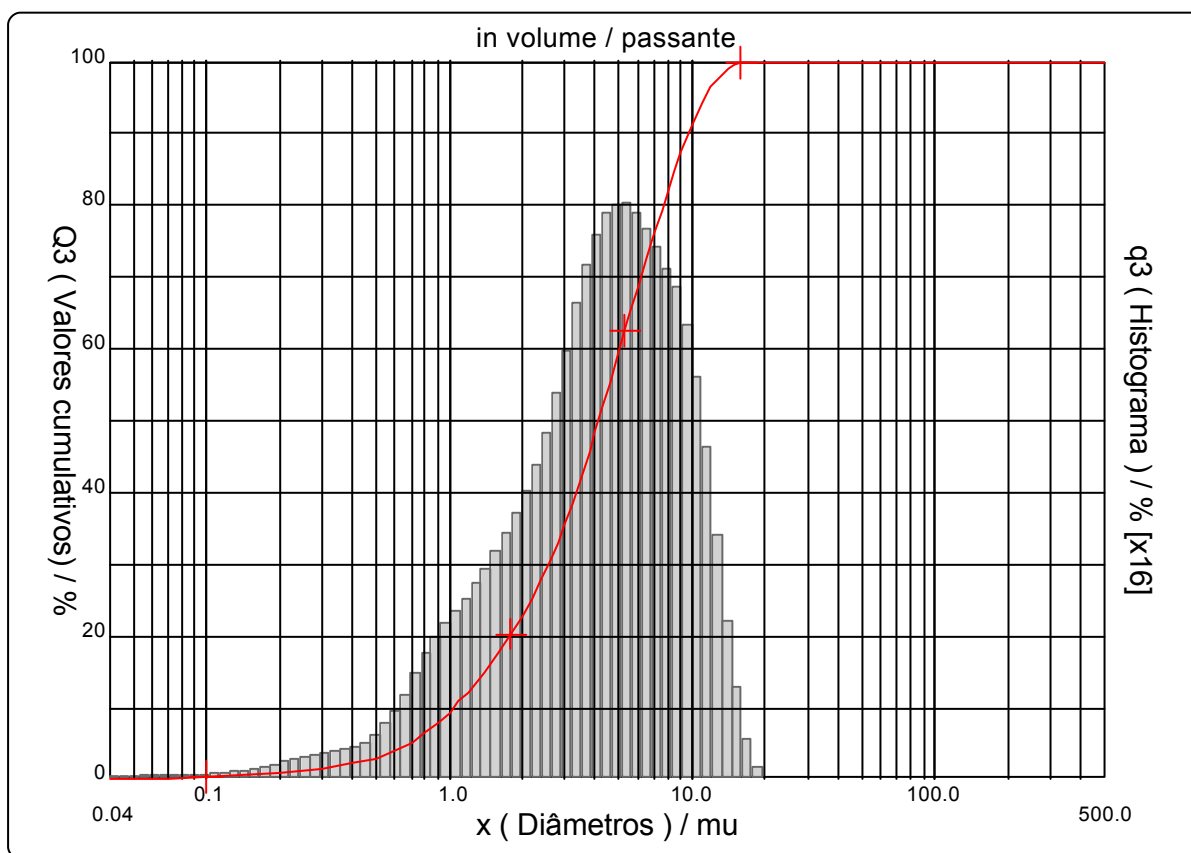
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.05	0.20	0.32	1.25	3.09	5.86	9.48	22.85	35.55	48.35

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	59.57	91.19	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.17	3.34	6.84	8.54	18.00





Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C2\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 01:46:56  
 Índice med. : 3277

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 167  
 Diâmetro a 10% : 1.04 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.14 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.69 mu  
 Diâmetro médio : 4.82 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.05	0.20	0.32	0.87	1.63	2.35	3.09	4.03	5.18	6.57
q3	0.01	0.02	0.03	0.06	0.15	0.19	0.26	0.40	0.58	0.81
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	8.02	9.48	10.90	12.29	13.67	15.02	17.68	20.29	22.85	25.37
q3	0.95	1.07	1.15	1.24	1.34	1.41	1.54	1.72	1.88	2.05
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	27.89	30.42	32.98	35.55	38.17	40.78	43.35	45.88	48.35	51.93
q3	2.24	2.45	2.68	2.89	3.15	3.34	3.48	3.63	3.73	3.84
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	55.33	59.57	62.53	65.31	68.73	72.61	76.11	79.27	82.15	84.79
q3	3.91	3.94	3.94	3.91	3.84	3.76	3.66	3.55	3.46	3.38
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	87.17	91.19	94.27	96.50	97.97	98.91	99.48	99.78	99.93	100.00
q3	3.23	2.96	2.50	1.99	1.42	0.98	0.64	0.36	0.19	0.09
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C2\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 01:55:46  
 Índice med. : 3278

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 157  
 Diâmetro a 10% : 1.04 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.17 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.67 mu  
 Diâmetro médio : 4.84 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

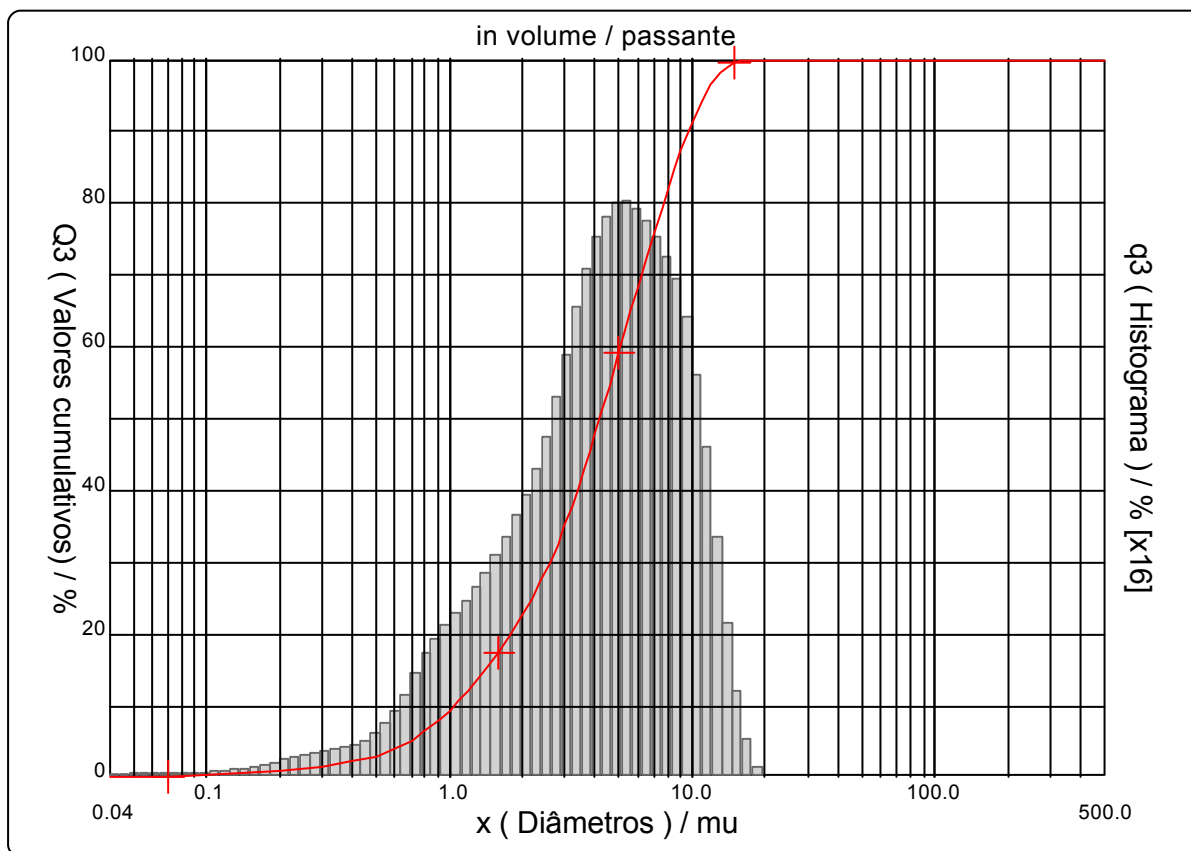
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.05	0.21	0.33	1.26	3.11	5.84	9.41	22.58	35.15	47.89

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	59.14	91.29	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.19	3.37	6.87	8.54	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C2\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 01:55:46  
 Índice med. : 3278

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 157  
 Diâmetro a 10% : 1.04 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.17 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.67 mu  
 Diâmetro médio : 4.84 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.05	0.21	0.33	0.88	1.64	2.36	3.11	4.04	5.18	6.54
q3	0.01	0.02	0.03	0.06	0.15	0.19	0.26	0.39	0.57	0.79
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	7.97	9.41	10.81	12.18	13.53	14.86	17.48	20.05	22.58	25.07
q3	0.94	1.06	1.14	1.22	1.31	1.39	1.52	1.69	1.86	2.02
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	27.56	30.06	32.60	35.15	37.75	40.34	42.90	45.42	47.89	51.46
q3	2.22	2.42	2.65	2.86	3.12	3.31	3.47	3.61	3.73	3.82
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	54.87	59.14	62.12	64.92	68.39	72.34	75.91	79.15	82.09	84.78
q3	3.92	3.97	3.96	3.94	3.89	3.82	3.73	3.64	3.53	3.44
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	87.21	91.29	94.39	96.62	98.06	98.97	99.51	99.79	99.94	100.00
q3	3.29	3.00	2.52	1.98	1.39	0.95	0.61	0.34	0.19	0.08
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Ref da amostra : VI\_C3\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 02:10:28  
 Índice med. : 3279

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 170  
 Diâmetro a 10% : 1.02 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.12 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.91 mu  
 Diâmetro médio : 4.86 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

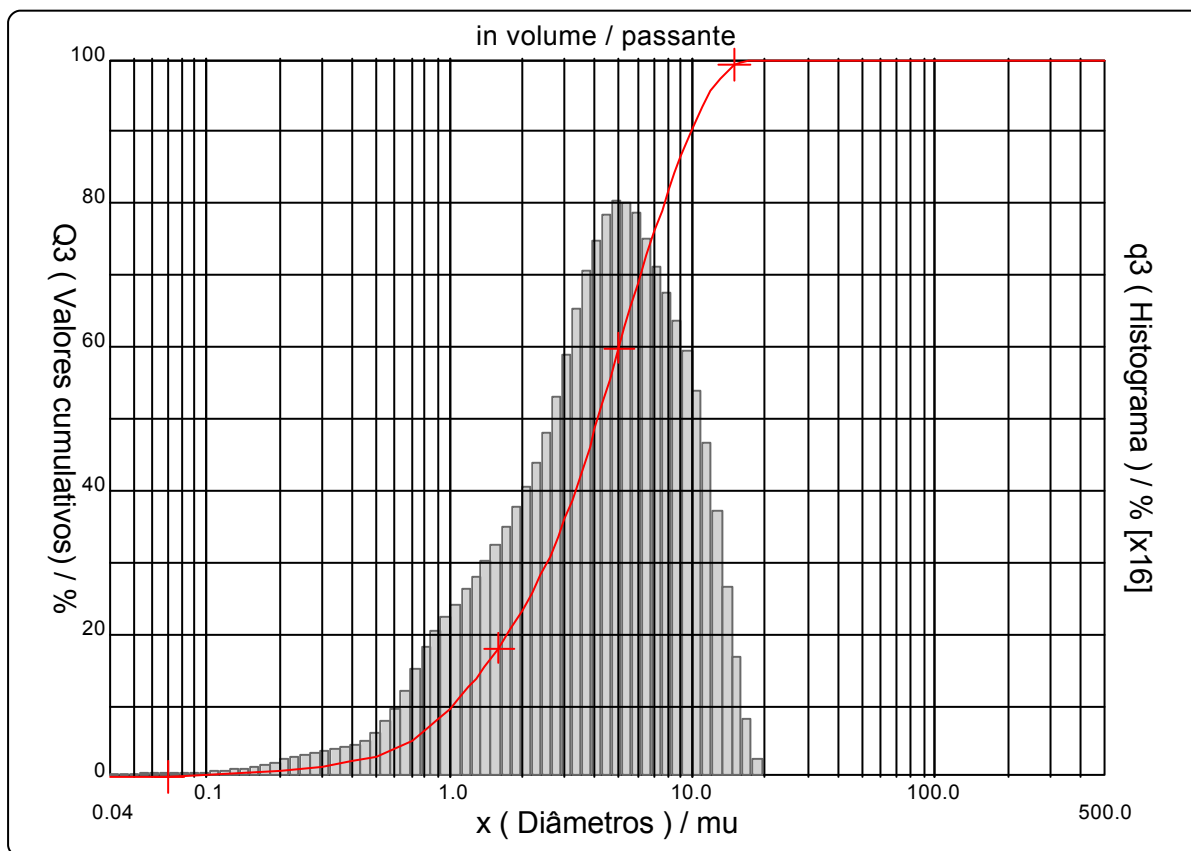
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.06	0.21	0.33	1.27	3.13	5.94	9.67	23.35	35.97	48.60

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	59.81	90.33	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.13	3.31	6.83	8.65	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C3\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 02:10:28  
 Índice med. : 3279

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 170  
 Diâmetro a 10% : 1.02 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.12 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.91 mu  
 Diâmetro médio : 4.86 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.06	0.21	0.33	0.89	1.66	2.38	3.13	4.07	5.25	6.67
q3	0.02	0.02	0.03	0.06	0.15	0.19	0.26	0.40	0.59	0.83
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	8.17	9.67	11.14	12.59	14.00	15.39	18.11	20.76	23.35	25.88
q3	0.99	1.11	1.20	1.29	1.37	1.46	1.58	1.75	1.91	2.06
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	28.39	30.91	33.43	35.97	38.55	41.12	43.66	46.16	48.60	52.16
q3	2.24	2.45	2.64	2.86	3.11	3.29	3.45	3.59	3.70	3.82
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	55.56	59.81	62.77	65.54	68.95	72.75	76.12	79.13	81.85	84.30
q3	3.92	3.96	3.95	3.91	3.84	3.69	3.53	3.39	3.27	3.14
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	86.52	90.33	93.36	95.68	97.35	98.49	99.24	99.66	99.89	100.00
q3	3.02	2.81	2.47	2.07	1.62	1.20	0.84	0.51	0.29	0.15
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra	: VI_C3_3,5
Type produit	: Argila
Client	: UFCG
Comentários	: Calibrado
Líquido	: Água
Agente dispersante	: HMFNa + Na2CO3
Operador	: Juliana
Empresa	: UFCG
Localização	: Campina Grande - PB
Data	: 02/12/2003 Hora : 02:21:23
Índice med.	: 3280

