

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

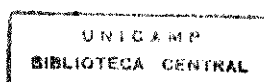
Escoamento Bifásico (sólido-líquido) em Condutos Inclinados

Sob Pressão

Victor Emanuel Mello de Guimarães Diniz

Campinas

1998



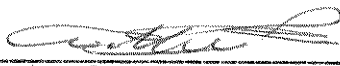
Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil

Escoamento Bifásico (sólido-líquido) em Condutos Inclinados
Sob Pressão

Victor Emanuel M G Diniz

Orientador: Evaldo Miranda Coiado

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos.

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação/tese.	
	<u>1.º/2/99</u>
Prof. Dr.	
Matrícula:	<u>051801</u>

Campinas, SP
1998

cm 0766

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
V.	Ex.
TOMBO BC/	37689
PROC.	229189
C	☐
D	☒
PREÇO R\$	11,00
DATA	07/05/99
N.º CPD	

CM-00122969-7

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

D615e Diniz, Victor Emanuel M. G.
Escoamento bifásico (sólido-líquido) em codutos
inclinados sob pressão. / Victor Emanuel M. G. Diniz.--
Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Orientador: Evaldo Miranda Coiado
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

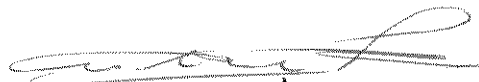
1. Escoamento bifásico. 2. Tubulações. 3. Pressão.
I. Coiado, Evaldo Miranda. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil

Escoamento Bifásico (sólido-líquido) em Condutos Inclinados
Sob Pressão

Victor Emanuel M G Diniz

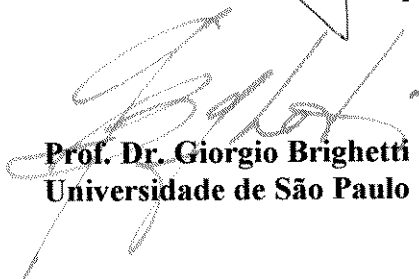
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Evaldo Miranda Coiado
Presidente e Orientador/ Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Edevar Luvizotto Júnior
Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Giorgio Brighetti
Universidade de São Paulo

Campinas, 15 de dezembro de 1998

A meu pai Vitor José e a meu irmão Thiago
dedico

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Evaldo Miranda Coiado pela orientação, conhecimento e experiência transmitida ao longo deste período de convivência.

Aos professores da FEC-UNICAMP pela ajuda e pelos conhecimentos transmitidos.

À FAPESP pelo concedimento da bolsa de estudos e do plano de saúde.

À FAPESP pelo financiamento da bancada experimental, para que a pesquisa pudesse ser desenvolvida.

Aos técnicos Tiago, Carlos e Marcelo pela participação na montagem da bancada experimental.

Aos colegas da FEC pela amizade e ajuda.

SUMÁRIO

	Página
Dedicatória -----	i
Agradecimentos -----	ii
Sumário -----	iii
Lista de Símbolos -----	v
Lista de Figuras -----	vii
Lista de Tabelas -----	xi
Resumo -----	xii
1 - Introdução -----	1
2 – Revisão Bibliográfica -----	4
2.1 - Perda de Carga em Condutos Horizontais. Mistura em Suspensão Homogênea -----	8
2.2 - Perda de Carga em Condutos Horizontais. Mistura em Suspensão Heterogênea sem Leito Estacionário -----	9
2.3 - Critérios de Distinção entre os Escoamentos em Suspensão Homogênea e Heterogênea -----	13
2.4 - Perda de Carga em Condutos Horizontais. Mistura em Suspensão Heterogênea com Leito Estacionário -----	14
2.5 - Perda de Carga em Condutos Verticais -----	17
2.6 - Perda de Carga em Condutos Inclinados -----	18
2.6.1 – Ângulo de Inclinação da Tubulação -----	20
2.6.2 – Ângulo de Repouso do Material -----	23
3 - Materiais e Métodos -----	25
3.1 - Reservatório Principal -----	25
3.2 - Sistema de Medidas Gravimétricas -----	26
3.3 - Tanque de Descarga -----	26
3.4 - Bomba Principal -----	26
3.5 - Bomba Misturadora 1 -----	27
3.6 - Bomba Misturadora 2 -----	27
3.7 - Bomba Misturadora 3 -----	28

3.8 - Canalização de Sucção -----	28
3.9 - Canalização de Recalque -----	28
3.10 - Desviador Rotacional de Fluxo -----	31
3.11 - Medidas -----	31
3.11.1 - Medições da Vazão e da Concentração Média do Sólido da Mistura -----	31
3.11.2 - Medidor Eletromagnético de Vazão Microprocessado -----	32
3.11.3 - Volumes da Mistura e da Água Limpa no Tanque Volumétrico -----	32
3.11.4 - Perdas de Carga -----	33
3.12 - Metodologia de Cálculos -----	35
3.12.1 - Cálculo da Vazão -----	35
3.12.2 - Cálculo da Concentração Média do Sólido na Mistura -----	36
3.13 - Preparação do Sólido e da Mistura Água-Sólido -----	36
3.13.1 - Preparação do Sólido -----	36
3.13.2 - Preparação da Mistura de Água e Areia -----	36
3.14 - Aquisição de Dados -----	36
4 - Resultados e Análises -----	38
4.1 - Apresentação dos Dados -----	38
4.2 - Análises -----	42
5 - Conclusões -----	76
6 - Recomendações -----	78
7 - Referências Bibliográficas -----	79
Apêndices -----	82

LISTA DE SÍMBOLOS

- A' = seção útil do conduto (m^2)
 C = concentração em volume da mistura (%)
 cd = coeficiente de arrasto da partícula
 D = diâmetro do conduto (m)
 d_L = densidade da fase líquida
 dr = densidade relativa do sólido
 ds = tamanho das partículas (m)
 drm = densidade relativa da mistura
 f = fator de atrito de Darcy-Weissbach referente à fase líquida da mistura
 f'' = resistência devido à deformação do leito
 fm = fator de atrito da mistura, obtido do diagrama de Moody, substituindo a viscosidade da água pela da mistura, no cálculo do número de Reynolds
 g = aceleração da gravidade (m/s^2)
 H = altura média das montanhas (m)
 Ja = perda de carga para escoamento ascendente da mistura (m/m)
 Jd = perda de carga para escoamento descendente da mistura (m/m)
 Jh = perda de carga para escoamento horizontal da mistura (m/m)
 JL = perda de carga unitária da fase líquida (m/m)
 Jm = perda de carga unitária da mistura (m/m)
 Js = perda de carga unitária da fase sólida (m/m)
 K_D = constante de Durand
 N = número de montanhas.
 ΔP_{TP} = perda de carga da mistura calculada para tubulações horizontais (m)
 ΔP_{TPH} = perda de carga da mistura corrigida para o terreno montanhoso (m)
 Q = vazão em (m^3/s)
 r = relação média entre o maior e o menor diâmetros

- Rh' = raio hidráulico correspondente à seção útil (A') do conduto contendo o leito estacionário (m)
- t = tempo em que o fluxo ficou desviado para o tanque volumétrico (s)
- V = velocidade média do escoamento (m/s)
- v_g = velocidade superficial do gás através das tubulações (m/s)
- V_n = velocidade de transição entre os escoamentos em suspensão homogênea e heterogênea (m/s)
- $Vol.$ = volume da água limpa ou da mistura depositada no tanque volumétrico (m^3)
- v_s = velocidade de sedimentação (m/s)
- v_{se} = velocidade de sedimentação da esfera (m/s)
- ρ_s = massa específica das partículas de sedimento (kg/m^3)
- ρ_L = massa específica do líquido (kg/m^3)
- ψ = parâmetro adimensional de Durand
- α = ângulo de inclinação do conduto (radianos)
- θ = ângulo de repouso do material (graus)
- ϕ = parâmetro adimensional de transporte de sedimento