Ultrassom	: 60	s
Concentração	: 161	
Diâmetro a 10%	: 1.01	mu
Diâmetro a 50%	: 4.07	mu
Diâmetro a 90%	: 9.70	mu
Diâmetro médio	: 4.78	mu
Fraunhofer		
Densidade/Fator	-----	
Superfície específica	-----	
Diluição automática	: Não / Não	
Medida./Limp.	: 60/60/3	
SOP	: Argila	

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

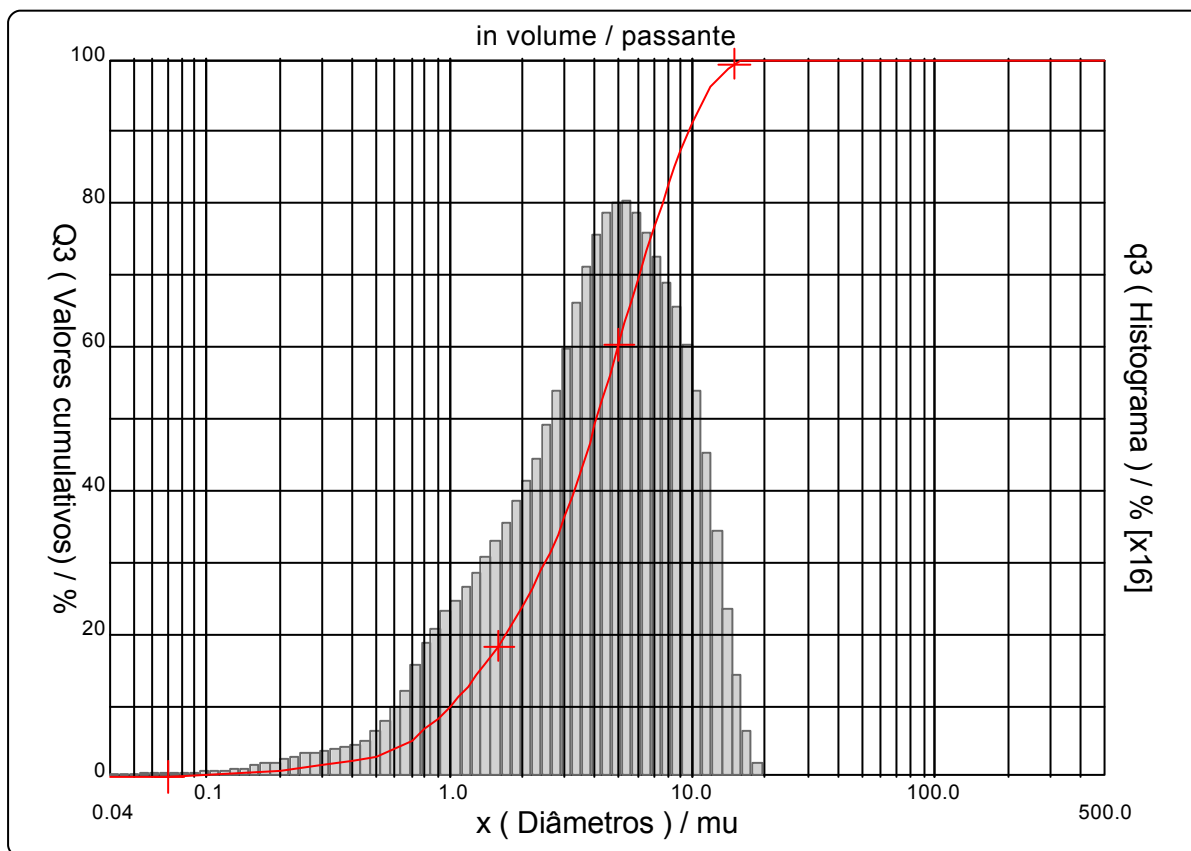
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.06	0.21	0.33	1.29	3.16	6.02	9.83	23.72	36.49	49.19

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	60.35	91.09	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.10	3.27	6.75	8.50	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C3\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 02:21:23  
 Índice med. : 3280

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 161  
 Diâmetro a 10% : 1.01 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.07 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.70 mu  
 Diâmetro médio : 4.78 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.06	0.21	0.33	0.90	1.69	2.41	3.16	4.12	5.31	6.77
q3	0.02	0.02	0.03	0.06	0.15	0.19	0.26	0.41	0.60	0.85
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	8.29	9.83	11.32	12.79	14.23	15.64	18.40	21.09	23.72	26.28
q3	1.00	1.14	1.22	1.31	1.40	1.48	1.61	1.78	1.94	2.09
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	28.82	31.37	33.92	36.49	39.09	41.68	44.23	46.74	49.19	52.74
q3	2.27	2.48	2.68	2.90	3.13	3.32	3.47	3.61	3.71	3.82
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	56.13	60.35	63.30	66.06	69.45	73.27	76.68	79.75	82.51	85.02
q3	3.91	3.94	3.94	3.90	3.82	3.71	3.58	3.46	3.33	3.22
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	87.27	91.09	94.06	96.25	97.76	98.76	99.39	99.73	99.91	100.00
q3	3.06	2.82	2.42	1.96	1.47	1.05	0.71	0.41	0.23	0.12
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C3\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 02:29:39  
 Índice med. : 3281

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 157  
 Diâmetro a 10% : 1.00 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.01 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.44 mu  
 Diâmetro médio : 4.68 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

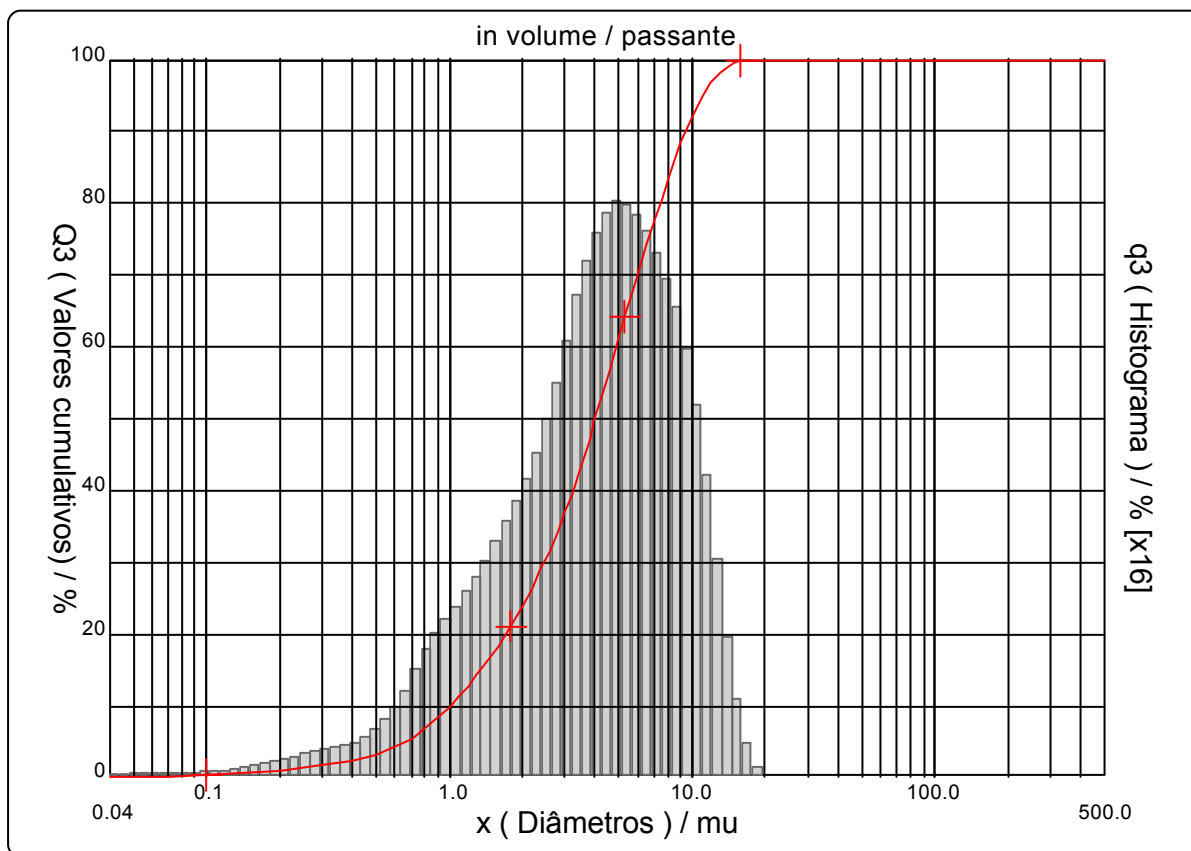
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.06	0.22	0.35	1.34	3.33	6.22	9.93	23.80	36.91	49.85

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	61.11	92.08	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.09	3.23	6.62	8.29	18.00





Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_C3\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 02:29:39  
 Índice med. : 3281

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 157  
 Diâmetro a 10% : 1.00 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.01 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.44 mu  
 Diâmetro médio : 4.68 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.06	0.22	0.35	0.94	1.75	2.52	3.33	4.33	5.53	6.95
q3	0.02	0.02	0.03	0.07	0.16	0.21	0.28	0.43	0.61	0.83
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	8.44	9.93	11.39	12.83	14.25	15.65	18.41	21.13	23.80	26.42
q3	0.98	1.10	1.19	1.29	1.38	1.47	1.61	1.80	1.97	2.14
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	29.03	31.65	34.28	36.91	39.57	42.22	44.82	47.37	49.85	53.44
q3	2.33	2.55	2.76	2.97	3.21	3.40	3.54	3.67	3.76	3.86
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	56.85	61.11	64.07	66.84	70.26	74.13	77.60	80.71	83.52	86.05
q3	3.93	3.97	3.95	3.91	3.86	3.76	3.64	3.51	3.39	3.25
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	88.31	92.08	94.91	96.93	98.24	99.07	99.56	99.81	99.94	100.00
q3	3.08	2.78	2.31	1.81	1.27	0.87	0.55	0.30	0.17	0.08
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A1\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 02:38:43  
 Índice med. : 3282

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 165  
 Diâmetro a 10% : 0.95 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.89 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.45 mu  
 Diâmetro médio : 4.61 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

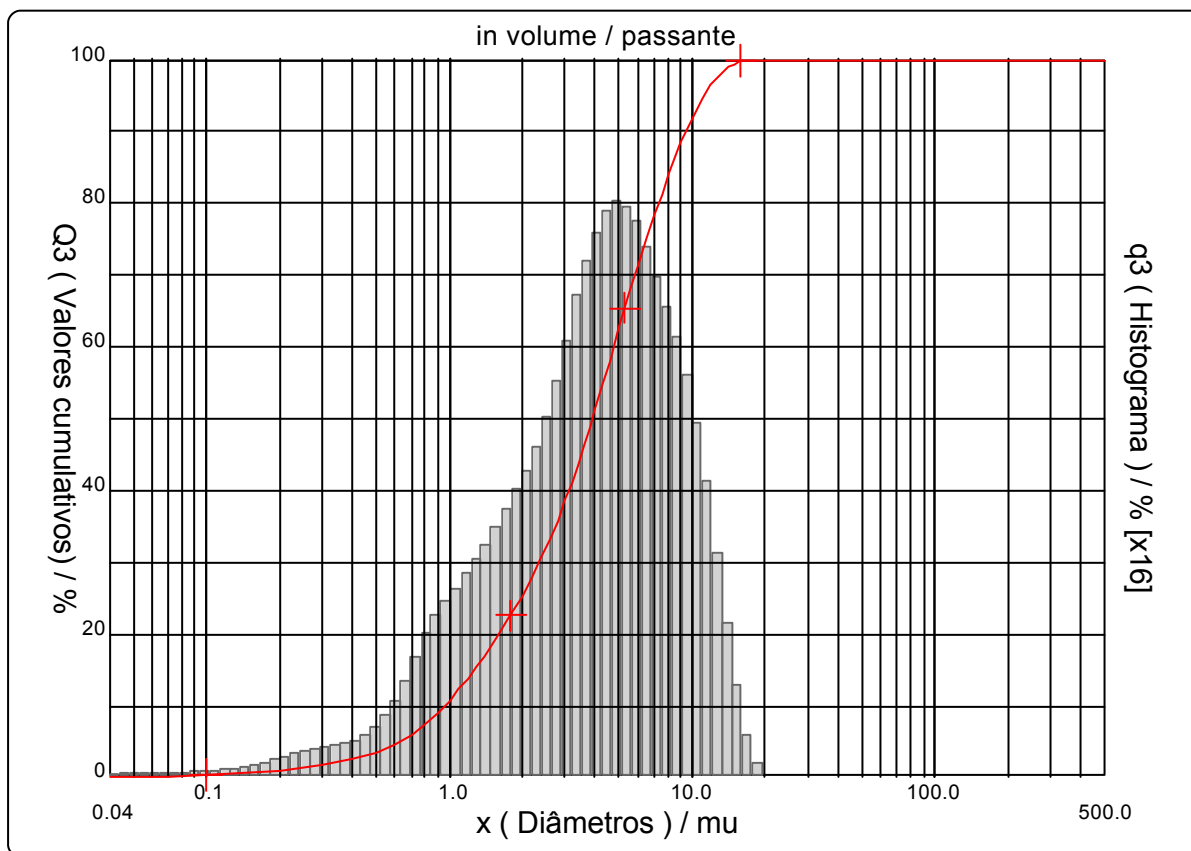
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.07	0.25	0.39	1.47	3.56	6.67	10.76	25.37	38.47	51.28

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	62.43	91.88	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	1.97	3.11	6.48	8.23	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A1\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 02:38:43  
 Índice med. : 3282

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 165  
 Diâmetro a 10% : 0.95 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.89 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.45 mu  
 Diâmetro médio : 4.61 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.07	0.25	0.39	1.03	1.91	2.73	3.56	4.61	5.91	7.48
q3	0.02	0.03	0.03	0.07	0.17	0.22	0.29	0.45	0.66	0.92
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	9.12	10.76	12.35	13.91	15.43	16.92	19.82	22.64	25.37	28.02
q3	1.09	1.22	1.31	1.40	1.49	1.58	1.70	1.88	2.03	2.18
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	30.64	33.25	35.86	38.47	41.11	43.72	46.30	48.82	51.28	54.84
q3	2.36	2.55	2.76	2.96	3.21	3.37	3.54	3.65	3.76	3.86
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	58.22	62.43	65.35	68.07	71.40	75.11	78.40	81.31	83.92	86.27
q3	3.93	3.96	3.93	3.87	3.78	3.63	3.48	3.30	3.17	3.04
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	88.36	91.88	94.60	96.60	97.97	98.88	99.45	99.76	99.92	100.00
q3	2.86	2.62	2.24	1.80	1.34	0.96	0.65	0.38	0.21	0.11
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A1\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 02:47:12  
 Índice med. : 3283

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 175  
 Diâmetro a 10% : 0.95 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.85 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.30 mu  
 Diâmetro médio : 4.55 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

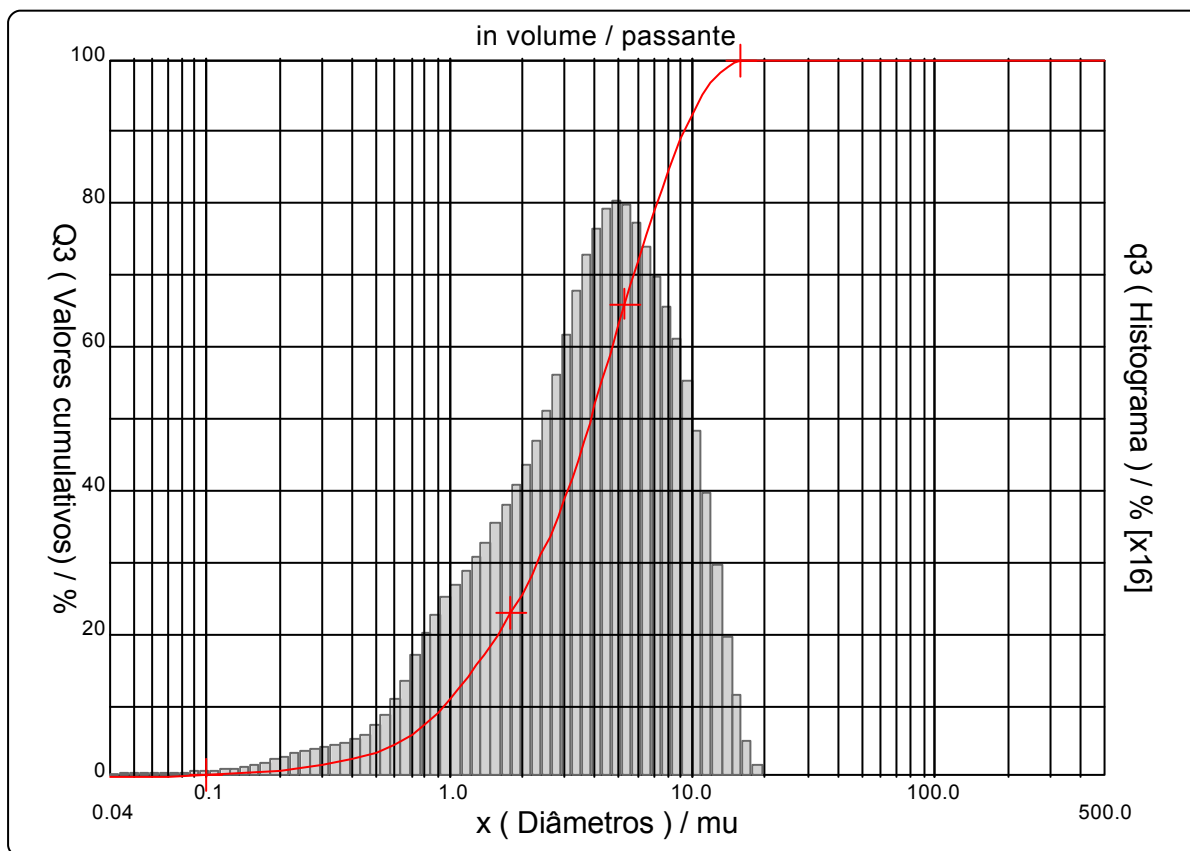
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.07	0.25	0.39	1.49	3.61	6.76	10.88	25.68	38.97	51.88

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	63.05	92.38	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	1.95	3.08	6.40	8.10	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A1\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 02:47:12  
 Índice med. : 3283

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 175  
 Diâmetro a 10% : 0.95 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.85 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.30 mu  
 Diâmetro médio : 4.55 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.07	0.25	0.39	1.05	1.93	2.76	3.61	4.67	5.99	7.57
q3	0.02	0.03	0.03	0.07	0.17	0.23	0.30	0.46	0.67	0.93
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	9.22	10.88	12.49	14.07	15.61	17.11	20.06	22.91	25.68	28.37
q3	1.10	1.24	1.32	1.42	1.51	1.59	1.73	1.90	2.06	2.21
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	31.03	33.68	36.32	38.97	41.63	44.27	46.87	49.41	51.88	55.46
q3	2.40	2.60	2.79	3.01	3.23	3.41	3.57	3.68	3.78	3.88
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	58.84	63.05	65.97	68.69	72.01	75.72	79.00	81.92	84.52	86.85
q3	3.93	3.96	3.93	3.87	3.77	3.63	3.47	3.32	3.16	3.01
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	88.92	92.38	95.01	96.91	98.19	99.01	99.52	99.79	99.93	100.00
q3	2.84	2.58	2.16	1.71	1.25	0.87	0.58	0.33	0.18	0.10
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A1\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 02:54:45  
 Índice med. : 3284

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 161  
 Diâmetro a 10% : 0.96 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.88 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.36 mu  
 Diâmetro médio : 4.58 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

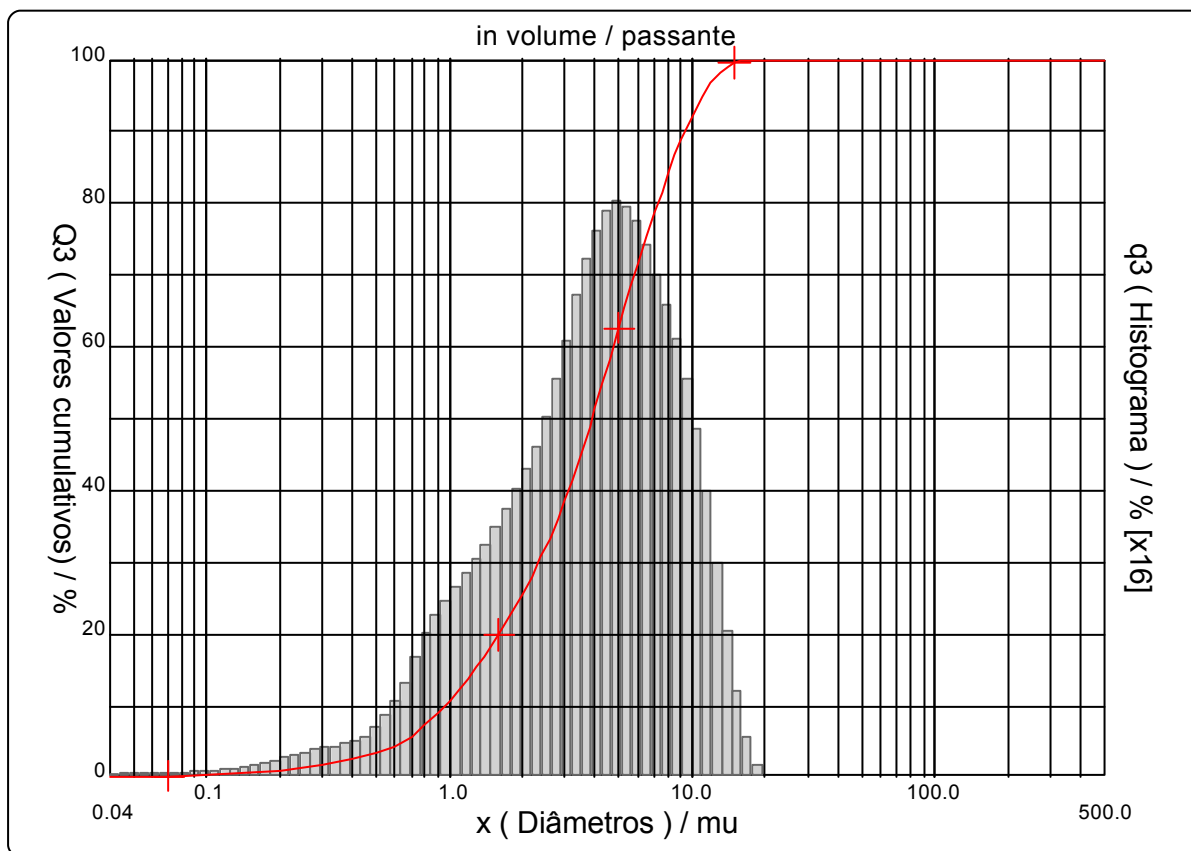
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.07	0.24	0.38	1.44	3.49	6.59	10.70	25.40	38.57	51.46

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	62.66	92.20	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	1.97	3.11	6.44	8.15	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A1\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 02:54:45  
 Índice med. : 3284

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 161  
 Diâmetro a 10% : 0.96 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.88 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.36 mu  
 Diâmetro médio : 4.58 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.07	0.24	0.38	1.01	1.87	2.67	3.49	4.53	5.82	7.40
q3	0.02	0.02	0.03	0.07	0.17	0.22	0.29	0.45	0.66	0.93
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	9.05	10.70	12.30	13.87	15.41	16.91	19.83	22.65	25.40	28.07
q3	1.10	1.23	1.31	1.41	1.51	1.58	1.71	1.87	2.04	2.19
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	30.70	33.32	35.95	38.57	41.22	43.85	46.45	48.98	51.46	55.04
q3	2.37	2.56	2.78	2.97	3.21	3.40	3.56	3.66	3.78	3.87
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	58.43	62.66	65.59	68.32	71.67	75.41	78.72	81.66	84.28	86.62
q3	3.93	3.97	3.94	3.88	3.80	3.66	3.50	3.34	3.18	3.02
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	88.71	92.20	94.86	96.79	98.10	98.96	99.49	99.78	99.93	100.00
q3	2.86	2.59	2.18	1.74	1.28	0.91	0.60	0.35	0.19	0.10
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A2\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:05:45  
 Índice med. : 3285

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 171  
 Diâmetro a 10% : 0.95 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.85 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.28 mu  
 Diâmetro médio : 4.55 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

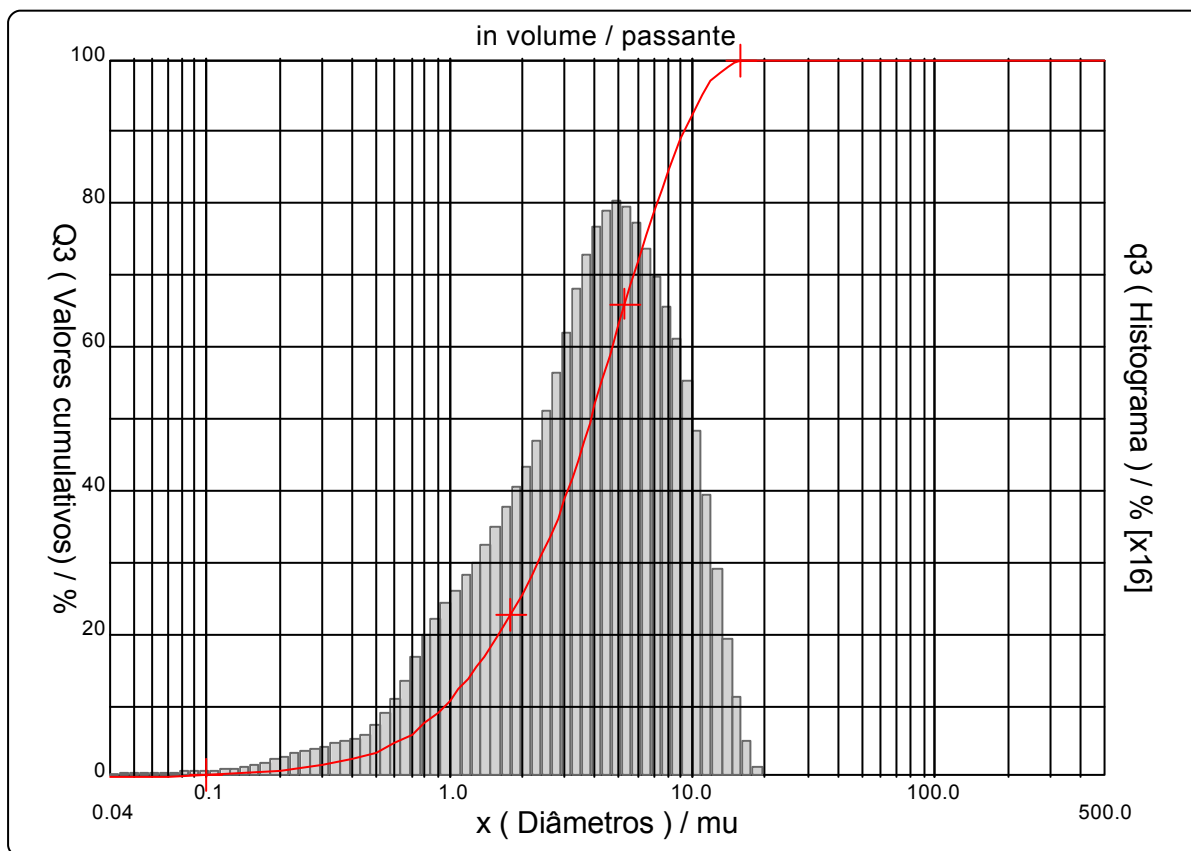
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.07	0.25	0.40	1.51	3.67	6.81	10.84	25.49	38.86	51.85