LISTA DE FIGURAS

página

Figura 1 – Curvas de perda de carga para escoamentos de água limpa e de mistura de concentração constante. [por Graf & Acaroglu modificada por Coiado (1985)] -----	7
Figura 2 – Corte transversal do conduto mostrando seção útil -----	15
Figura 3 – Esquema das seções de medida das perdas de carga -----	33
Figura 4 – Esquema das tomadas de pressão das seções -----	33
Figura 5 – Esquema da ligação das mangueiras aos transdutores -----	35
Figura 6 - Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento ascendente e concentração (5%) -----	50
Figura 7 – Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento ascendente e concentração (10%) -----	50
Figura 8 – Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento ascendente e concentração (15%) -----	51
Figura 9 – Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento descendente e concentração (5%) -----	51
Figura 10 – Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento descendente e concentração (10%) -----	52
Figura 11 – Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento descendente e concentração (15%) -----	52
Figura 12 – Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento horizontal e concentração (5%) -----	53
Figura 13 - Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento horizontal e concentração (10%) -----	53
Figura 14 – Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento horizontal e concentração (15%) -----	54
Figura 15 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(5%) -----	56
Figura 16 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(10%) -----	57

Figura 17 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(15%) -----	57
Figura 18 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento descendente e concentração(5%) -----	58
Figura 19 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento descendente e concentração (10%) -----	58
Figura 20 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento descendente e concentração(15%) -----	59
Figura 21 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento horizontal e todas concentrações -----	59
Figura 22 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(5%) -----	60
Figura 23 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(10%) -----	60
Figura 24 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(15%) -----	61
Figura 25 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento descendente e concentração(5%) -----	61
Figura 26 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento descendente e concentração(10%) -----	62
Figura 27 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento descendente e concentração(15%) -----	62
Figura 28 - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento horizontal e todas concentrações -----	63
Figura 29 - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade - escoamento ascendente e concentração(5%) -----	64
Figura 30 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento ascendente e concentração(6%) -----	64
Figura 31 - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento ascendente e concentração(7%) -----	65

Figura 32 - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento ascendente e concentração(8%) -----	65
Figura 33 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento ascendente e concentração(9%) -----	66
Figura 34 - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento ascendente e concentração(10%) -----	66
Figura 35 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento ascendente e concentração(11%) -----	67
Figura36 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento ascendente e concentração(12%) -----	67
Figura 37 - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento ascendente e concentração(13%) -----	68
Figura 38 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento ascendente e concentração(14%) -----	68
Figura 39 - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento ascendente e concentração(15%) -----	69
Figura 40 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento descendente e concentração(5%) -----	69
Figura 41 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento descendete e concentração(6%) -----	70
Figura 42 - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento descendente e concentração(7%) -----	70
Figura 43 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento descendente e concentração(8%) -----	71
Figura 44 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento descendente e concentração(9%) -----	71
Figura 45 - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento descendente e concentração(10%) -----	72
Figura 46 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento descendente e concentração(11%) -----	72

Figura 47 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento descendente e concentração(12%) -----	73
Figura 48 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento descendente e concentração(13%) -----	73
Figura 49 - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento descendente e concentração(14%) -----	74
Figura 50 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento descendente e concentração(15%) -----	74
Figura 51 - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento horizontal e concentrações (5%,7%,9%,11%,13% e 15%) -----	75
Figura 52 – Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade- escoamento horizontal e concentrações (6%,8%,10%,12% e 14%) -----	75

LISTA DE TABELAS

	página
Tabela 1 – ângulos de repouso para vários materiais -----	24
Tabela 2 – Diferenças Relativas (%) entre a Equação de Graf e a Equação Desenvolvida para velocidades variando de 1m/s a 5 m/s -----	55
Tabela 3 – Diferenças Relativas (%) entre a Equação de Worster & Denny e a Equação Desenvolvida para velocidades variando de 1m/s a 5 m/s -----	56

RESUMO

Na literatura existem muitas comprovações experimentais sobre as perdas de carga provocadas por escoamentos bifásicos (sólido-líquido) em encanamentos horizontais e um número muito reduzido de pesquisas em encanamentos inclinados, assim, investigou-se o comportamento das perdas de carga em trechos inclinados de sentido ascendente e descendente, variando a velocidade de escoamento, a concentração do sólido na mistura e a inclinação dos trechos, comparando-se as perdas verificadas nos trechos inclinados com as calculadas através de equações existentes na literatura.

Para isto, uma bancada de ensaios foi montada para permitir variar, com flexibilidade, a velocidade média do escoamento, a concentração e o ângulo de inclinação da tubulação.