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	63.04	92.45	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	1.96	3.08	6.40	8.09	18.00





Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A2\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:05:45  
 Índice med. : 3285

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 171  
 Diâmetro a 10% : 0.95 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.85 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.28 mu  
 Diâmetro médio : 4.55 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.07	0.25	0.40	1.06	1.95	2.80	3.67	4.75	6.06	7.61
q3	0.02	0.03	0.03	0.07	0.17	0.23	0.31	0.46	0.67	0.91
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	9.22	10.84	12.42	13.97	15.48	16.97	19.88	22.72	25.49	28.19
q3	1.07	1.21	1.30	1.40	1.48	1.58	1.71	1.89	2.06	2.22
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	30.87	33.53	36.20	38.86	41.54	44.20	46.81	49.36	51.85	55.43
q3	2.41	2.60	2.82	3.02	3.25	3.44	3.58	3.70	3.80	3.88
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	58.82	63.04	65.96	68.68	72.01	75.73	79.02	81.94	84.56	86.90
q3	3.94	3.97	3.93	3.87	3.78	3.64	3.48	3.32	3.18	3.03
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	88.98	92.45	95.08	96.97	98.23	99.04	99.54	99.80	99.94	100.00
q3	2.85	2.58	2.16	1.70	1.23	0.86	0.57	0.32	0.18	0.08
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Ref da amostra : VI\_A2\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:13:11  
 Índice med. : 3286

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 160  
 Diâmetro a 10% : 0.98 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.99 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.52 mu  
 Diâmetro médio : 4.69 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

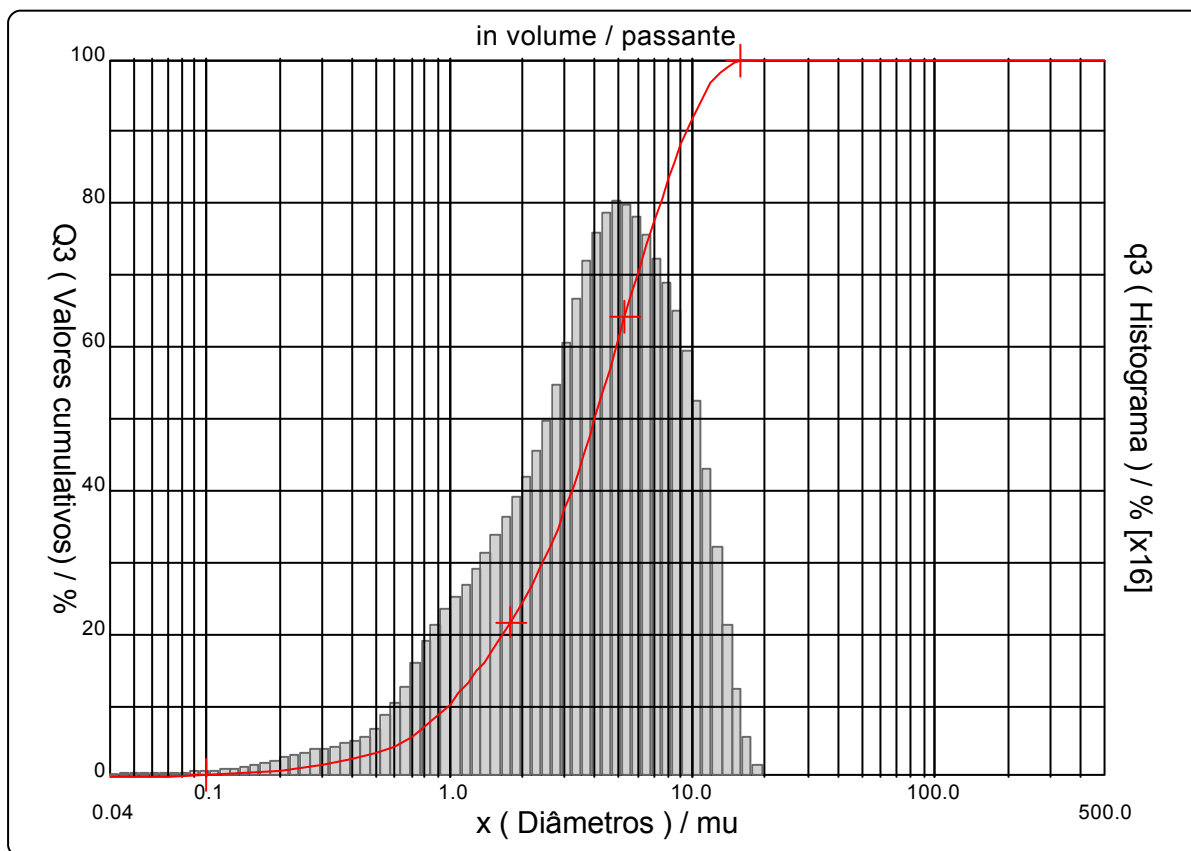
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.06	0.24	0.38	1.42	3.46	6.45	10.32	24.40	37.36	50.13

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	61.27	91.73	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.04	3.20	6.63	8.34	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A2\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:13:11  
 Índice med. : 3286

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 160  
 Diâmetro a 10% : 0.98 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.99 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.52 mu  
 Diâmetro médio : 4.69 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.06	0.24	0.38	1.00	1.84	2.64	3.46	4.48	5.72	7.21
q3	0.02	0.03	0.03	0.07	0.16	0.22	0.29	0.44	0.63	0.87
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	8.76	10.32	11.83	13.31	14.77	16.20	19.00	21.73	24.40	27.00
q3	1.03	1.16	1.24	1.33	1.42	1.51	1.64	1.81	1.98	2.13
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	29.59	32.17	34.76	37.36	39.99	42.59	45.16	47.67	50.13	53.68
q3	2.32	2.52	2.73	2.94	3.18	3.35	3.51	3.62	3.74	3.83
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	57.06	61.27	64.20	66.94	70.31	74.11	77.50	80.55	83.29	85.77
q3	3.91	3.94	3.93	3.88	3.81	3.71	3.57	3.45	3.31	3.19
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	87.99	91.73	94.58	96.65	98.04	98.94	99.48	99.78	99.93	100.00
q3	3.03	2.77	2.33	1.86	1.36	0.95	0.61	0.36	0.19	0.10
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A2\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:20:18  
 Índice med. : 3287

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 167  
 Diâmetro a 10% : 0.96 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.93 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.35 mu  
 Diâmetro médio : 4.61 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

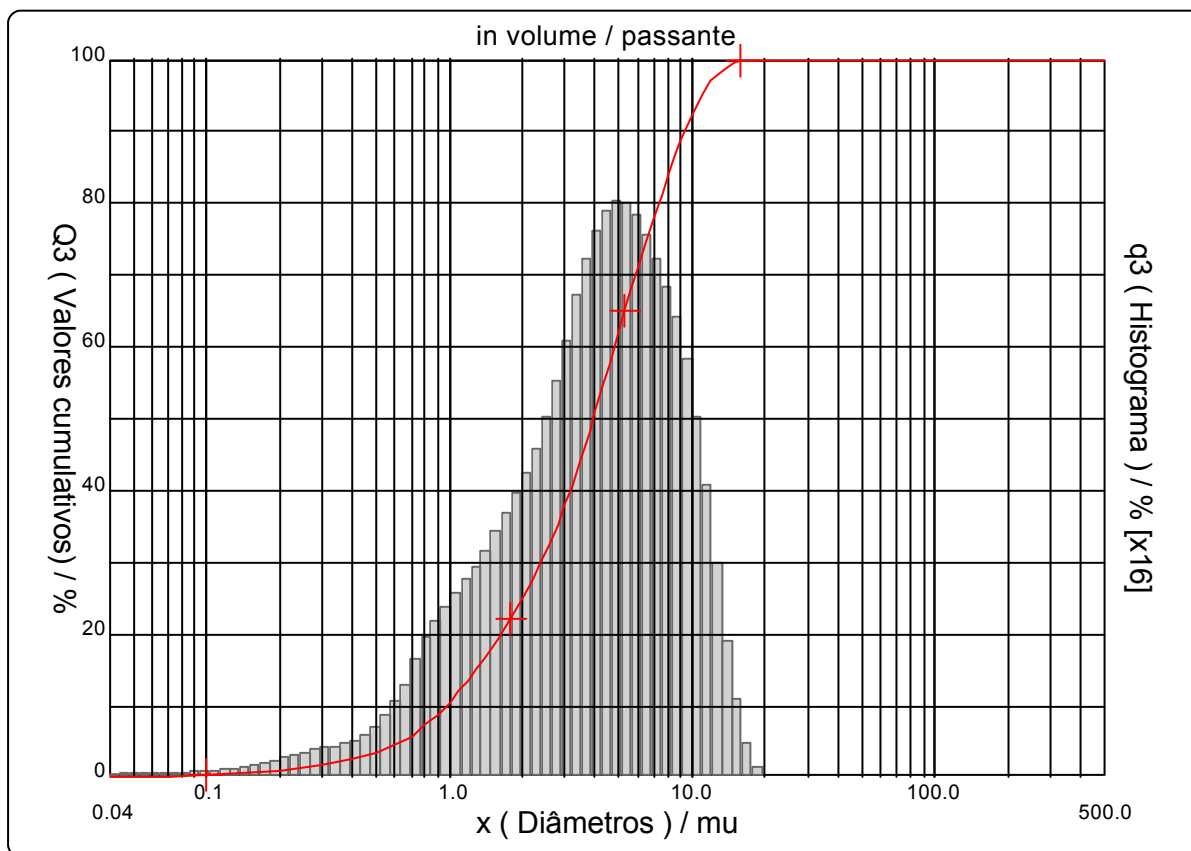
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.06	0.24	0.38	1.45	3.53	6.58	10.54	24.87	37.97	50.83

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	62.01	92.32	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.01	3.15	6.52	8.19	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A2\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:20:18  
 Índice med. : 3287

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 167  
 Diâmetro a 10% : 0.96 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.93 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.35 mu  
 Diâmetro médio : 4.61 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.06	0.24	0.38	1.02	1.88	2.69	3.53	4.57	5.84	7.36
q3	0.02	0.03	0.03	0.07	0.17	0.22	0.29	0.45	0.64	0.89
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	8.95	10.54	12.09	13.61	15.09	16.54	19.39	22.16	24.87	27.51
q3	1.06	1.18	1.27	1.37	1.45	1.53	1.67	1.84	2.01	2.17
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	30.12	32.73	35.35	37.97	40.61	43.24	45.82	48.36	50.83	54.40
q3	2.34	2.55	2.76	2.97	3.20	3.39	3.53	3.67	3.76	3.86
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	57.79	62.01	64.95	67.70	71.08	74.88	78.28	81.31	84.04	86.49
q3	3.93	3.96	3.94	3.90	3.83	3.71	3.59	3.43	3.31	3.16
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	88.68	92.32	95.05	97.00	98.28	99.08	99.56	99.81	99.94	100.00
q3	2.99	2.70	2.24	1.75	1.25	0.84	0.54	0.30	0.17	0.08
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A3\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:27:22  
 Índice med. : 3288

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 172  
 Diâmetro a 10% : 0.99 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.09 mu  
 Diâmetro a 90% : 10.02 mu  
 Diâmetro médio : 4.85 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

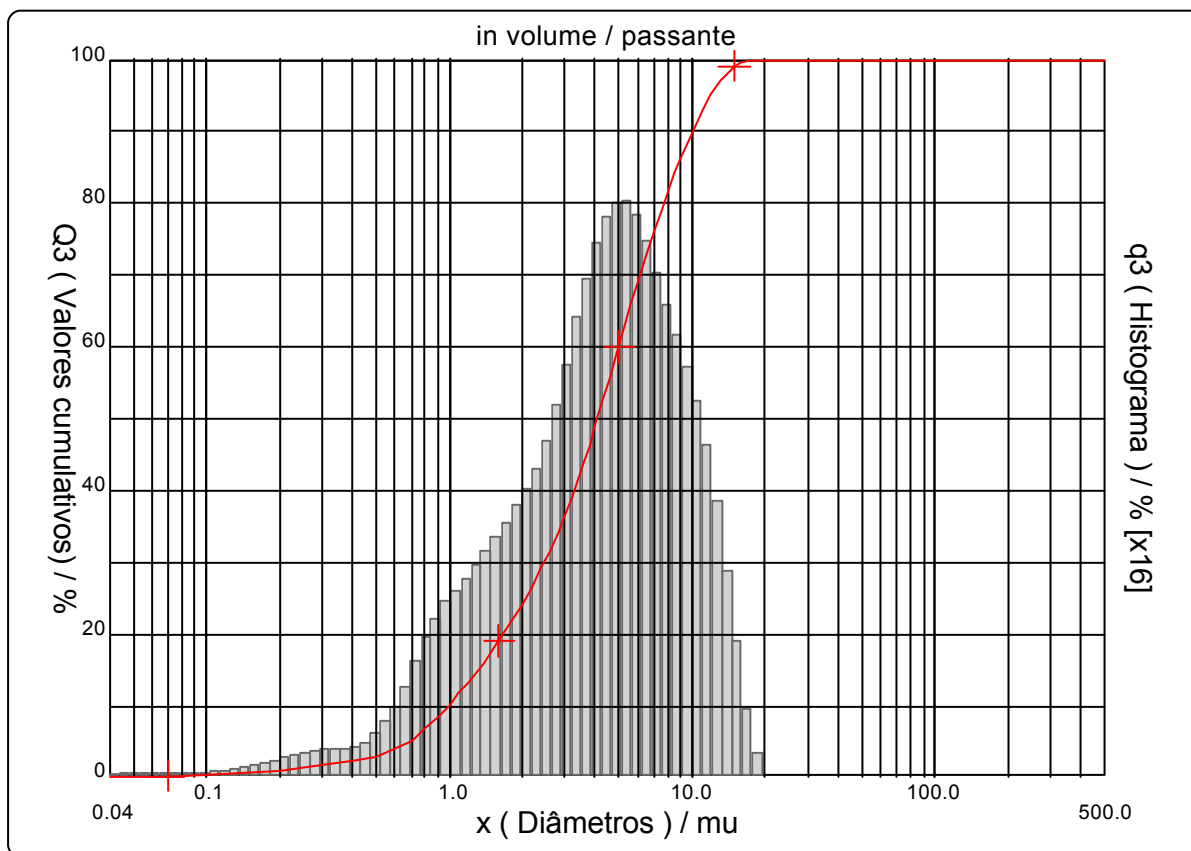
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.07	0.23	0.34	1.33	3.16	6.09	10.13	24.23	36.54	48.94