Concluiu-se que as perdas de carga unitárias para o trecho descendente são sempre menores que as perdas para o trecho horizontal que por sua vez são sempre menores que as perdas para o trecho ascendente, independente do ângulo de inclinação e das concentrações.

Concluiu-se ainda que as perdas de carga, devido ao escoamento de misturas sólido-líquidas, nos trechos de fluxo ascendente e descendente afastam-se significativamente daquelas calculadas com as equações propostas por outros autores.

SUMMARY

There are many experimental confirmations about head losses caused by two-phase (solid-liquid) flows in horizontal pipes and little research in inclined pipes in the books, therefore, this survey intended to research the head losses' behavior in upward and downward flows in inclined pipes varying the flow velocity, the solid concentration in the slurry and the pipe inclination. It was made comparisons to the head losses verified in inclined pipes to those calculated by the equations existing in books.

A pipe loop system was built to easily vary the flow velocity, the slurry concentration and the pipe inclination.

It was concluded that the head losses in the flow downward sloping pipe are always lower than the head losses in the horizontal flow and these are always lower than the head losses in the flow upward sloping pipe, not mattering the concentration and slope inclination.

It was also concluded that the head losses of the solid-liquid slurry flow upward and downward sloping pipe are very distant from those calculated with the equations proposed by others authors.

1 - INTRODUÇÃO

Tem-se notícia da utilização de condutos como meio de transportes sólidos desde 1913, devido à necessidade de se reduzir o custo de transporte de matérias primas da fonte ao mercado consumidor. Os depósitos de matérias primas mais próximos são, naturalmente, os primeiros a serem explorados através dos transportes rodoviários, ferroviários e hidroviários. Os depósitos mais distantes são desprezados ou considerados economicamente inviáveis. Com a escassez das fontes mais próximas, é então, necessário o desenvolvimento de meios de transporte mais econômicos, tal como, o transporte de sólidos através de condutos.

Até 1950, o projeto de uma instalação de transporte de misturas sólido-líquidas era baseada em experiências puramente práticas ou na correlação com dados publicados não merecedores de confiança. Assim, não se levava em conta um número de fatores, os quais, pesquisadores subsequentes mostraram ser relevantes.

Em 1952, entretanto, as pesquisas efetuadas por DURAND e CONDOLIOS, na área de mecânica dos fluidos, deram origem a dezenas de outros trabalhos neste campo, formando uma bibliografia teórica básica sobre o transporte de sólidos em condutos.

Devido ao grande número de parâmetros empíricos e outros semi-empíricos que são envolvidos nas leis da hidráulica, não existem ainda modelos matemáticos que descrevam com precisão o escoamento heterogêneo. Esse fato, faz com que ainda existam, em grande número, instalações pilotos, que são utilizadas no levantamento de dados e parâmetros de escoamento de misturas sólido-líquidas, que posteriormente são comparados com aqueles obtidos em testes de laboratório e com os obtidos em relações teóricas, a fim de evitar ao máximo, erros de dimensionamento ou coeficientes de segurança muito elevados.

Estudos comparativos entre os custos de transporte por rodovias, ferrovias, hidrovias e por condutos, têm demonstrado ser economicamente favorável a opção por condutos, além de inúmeras outras vantagens, tais como:

- Ocupação mínima do solo (menor custo de desapropriações);
- Ausência de poluição ambiental;
- Menor investimento inicial devido ao tamanho da instalação;

-Vence acidentes geográficos inacessíveis ao transporte ferroviário e rodoviário, ou quando possível através desses tipos de transportes o faz através de caminhos mais curtos;

- A operação não é afetada pela condição do tempo;

- A quantidade de material e as distâncias a serem percorridas tornam o transporte rodoviário completamente inviável. Sendo o sistema de transporte brasileiro baseado em rodovias e levando em conta que a expansão da rede ferroviária exigiria grandes prazos e investimentos, chega-se à conclusão que a curto prazo o transporte por condutos é uma opção viável;

O transporte de cereais, produzidos em regiões distantes das de consumo e dos postos de embarque para a exportação, pode ser feito perfeitamente através de condutos (transporte pneumático), colocando-os no mercado externo e interno por preços competitivos e com maior segurança. Um exemplo disto, seria o transporte da soja, produzida na região centro-oeste do país, até os postos de embarque, o qual é feito por rodovias.

A maioria dos trabalhos publicados sobre o assunto, referem-se ao escoamento de misturas sólido-líquidas em condutos horizontais, sendo raros ou inexistentes pesquisas em condutos inclinados de sentidos ascendente e/ou descendente, casos que se deparam, com frequência, no dimensionamento de instalações de longa distância.

No dimensionamento dessas linhas, o cálculo da perda de carga, nos trechos inclinados, é baseado na composição entre as perdas obtidas na horizontal e na vertical, ou é feito o rebatimento daquelas referentes a trechos verticais no plano que se deseja. Na maioria das vezes não se leva em conta a inclinação do conduto, considerando toda a linha horizontal.

O objetivo principal deste trabalho foi investigar o comportamento das perdas de carga em trechos inclinados, de sentido ascendente e descendente, variando a velocidade de escoamento, a concentração e a inclinação dos trechos, fazendo comparações com as perdas verificadas num trecho horizontal e com as calculadas através de equações existentes na literatura.

Para isto, foi montada, com recursos da FAPESP (Processos: 87/1190-1; 89/3494-3; 94/5465-9; 95/6154-0), uma bancada de ensaios que permite variar, com flexibilidade, a velocidade média do escoamento, a concentração e a inclinação dos trechos.

O trabalho apresenta a seguinte organização:

- Cap. 2 – Apresenta a revisão bibliográfica e os fundamentos teóricos
- Cap. 3 – Apresenta os materiais e os métodos utilizados neste trabalho
- Cap. 4 – Apresenta os resultados obtidos e as análises feitas a partir dos dados obtidos
- Cap. 5 – Apresenta as conclusões a respeito dos dados levantados
- Cap. 6 – Apresenta as recomendações para novas pesquisas
- Cap. 7 – Apresenta as referências bibliográficas utilizadas no trabalho
- Cap. 8 – Apêndices

2 - Revisão Bibliográfica

O bombeamento de misturas sólido-líquidas, vinha sendo realizado desde o início do século, com predominância de instalações de pequeno porte, improvisadas, ou ainda com a apresentação de resultados de casos particulares estudados.

Pode-se afirmar, com certeza, que a partir do trabalho de DURAND & CONDOLIOS (1952), de abordagem mais científica e de aplicação geral, foi possível o desenvolvimento efetivo do assunto, ensejando o aparecimento de projetos de grande envergadura.

Para entender a importância do trabalho desenvolvido por DURAND & CONDOLIOS, e localizá-lo dentro da evolução histórica, mostram-se a seguir alguns poucos trabalhos anteriormente desenvolvidos:

BLATCH, (1906), fez ensaios com areia de diâmetros médios entre 0,19 a 0,548 mm (concentração em volume de 5,35%), **em condutos horizontais**, de aço galvanizado e de latão de 25mm.

O'BRIEN E FOLSON, (1937), "apud", NOGUEIRA, (1987), ensaiaram em **tubos horizontais** de aço galvanizado e de latão de 25mm de diâmetro.

DUREPRAIRE, (1939),"apud", NOGUEIRA, (1987), pesquisou escoamentos de água com areia (diâmetro de 0,305 mm) **em tubos horizontais** de aço de 50mm de diâmetro.

HOWARD, (1941), pesquisou o escoamento das seguintes misturas: água-areia, água-cascalho, e água-silte, em **tubos horizontais** de aço com 60 mm de diâmetro interno.

YUFIN, (1949),"apud", NOGUEIRA, (1987), pesquisou em **condutos horizontais**, de diâmetro variando entre 10 e 450 mm, o escoamento da mistura água-areia (diâmetro entre 0,25 e 7,36 mm), e concentração, expresso em volume, variando até 30%.

Um dos primeiros relatos de experiências com transporte sólido em condutos forçados pode ser atribuído a HAZEN & HARDY, (1906). Durante o projeto da Estação de Tratamento de Águas de Washington, os autores depararam com o problema de transporte de mistura água-areia em tubos de 3" (75 mm) e 4"(100 mm), necessitando a realização de ensaios experimentais. As **tubulações horizontais**, para medição de perdas de carga, eram alimentadas por um reservatório elevado e os sólidos eram injetados na linha a jusante do mesmo.