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	60.06	89.93	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.06	3.27	6.81	8.70	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A3\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:27:22  
 Índice med. : 3288

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 172  
 Diâmetro a 10% : 0.99 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.09 mu  
 Diâmetro a 90% : 10.02 mu  
 Diâmetro médio : 4.85 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.07	0.23	0.34	0.92	1.74	2.45	3.16	4.12	5.35	6.88
q3	0.02	0.02	0.02	0.07	0.16	0.19	0.25	0.41	0.62	0.89
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	8.50	10.13	11.70	13.23	14.72	16.17	18.97	21.65	24.23	26.71
q3	1.07	1.21	1.28	1.37	1.45	1.53	1.63	1.77	1.91	2.03
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	29.16	31.61	34.07	36.54	39.06	41.57	44.06	46.52	48.94	52.46
q3	2.19	2.39	2.59	2.79	3.04	3.23	3.40	3.55	3.68	3.79
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	55.83	60.06	63.01	65.77	69.15	72.91	76.23	79.17	81.79	84.15
q3	3.90	3.95	3.95	3.91	3.82	3.66	3.49	3.32	3.16	3.03
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	86.28	89.93	92.91	95.25	97.01	98.26	99.10	99.58	99.86	100.00
q3	2.90	2.70	2.44	2.10	1.71	1.31	0.95	0.58	0.36	0.19
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A3\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:35:08  
 Índice med. : 3289

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 166  
 Diâmetro a 10% : 0.99 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.17 mu  
 Diâmetro a 90% : 10.62 mu  
 Diâmetro médio : 5.07 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

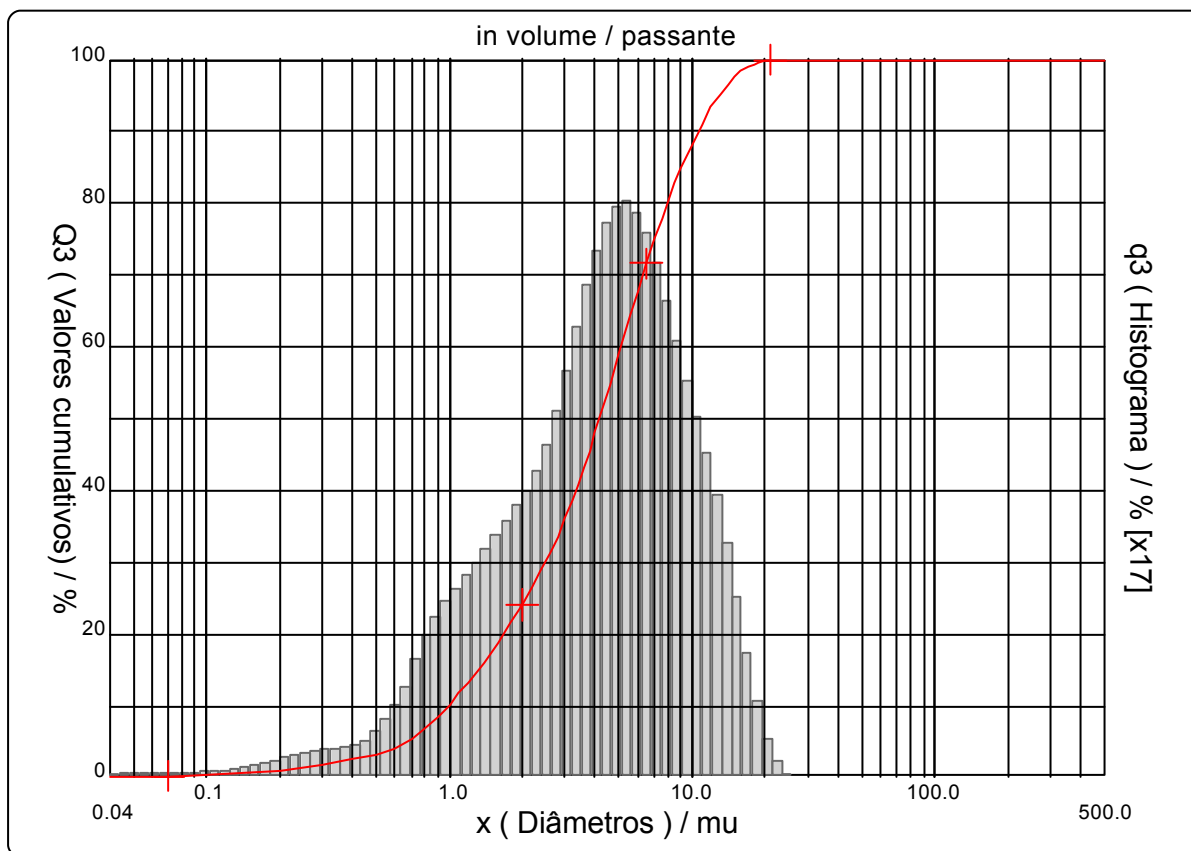
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.07	0.24	0.37	1.40	3.25	6.16	10.17	24.13	36.09	48.07

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	58.90	88.22	99.82	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.07	3.32	7.01	9.06	23.00





Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A3\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:35:08  
 Índice med. : 3289

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 166  
 Diâmetro a 10% : 0.99 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.17 mu  
 Diâmetro a 90% : 10.62 mu  
 Diâmetro médio : 5.07 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.07	0.24	0.37	0.98	1.81	2.53	3.25	4.21	5.43	6.95
q3	0.02	0.02	0.03	0.07	0.16	0.19	0.25	0.41	0.61	0.88
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	8.55	10.17	11.73	13.26	14.74	16.18	18.96	21.60	24.13	26.56
q3	1.05	1.19	1.27	1.37	1.44	1.51	1.62	1.74	1.86	1.98
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	28.95	31.32	33.70	36.09	38.52	40.94	43.35	45.73	48.07	51.49
q3	2.13	2.30	2.49	2.69	2.92	3.10	3.27	3.42	3.54	3.67
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	54.77	58.90	61.80	64.51	67.86	71.62	74.94	77.87	80.46	82.74
q3	3.78	3.85	3.87	3.82	3.77	3.65	3.48	3.30	3.12	2.92
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	84.77	88.22	91.04	93.33	95.16	96.59	97.68	98.47	99.03	99.42
q3	2.76	2.54	2.30	2.04	1.78	1.50	1.23	0.95	0.72	0.53
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	99.66	99.82	99.91	99.97	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.34	0.24	0.14	0.10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A3\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:42:42  
 Índice med. : 3290

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 179  
 Diâmetro a 10% : 0.94 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.93 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.56 mu  
 Diâmetro médio : 4.65 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

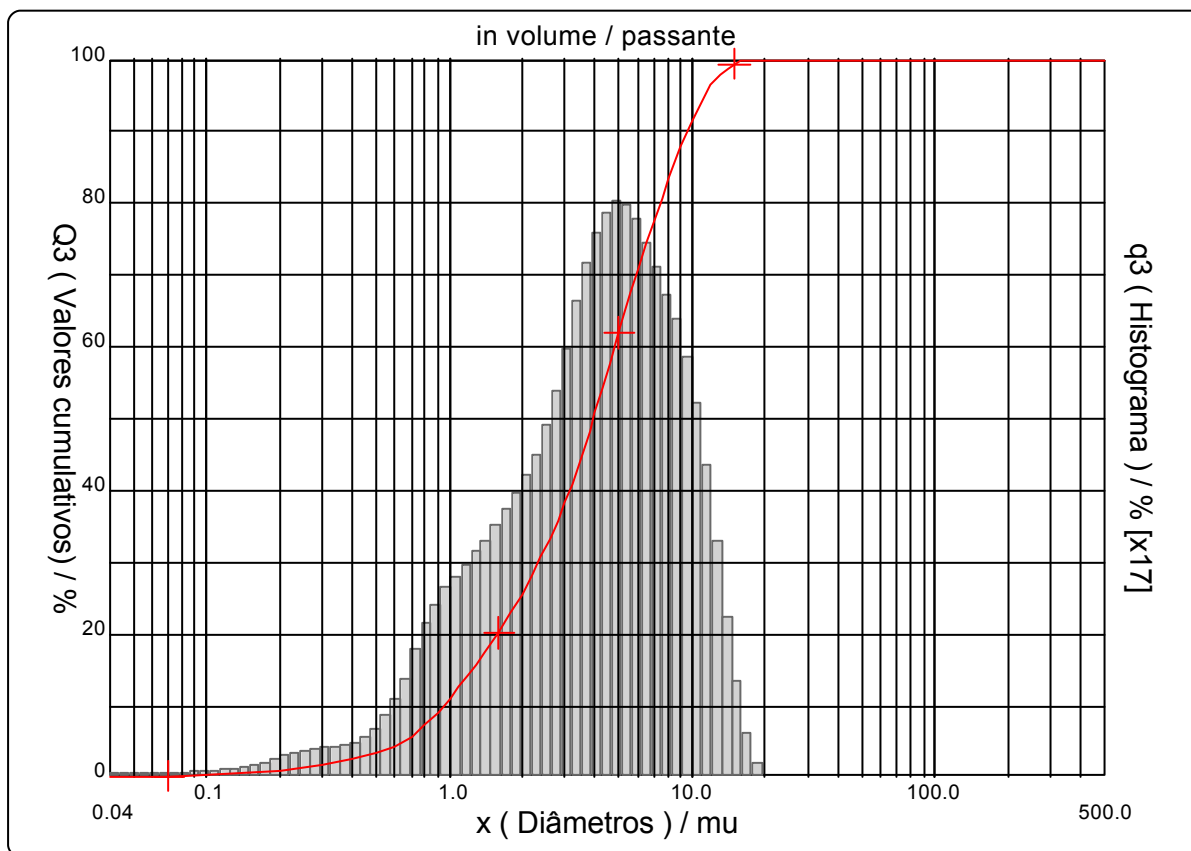
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.08	0.26	0.40	1.49	3.49	6.65	10.97	25.62	38.26	50.85

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	61.86	91.57	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	1.95	3.13	6.58	8.34	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_A3\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:42:42  
 Índice med. : 3290

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 179  
 Diâmetro a 10% : 0.94 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.93 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.56 mu  
 Diâmetro médio : 4.65 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.08	0.26	0.40	1.04	1.94	2.71	3.49	4.52	5.84	7.50
q3	0.02	0.03	0.03	0.07	0.17	0.21	0.27	0.44	0.67	0.98
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	9.24	10.97	12.63	14.24	15.80	17.30	20.20	22.96	25.62	28.18
q3	1.16	1.29	1.37	1.45	1.53	1.59	1.70	1.84	1.98	2.11
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	30.70	33.21	35.73	38.26	40.84	43.40	45.93	48.42	50.85	54.36
q3	2.27	2.46	2.67	2.88	3.14	3.31	3.47	3.61	3.72	3.81
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	57.70	61.86	64.75	67.44	70.75	74.45	77.75	80.70	83.35	85.76
q3	3.88	3.91	3.89	3.83	3.76	3.63	3.49	3.35	3.22	3.12
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	87.92	91.57	94.40	96.48	97.90	98.84	99.43	99.75	99.92	100.00
q3	2.96	2.72	2.33	1.88	1.39	0.99	0.67	0.39	0.22	0.11
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B1\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:51:51  
 Índice med. : 3291

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 172  
 Diâmetro a 10% : 0.96 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.02 mu  
 Diâmetro a 90% : 10.52 mu  
 Diâmetro médio : 4.96 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

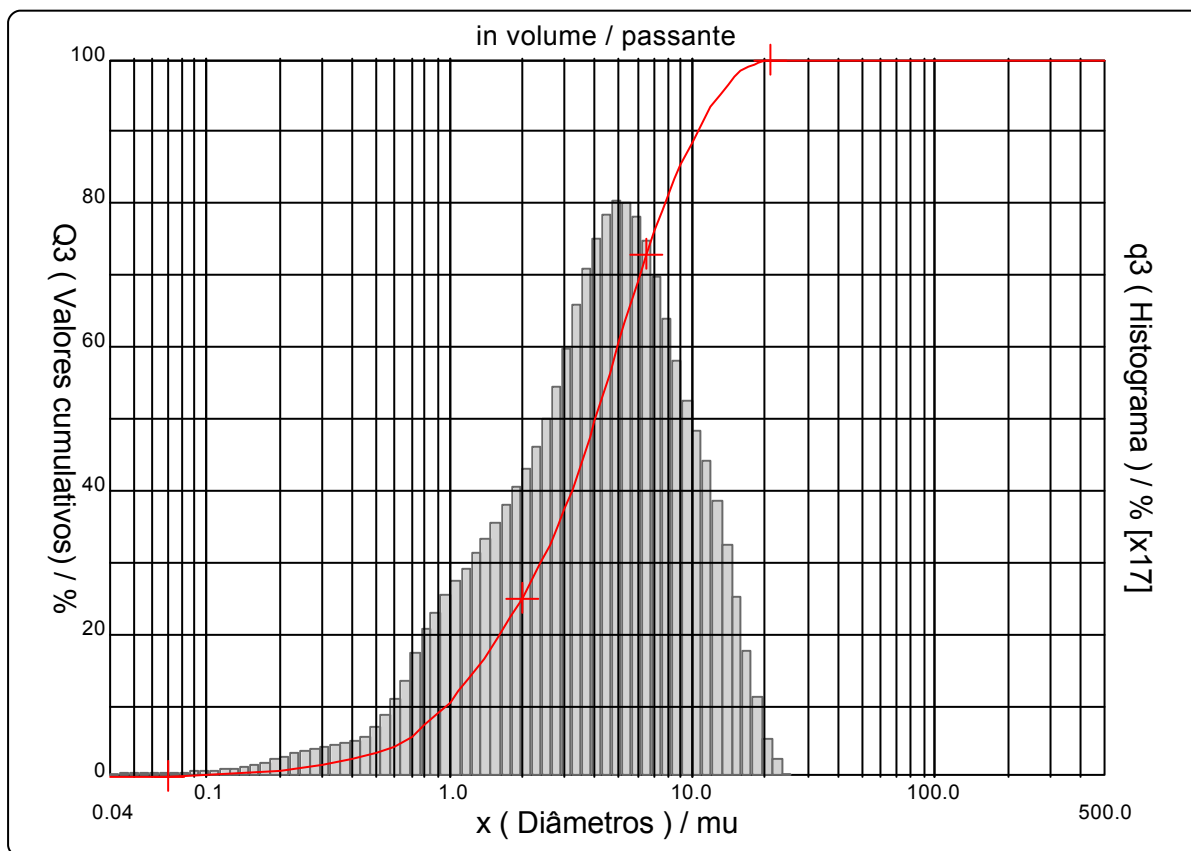
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.07	0.25	0.39	1.47	3.49	6.54	10.61	25.04	37.60	49.78