Para se dimensionar uma instalação de recalque de misturas sólido-líquidas é, fundamental o conhecimento das perdas de carga ao longo das linhas de sucção e recalque, da velocidade mínima que se pode permitir sem que haja sedimentação dos sólidos, os quais podem acarretar obstrução e funcionamento defeituoso e da velocidade crítica, que corresponde num escoamento de misturas sólido-líquidas de determinada concentração aquela que provoca a mínima dissipação de energia.

Os comportamentos de escoamento bifásico em condutos horizontal, vertical, e inclinado são diferentes. Para cada situação deve ser estabelecido as próprias leis, no entanto, o dimensionamento de instalações de recalque é baseado nas equações de perda de carga em condutos horizontais transportando misturas heterogêneas.

Num escoamento de misturas sólido-líquidas através de condutos forçados, distinguem-se os tipos de escoamentos através de uma velocidade de escoamento denominada “velocidade crítica de sedimentação”, que para valores maiores de velocidades, todas as partículas estarão em suspensão. Para valores menores de velocidades, haverá trocas de partículas entre um leito estacionário que se forma e o fluxo.

Comparando a velocidade média de escoamento da mistura com a velocidade crítica de sedimentação, têm-se os seguintes tipos de escoamento:

1 - Para a velocidade média de escoamento da mistura inferior à velocidade crítica de sedimentação, ocorrerão constantes trocas de partículas entre o leito estacionário e o fluxo. As partículas movimentam-se junto ao leito estacionário por saltitação. O leito apresenta-se bem instável com formação de dunas. Esta situação, segundo DURAND & CONDOLIOS (1952),

ocorrerá mesmo para velocidades altas, desde que as partículas tenham diâmetros superiores a 0,15 mm.

2 - Para a velocidade média de escoamento da mistura superior à velocidade crítica de sedimentação, as dunas são arrastadas e não ocorrerá sedimentação. Todas as partículas do leito estarão em suspensão homogênea ou heterogênea. Na primeira, as partículas sólidas estarão uniformemente distribuídas em toda seção transversal do conduto, ocorrendo, segundo DURAND & CONDOLIOS (1952), mesmo em baixas velocidades para partículas de tamanho inferior a 0,04 mm. Na mistura em suspensão heterogênea junto à parte inferior do conduto, encontram-se as maiores concentrações e partículas de maior granulometria.

Variando a velocidade média de escoamento desde valores baixos, tal que se tenha o leito estacionário, até valores altos de forma a se estabelecer o escoamento em suspensão homogênea, verifica-se que a perda de carga unitária devida ao escoamento de mistura de concentração constante decresce com as velocidades médias de escoamento menores que a velocidade crítica e eleva-se com velocidades médias maiores que a crítica.

Os tipo de escoamentos e a variação da perda de carga unitária com a velocidade média de escoamento da mistura são ilustrados na figura 1, publicada por Graf & Acaroglu (1967), com modificações feitas por COIADO (1985).

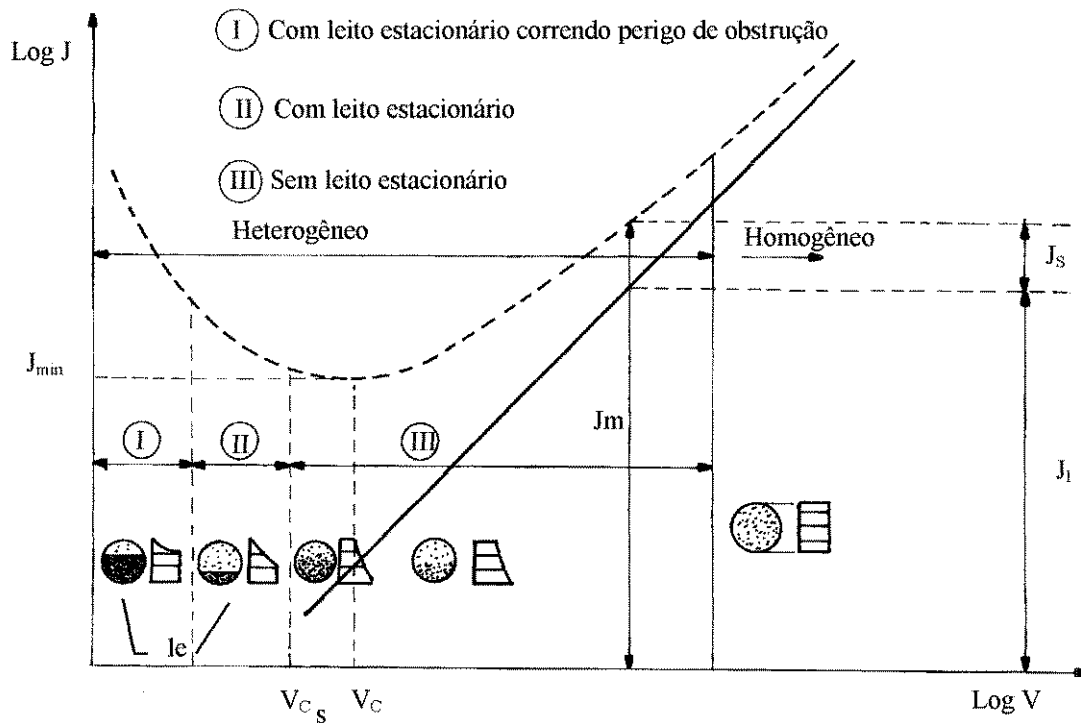


Figura (1) – Curvas de perda de carga para escoamentos de água limpa e de mistura de concentração constante - condutos horizontais . [por Graf & Acaroglu modificada por COIADO (1985)]

Da figura 1 pode-se deduzir que a perda de carga devido ao escoamento da mistura em condutos horizontais é igual à soma das perdas de cargas das fases líquidas e sólidas:

$$J_m = J_L + J_s \quad (1)$$

onde:

J_m = perda de carga unitária da mistura (m/m);

J_L = perda de carga unitária da fase líquida (m/m);

J_s = perda de carga unitária da fase sólida (m/m);

Segundo Durand (1953) “apud” COIADO(1985) a diferença entre as perdas de carga da mistura e da fase líquida é proporcional à concentração transportada:

$$(J_m - J_L)/(C \cdot J_L) = \phi \quad (2)$$

onde:

C = concentração em volume da mistura (%);

ϕ = parâmetro adimensional de transporte de sedimento.

2.1 - Perda de Carga em Condutos Horizontais. Mistura em Suspensão Homogênea

GRAF (1972), pag. 429 e VANONI (1977), pag. 254 apresentam a equação de Darcy-Weissbach para se calcular a perda de carga devido ao escoamento de misturas em suspensão homogênea:

$$(J_m/d_{rm}) = f_m \cdot (1/D) \cdot (V^2/2g) \quad (3)$$

onde:

D = diâmetro do conduto (m);

d_{rm} = densidade relativa da mistura;

f_m = fator de atrito da mistura, obtido do diagrama de Moody, substituindo a viscosidade da água pela da mistura, no cálculo do número de Reynolds;

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

V = velocidade média do escoamento da mistura (m/s);

GRAF (1972) encontrou pouca diferença entre a viscosidade da água e da mistura de água e areia. Considerou o fator de atrito devido ao escoamento da água limpa igual ao devido

ao escoamento da mistura encontrando bons resultados. Portanto, o segundo membro da equação (3) pode ser considerado igual à perda de carga unitária da fase líquida, ficando:

$$J_m = d_{rm} \cdot J_L \quad (4)$$

mas:

$$d_{rm} = 1 + C \cdot (d_r - 1) \quad (5)$$

onde:

d_r = densidade relativa do sólido.

Substituindo a equação (5) na (4) tem-se:

$$J_m = J_L + C \cdot J_L \cdot (d_r - 1) \quad (6)$$

Comparando a equação (6) com a (2) tem-se que:

$$\phi = d_r - 1 \quad (7)$$

Então, pode-se concluir que o parâmetro adimensional de transporte de sedimento, para o escoamento de mistura em suspensão homogênea, depende somente da densidade relativa das partículas sólidas.

2.2 - Perda de Carga em Condutos Horizontais. Mistura em Suspensão Heterogênea sem Leito Estacionário

O escoamento de misturas em suspensão heterogênea é o regime mais importante do transporte de sedimentos em condutos, porque ele é o regime onde ocorre o transporte de uma quantidade maior de sedimentos por unidade de energia dissipada.