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	60.53	88.57	99.81	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.00	3.19	6.82	8.91	23.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B1\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:51:51  
 Índice med. : 3291

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 172  
 Diâmetro a 10% : 0.96 mu  
 Diâmetro a 50% : 4.02 mu  
 Diâmetro a 90% : 10.52 mu  
 Diâmetro médio : 4.96 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.07	0.25	0.39	1.03	1.90	2.69	3.49	4.51	5.78	7.34
q3	0.02	0.03	0.03	0.07	0.17	0.21	0.28	0.44	0.64	0.91
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	8.97	10.61	12.20	13.75	15.27	16.75	19.61	22.37	25.04	27.61
q3	1.08	1.21	1.30	1.39	1.48	1.56	1.67	1.83	1.98	2.10
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	30.13	32.63	35.12	37.60	40.10	42.58	45.02	47.43	49.78	53.19
q3	2.26	2.44	2.62	2.80	3.02	3.19	3.33	3.48	3.57	3.68
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	56.45	60.53	63.37	66.03	69.28	72.91	76.09	78.87	81.31	83.45
q3	3.77	3.82	3.80	3.77	3.67	3.54	3.35	3.14	2.95	2.75
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	85.34	88.57	91.25	93.44	95.21	96.61	97.68	98.46	99.02	99.42
q3	2.58	2.39	2.19	1.96	1.73	1.47	1.21	0.94	0.72	0.55
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	99.66	99.81	99.91	99.97	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.35	0.23	0.16	0.10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B1\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:58:42  
 Índice med. : 3292

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 164  
 Diâmetro a 10% : 0.96 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.94 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.81 mu  
 Diâmetro médio : 4.71 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

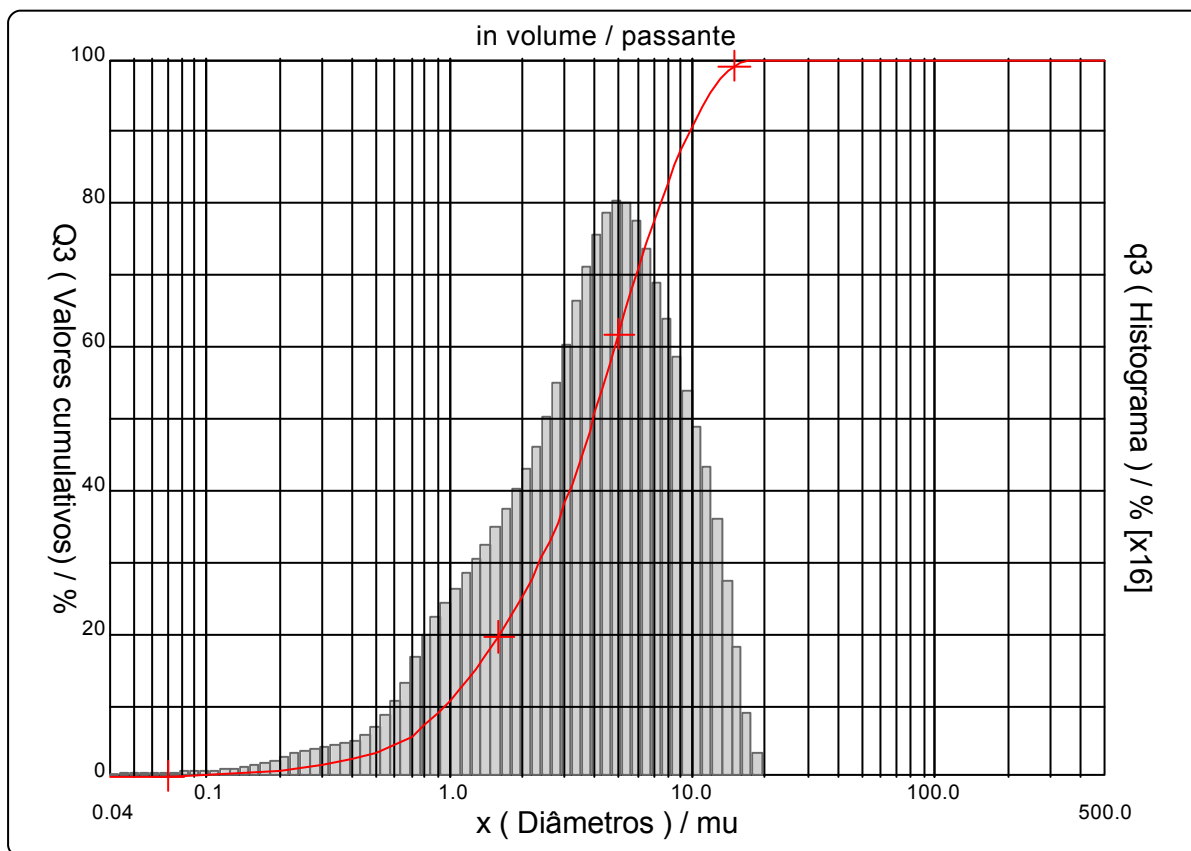
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.07	0.25	0.40	1.48	3.56	6.63	10.65	25.19	38.17	50.77

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	61.83	90.62	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	1.99	3.14	6.58	8.44	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B1\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 03:58:42  
 Índice med. : 3292

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 164  
 Diâmetro a 10% : 0.96 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.94 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.81 mu  
 Diâmetro médio : 4.71 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.07	0.25	0.40	1.04	1.91	2.73	3.56	4.60	5.88	7.42
q3	0.02	0.03	0.03	0.07	0.17	0.22	0.29	0.45	0.65	0.90
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	9.04	10.65	12.23	13.78	15.29	16.77	19.66	22.46	25.19	27.83
q3	1.08	1.20	1.30	1.40	1.48	1.56	1.70	1.86	2.03	2.17
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	30.43	33.02	35.60	38.17	40.76	43.33	45.86	48.34	50.77	54.29
q3	2.34	2.54	2.73	2.92	3.14	3.32	3.47	3.59	3.71	3.81
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	57.64	61.83	64.75	67.46	70.78	74.46	77.69	80.52	83.03	85.25
q3	3.89	3.94	3.93	3.86	3.77	3.60	3.42	3.21	3.05	2.87
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	87.24	90.62	93.37	95.53	97.17	98.34	99.14	99.60	99.86	100.00
q3	2.73	2.51	2.26	1.95	1.61	1.24	0.91	0.56	0.34	0.19
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B1\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 04:06:06  
 Índice med. : 3293

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 172  
 Diâmetro a 10% : 0.95 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.90 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.75 mu  
 Diâmetro médio : 4.68 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

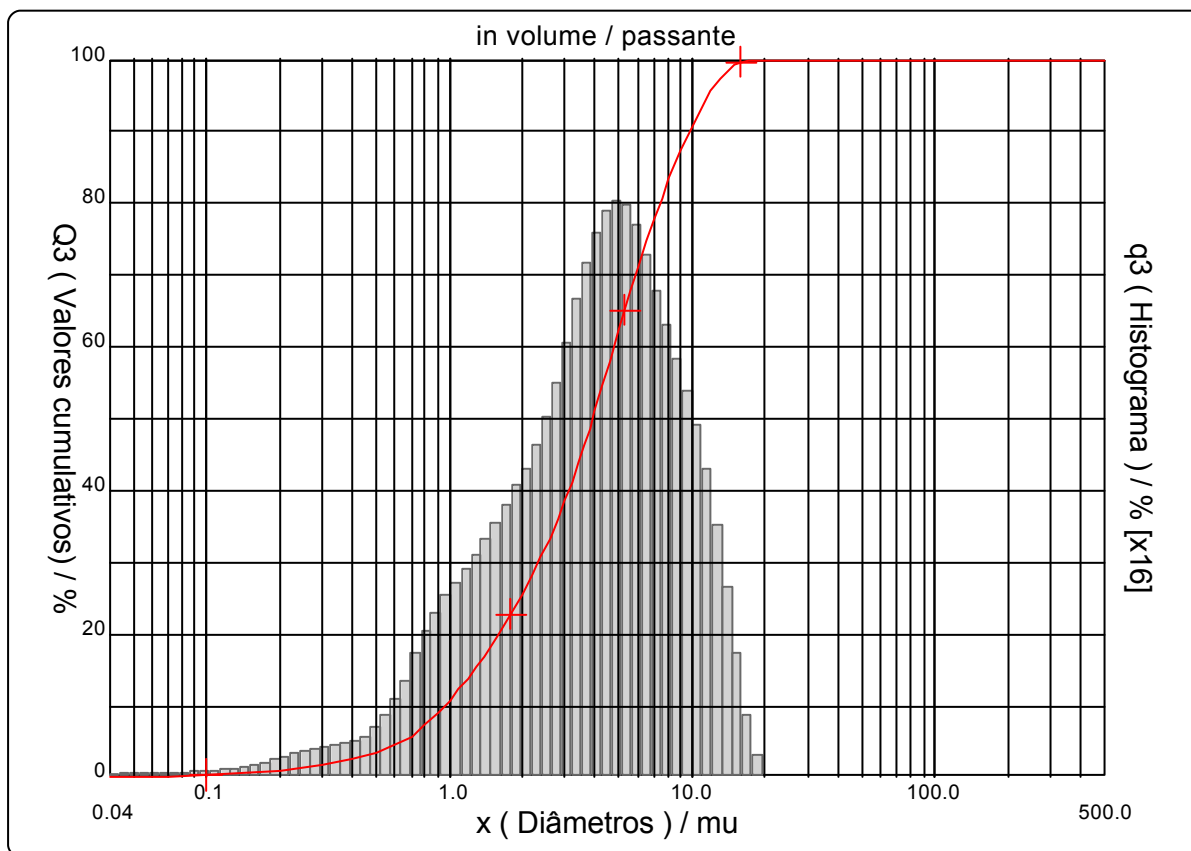
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.07	0.25	0.39	1.48	3.54	6.66	10.81	25.56	38.55	51.21

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	62.28	90.83	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	1.96	3.11	6.53	8.39	18.00





Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B1\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 04:06:06  
 Índice med. : 3293

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 172  
 Diâmetro a 10% : 0.95 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.90 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.75 mu  
 Diâmetro médio : 4.68 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.07	0.25	0.39	1.04	1.92	2.72	3.54	4.59	5.89	7.48
q3	0.02	0.03	0.03	0.07	0.17	0.22	0.29	0.45	0.66	0.93
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	9.14	10.81	12.43	14.01	15.55	17.06	19.99	22.82	25.56	28.20
q3	1.11	1.24	1.33	1.42	1.51	1.60	1.72	1.88	2.04	2.17
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	30.81	33.39	35.97	38.55	41.16	43.74	46.28	48.77	51.21	54.74
q3	2.35	2.53	2.73	2.93	3.17	3.34	3.49	3.61	3.73	3.83
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	58.10	62.28	65.19	67.88	71.17	74.80	77.97	80.77	83.25	85.46
q3	3.91	3.93	3.92	3.83	3.74	3.56	3.36	3.18	3.01	2.86
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	87.44	90.83	93.57	95.70	97.30	98.43	99.19	99.63	99.87	100.00
q3	2.72	2.52	2.26	1.92	1.57	1.20	0.86	0.53	0.31	0.18
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B2\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 04:13:01  
 Índice med. : 3294

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 201  
 Diâmetro a 10% : 0.95 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.95 mu  
 Diâmetro a 90% : 10.15 mu  
 Diâmetro médio : 4.82 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