Embora, não exista ainda, um critério geral para determinar a perda de carga neste regime, o método amplamente discutido no meio científico e muito citado na literatura, é certamente o apresentado por DURAND & CONDOLIOS (1952). Este método é baseado na determinação do parâmetro adimensional (ϕ), o qual é dado como uma função da velocidade média do escoamento, da densidade relativa da mistura, do tamanho das partículas e do diâmetro do conduto:

$$\phi = f(V, d_{rm}, d_s, D) \quad (8)$$

ou:

$$\phi = 150. \left[\frac{V^2}{g.D.(d_{rm}-1)} \cdot \sqrt{cd} \right]^{-3/2} \quad (9)$$

onde:

cd = coeficiente de arrasto da partícula.
Para partículas esféricas.

$$cd = (4/3). (g.d_s.(d_{rm}-1)/v_s^2) \quad (10)$$

onde:

d_s = tamanho das partículas (m);

v_s = velocidade de sedimentação (m/s).

GRAF (1972), pg 45, mostra que as velocidades de sedimentação de partículas de quartzo (areia) aproximam-se muito das velocidades das quedas das partículas esféricas.

Portanto, substituindo (cd) da equação (9) pelo seu valor dado em (10) tem-se:

$$\phi = 121. \left[\frac{V^2}{g.D.(d_{rm}-1)} \cdot \sqrt{(g.d_s.(d_{rm}-1)/v_s^2)} \right]^{-3/2} \quad (11)$$

Worster (1952) “apud” COIADO(1985) apresenta o parâmetro adimensional de transporte de sedimento (ϕ) associado com partículas de grande tamanho, em particular partículas de carvão, produzindo uma equação similar à equação de DURAND & CONDOLIOS (1952):

$$\phi = 81. |((g.D)/(V^2 \cdot \sqrt{cd})) \cdot ((\rho_s - \rho_L)/\rho_L)|^{3/2} \quad (12)$$

onde:

ρ_s = massa específica das partículas de sedimento (Kg/m^3);

ρ_L = massa específica do líquido (kg/m^3).

Como na maioria dos casos o líquido utilizado é a água, a equação (12) pode ser escrita como:

$$\phi = 81. | (g.D.(d_r-1))/(V^2 \cdot \sqrt{cd})|^{3/2} \quad (13)$$

Worster considera para a partícula de carvão $cd = 0,4$.

SASIC & MARJANOVIC (1978), pg 64, utilizaram a equação de Worster em suas experiências sobre o transporte de areia através de condutos de diâmetros pequenos e encontraram bons resultados. Calcularam o coeficiente de arrasto através da equação (10) considerando a velocidade de sedimentação calculada por meio da seguinte equação:

$$v_s = v_{se} \cdot e^{-2,6 \cdot C} \quad (14)$$

ou pela equação de Newitt dada por:

$$v_s = v_{se} \cdot (1-C)^{2,4} \quad (15)$$

onde:

v_{se} = velocidade de sedimentação da esfera (m/s).

Durand (1953) “apud” COIADO(1985) apresentou o parâmetro adimensional de transporte de sedimento (ϕ) em função de um outro parâmetro adimensional (ψ) elevado a um expoente(-m):

$$\phi = K_D \cdot \psi^{-m} \quad (16)$$

onde:

K_D = constante de Durand.

O parâmetro adimensional (ψ) é igual à relação entre colchetes apresentada na equação (9), ou seja:

$$\psi = | (V^2 / (g \cdot D \cdot (d_{rm} - 1)) \cdot \sqrt{cd} | \quad (17)$$

A maioria dos pesquisadores consultados confirmam que o expoente (m) tem o valor 1,5, com exceções de ZANDI & GOVATOS (1967), que a partir de uma quantidade muito grande de dados já existentes, sugeriram $m = 0,354$ para $\psi > 10$ e $m = 1,93$ para $\psi < 10$, e CARLETON “et alli”(1978), que das suas experiências sobre o transporte de rocha de carbonato de cálcio de tamanho que variaram até 50 mm, em condutos com 102 e 154 mm de diâmetro e concentrações que variaram de até 27% V.M., concluíram que o valor do expoente m varia