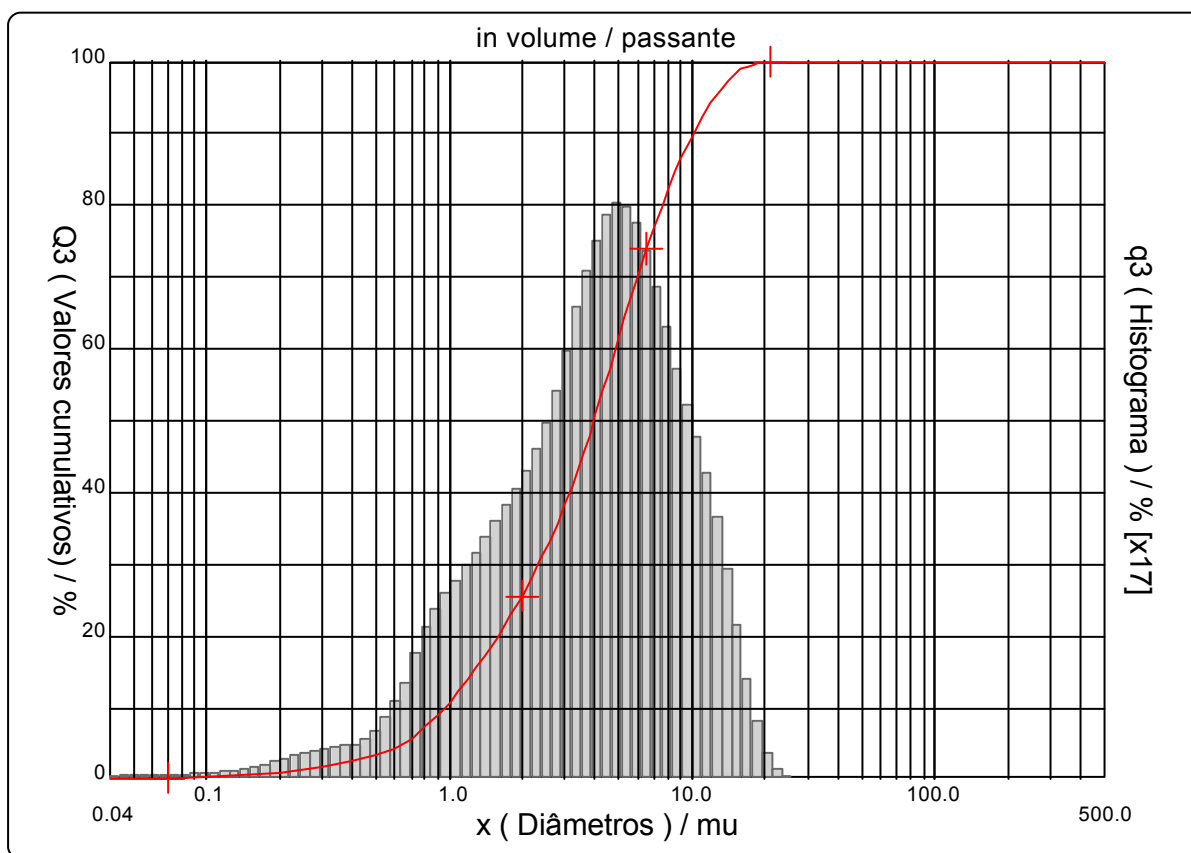
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.07	0.25	0.39	1.47	3.48	6.60	10.83	25.59	38.27	50.62

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	61.52	89.59	99.89	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	1.95	3.14	6.66	8.64	23.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B2\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 04:13:01  
 Índice med. : 3294

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 201  
 Diâmetro a 10% : 0.95 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.95 mu  
 Diâmetro a 90% : 10.15 mu  
 Diâmetro médio : 4.82 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.07	0.25	0.39	1.03	1.91	2.70	3.48	4.51	5.81	7.43
q3	0.02	0.03	0.03	0.07	0.17	0.21	0.27	0.44	0.66	0.95
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	9.13	10.83	12.47	14.08	15.64	17.16	20.09	22.89	25.59	28.19
q3	1.13	1.26	1.35	1.45	1.52	1.60	1.72	1.86	2.00	2.13
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	30.73	33.25	35.76	38.27	40.80	43.32	45.80	48.24	50.62	54.09
q3	2.28	2.46	2.65	2.85	3.07	3.25	3.39	3.53	3.63	3.75
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	57.39	61.52	64.39	67.06	70.33	73.95	77.11	79.88	82.31	84.45
q3	3.83	3.88	3.85	3.79	3.71	3.54	3.34	3.14	2.95	2.76
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	86.35	89.59	92.24	94.37	96.04	97.31	98.24	98.88	99.33	99.62
q3	2.60	2.41	2.18	1.92	1.63	1.34	1.05	0.78	0.58	0.40
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	99.79	99.89	99.95	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.25	0.15	0.10	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Ref da amostra : VI\_B2\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 04:20:24  
 Índice med. : 3295

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 165  
 Diâmetro a 10% : 0.93 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.83 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.56 mu  
 Diâmetro médio : 4.59 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

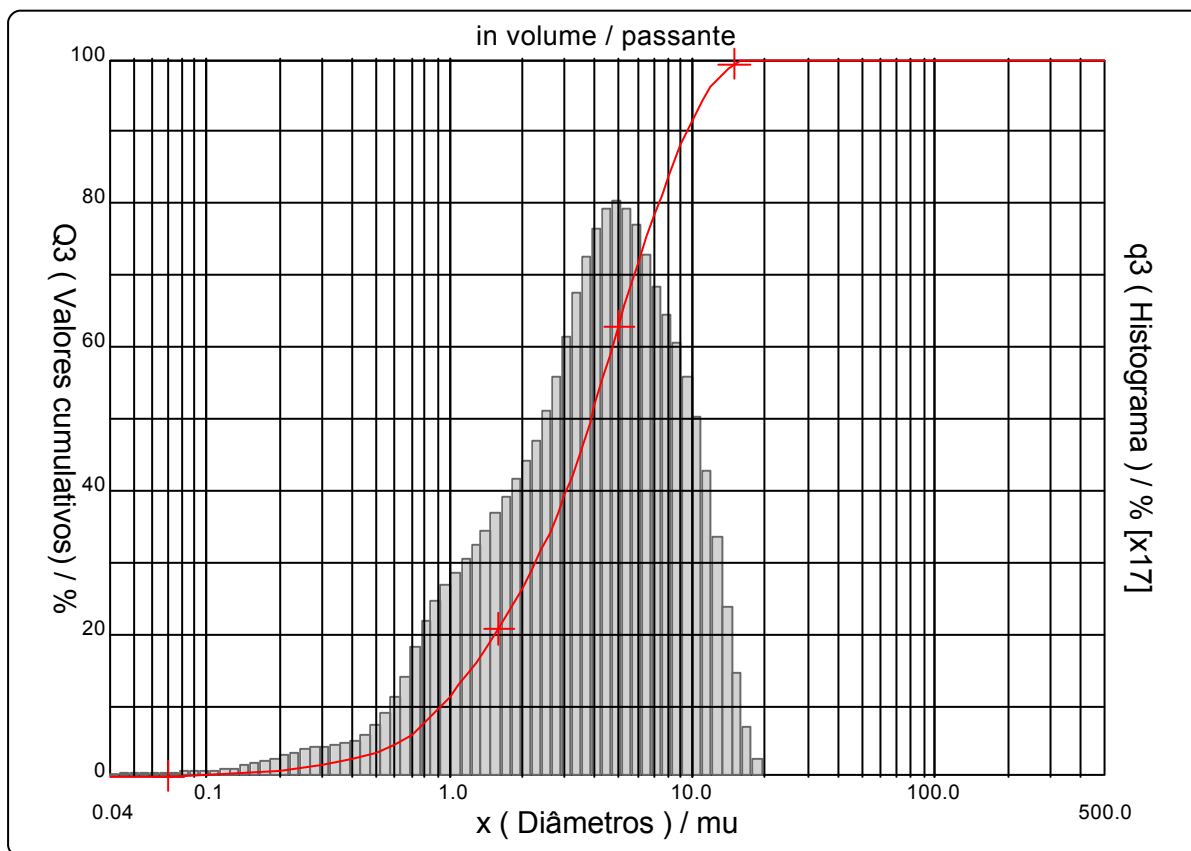
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.07	0.26	0.41	1.54	3.65	6.88	11.24	26.35	39.36	51.99

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	62.93	91.49	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	1.90	3.05	6.46	8.28	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B2\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 04:20:24  
 Índice med. : 3295

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 165  
 Diâmetro a 10% : 0.93 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.83 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.56 mu  
 Diâmetro médio : 4.59 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.07	0.26	0.41	1.08	2.00	2.82	3.65	4.72	6.07	7.74
q3	0.02	0.03	0.03	0.08	0.18	0.22	0.29	0.46	0.69	0.98
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	9.49	11.24	12.93	14.57	16.17	17.72	20.72	23.59	26.35	29.01
q3	1.17	1.31	1.40	1.48	1.57	1.65	1.77	1.92	2.06	2.20
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	31.61	34.20	36.78	39.36	41.96	44.54	47.08	49.57	51.99	55.49
q3	2.35	2.55	2.74	2.94	3.17	3.35	3.50	3.63	3.71	3.81
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	58.81	62.93	65.78	68.43	71.67	75.26	78.41	81.22	83.73	86.00
q3	3.88	3.89	3.85	3.79	3.70	3.53	3.35	3.21	3.06	2.95
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	88.03	91.49	94.21	96.27	97.73	98.72	99.35	99.71	99.90	100.00
q3	2.80	2.59	2.25	1.86	1.44	1.05	0.72	0.44	0.25	0.14
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Ref da amostra : VI\_B2\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 04:27:11  
 Índice med. : 3296

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 160  
 Diâmetro a 10% : 0.93 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.91 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.85 mu  
 Diâmetro médio : 4.70 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

### Valores cumulativos particulares

### in volume / passante

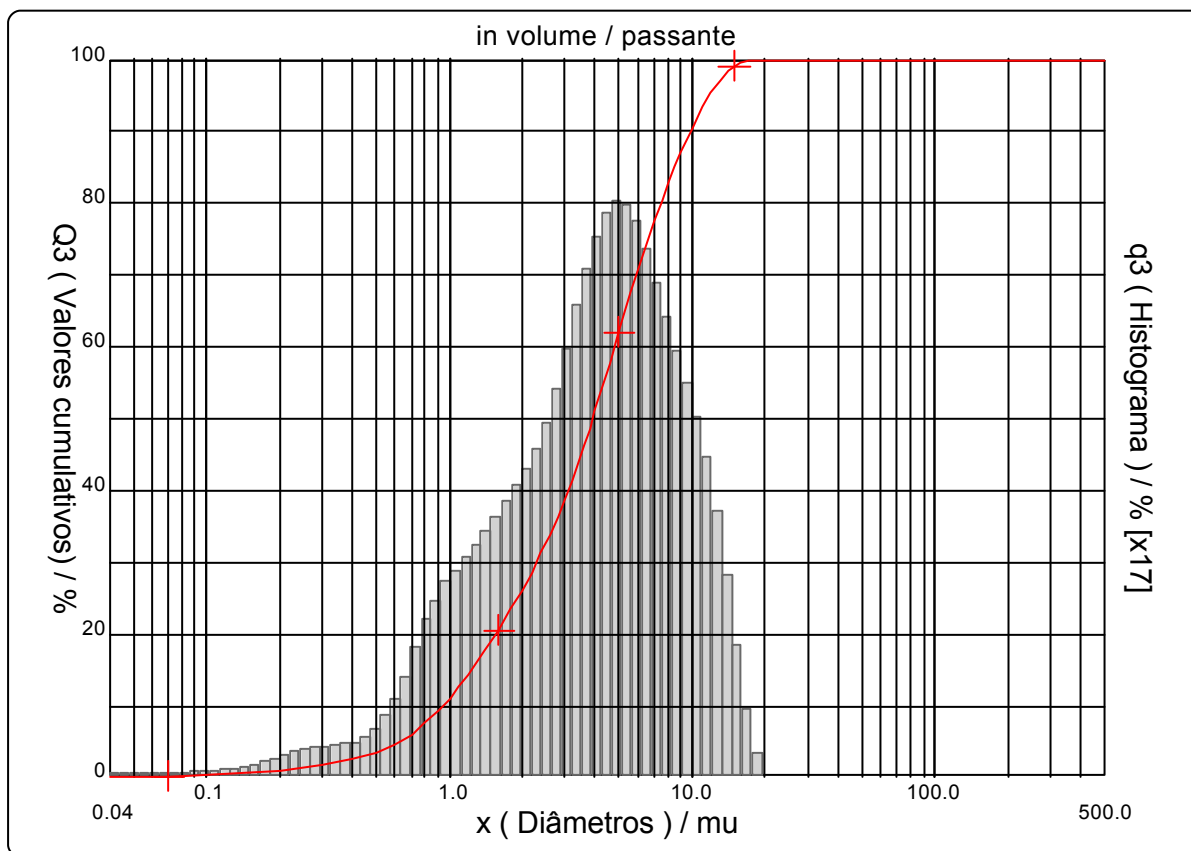
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.08	0.27	0.41	1.53	3.55	6.74	11.13	26.13	38.75	51.09

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	61.97	90.48	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

### Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	1.91	3.10	6.59	8.49	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B2\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : HMFNa + Na2CO3  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 04:27:11  
 Índice med. : 3296

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 160  
 Diâmetro a 10% : 0.93 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.91 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.85 mu  
 Diâmetro médio : 4.70 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.08	0.27	0.41	1.06	1.98	2.77	3.55	4.59	5.93	7.60
q3	0.02	0.03	0.03	0.07	0.18	0.22	0.27	0.45	0.68	0.98
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	9.36	11.13	12.83	14.48	16.08	17.63	20.60	23.43	26.13	28.72
q3	1.18	1.32	1.40	1.49	1.57	1.65	1.75	1.89	2.02	2.14
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	31.25	33.75	36.25	38.75	41.28	43.79	46.27	48.70	51.09	54.55
q3	2.29	2.46	2.65	2.85	3.08	3.26	3.41	3.54	3.67	3.76
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	57.85	61.97	64.83	67.50	70.76	74.38	77.55	80.35	82.84	85.06
q3	3.85	3.89	3.86	3.82	3.72	3.56	3.37	3.19	3.04	2.88
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	87.06	90.48	93.26	95.46	97.12	98.32	99.12	99.59	99.86	100.00
q3	2.75	2.55	2.29	1.99	1.63	1.27	0.91	0.57	0.35	0.19
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B3\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : Nenhum  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 00:16:09  
 Índice med. : 3297

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 168  
 Diâmetro a 10% : 0.85 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.51 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.15 mu  
 Diâmetro médio : 4.31 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

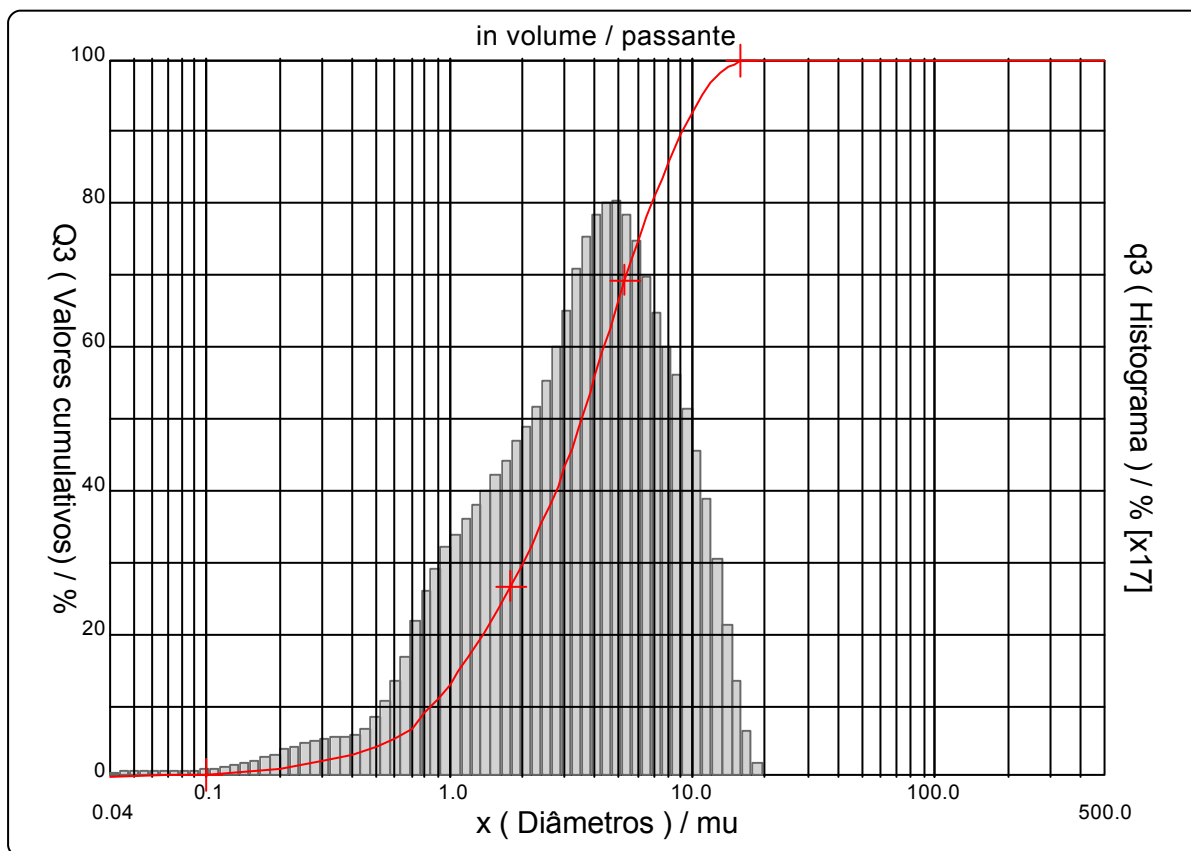
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.10	0.33	0.51	1.86	4.27	7.97	12.98	29.74	43.29	55.93

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	66.53	92.57	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	1.68	2.75	6.04	7.84	18.00





Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B3\_3,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : Nenhum  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 00:16:09  
 Índice med. : 3297

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 168  
 Diâmetro a 10% : 0.85 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.51 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.15 mu  
 Diâmetro médio : 4.31 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.10	0.33	0.51	1.31	2.39	3.34	4.27	5.49	7.04	8.96
q3	0.03	0.03	0.04	0.09	0.21	0.26	0.33	0.54	0.80	1.15
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	10.97	12.98	14.91	16.77	18.57	20.31	23.63	26.76	29.74	32.56
q3	1.37	1.53	1.62	1.71	1.80	1.88	1.99	2.13	2.26	2.37
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	35.30	37.99	40.65	43.29	45.93	48.53	51.07	53.54	55.93	59.36
q3	2.52	2.69	2.87	3.06	3.27	3.43	3.55	3.65	3.73	3.79
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	62.57	66.53	69.24	71.73	74.75	78.05	80.93	83.46	85.70	87.72
q3	3.81	3.80	3.72	3.62	3.50	3.30	3.11	2.93	2.78	2.67
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	89.53	92.57	94.96	96.75	98.02	98.88	99.44	99.75	99.92	100.00
q3	2.53	2.31	2.01	1.65	1.27	0.93	0.65	0.38	0.22	0.11
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B3\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : Nenhum  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 00:30:13  
 Índice med. : 3298

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 168  
 Diâmetro a 10% : 0.82 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.42 mu  
 Diâmetro a 90% : 8.93 mu  
 Diâmetro médio : 4.21 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

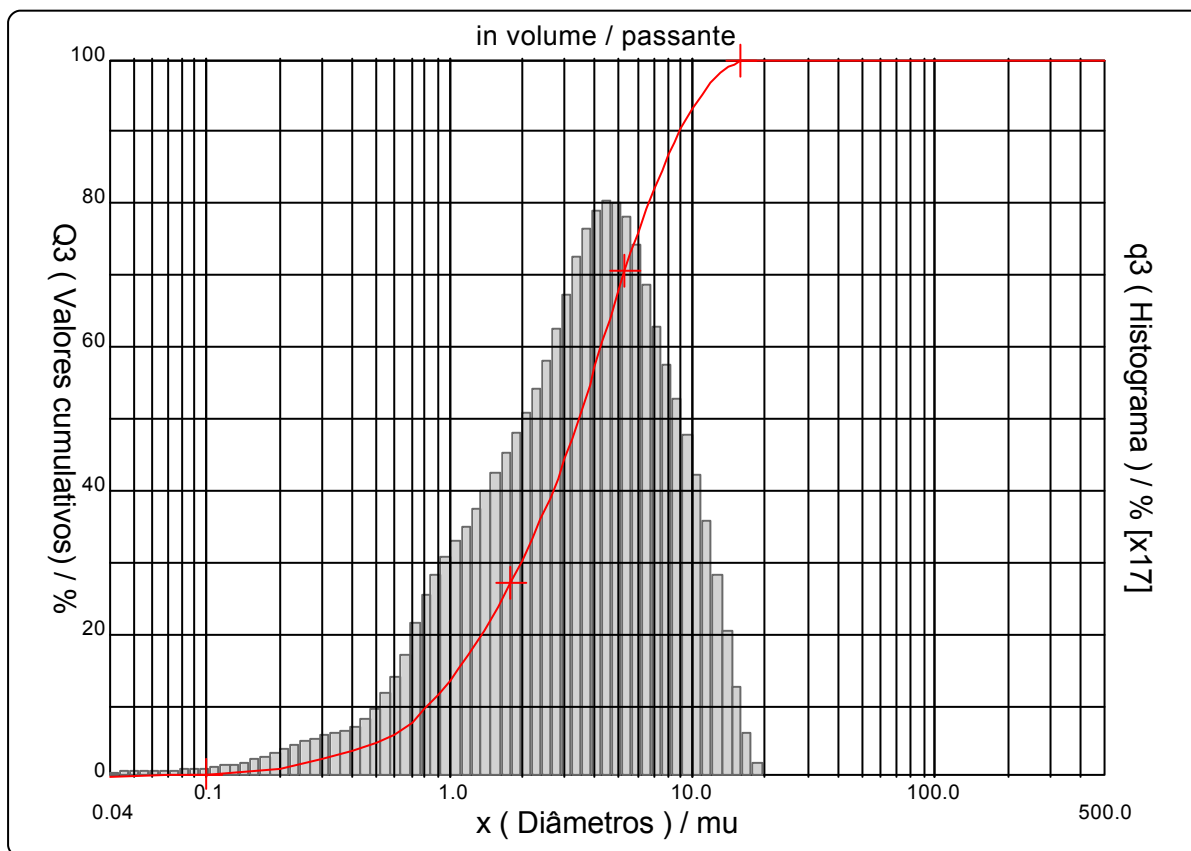
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.10	0.36	0.58	2.04	4.78	8.61	13.44	30.24	44.42	57.27

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	67.87	93.05	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	1.66	2.68	5.86	7.61	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B3\_3,5  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : Nenhum  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 00:30:13  
 Índice med. : 3298

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 168  
 Diâmetro a 10% : 0.82 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.42 mu  
 Diâmetro a 90% : 8.93 mu  
 Diâmetro médio : 4.21 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.10	0.36	0.58	1.47	2.62	3.69	4.78	6.11	7.69	9.57
q3	0.03	0.04	0.05	0.10	0.23	0.30	0.39	0.59	0.82	1.13
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	11.51	13.44	15.31	17.12	18.89	20.62	23.96	27.16	30.24	33.20
q3	1.32	1.47	1.58	1.67	1.78	1.88	2.01	2.18	2.35	2.50
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	36.09	38.91	41.69	44.42	47.13	49.78	52.36	54.86	57.27	60.70
q3	2.67	2.83	3.01	3.18	3.37	3.51	3.63	3.72	3.78	3.81
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	63.92	67.87	70.57	73.05	76.04	79.28	82.08	84.52	86.65	88.55
q3	3.84	3.81	3.72	3.62	3.48	3.25	3.04	2.84	2.65	2.52
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	90.23	93.05	95.25	96.91	98.10	98.92	99.45	99.75	99.92	100.00
q3	2.36	2.15	1.85	1.53	1.19	0.89	0.62	0.37	0.23	0.11
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B3\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : Nenhum  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 00:37:04  
 Índice med. : 3299

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 185  
 Diâmetro a 10% : 0.83 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.44 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.04 mu  
 Diâmetro médio : 4.24 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

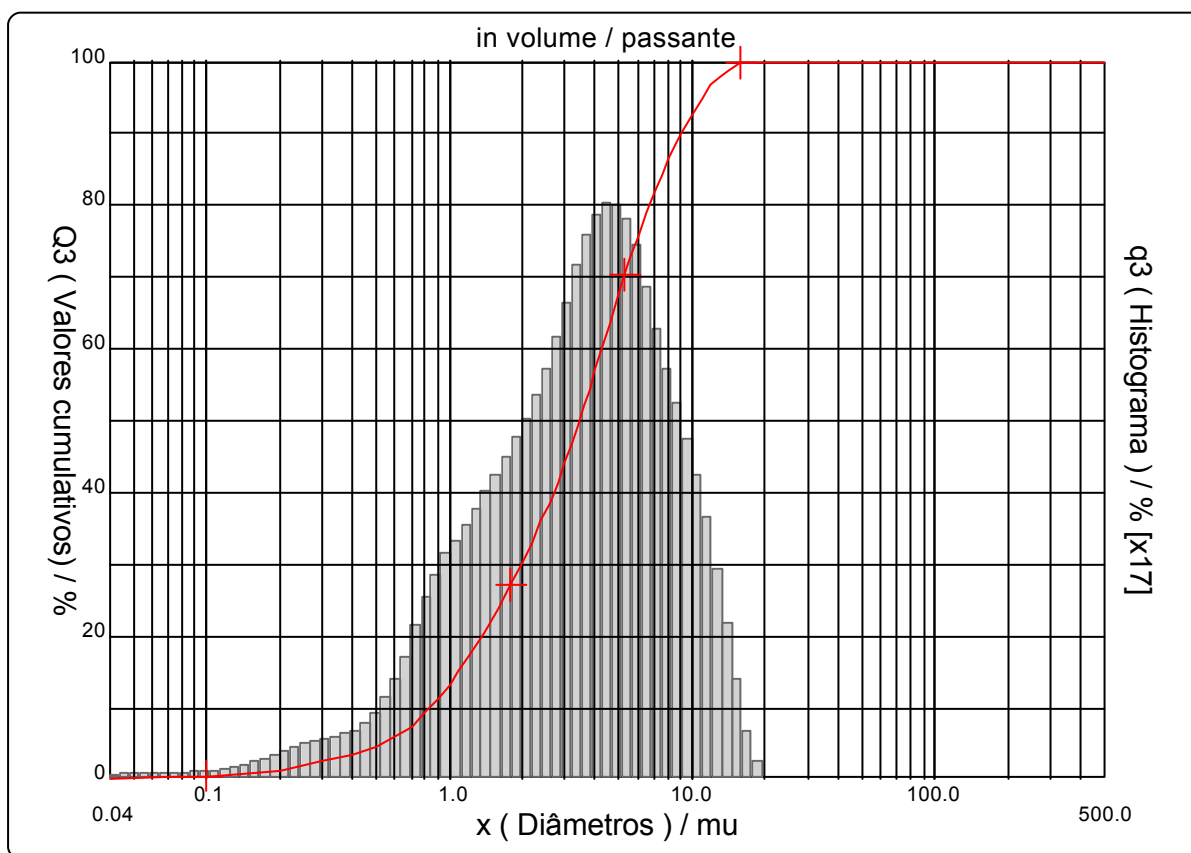
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.10	0.36	0.56	2.00	4.66	8.46	13.37	30.21	44.20	56.95

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	67.55	92.71	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	1.66	2.69	5.90	7.68	18.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : VI\_B3\_4,0  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Calibrado  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : Nenhum  
 Operador : Juliana  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 02/12/2003 Hora : 00:37:04  
 Índice med. : 3299

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 185  
 Diâmetro a 10% : 0.83 mu  
 Diâmetro a 50% : 3.44 mu  
 Diâmetro a 90% : 9.04 mu  
 Diâmetro médio : 4.24 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.10	0.36	0.56	1.43	2.57	3.61	4.66	5.96	7.54	9.43
q3	0.03	0.04	0.05	0.10	0.23	0.29	0.38	0.57	0.82	1.14
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	11.40	13.37	15.26	17.10	18.88	20.62	23.96	27.15	30.21	33.13
q3	1.34	1.50	1.59	1.70	1.79	1.89	2.01	2.17	2.33	2.46
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	35.98	38.76	41.50	44.20	46.88	49.50	52.06	54.55	56.95	60.38
q3	2.63	2.79	2.97	3.14	3.33	3.47	3.60	3.70	3.76	3.81
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	63.60	67.55	70.25	72.74	75.74	78.98	81.78	84.21	86.33	88.22
q3	3.83	3.80	3.72	3.63	3.49	3.25	3.03	2.83	2.64	2.50
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	89.89	92.71	94.94	96.65	97.91	98.80	99.38	99.72	99.90	100.00
q3	2.35	2.15	1.88	1.58	1.26	0.96	0.68	0.42	0.24	0.14
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %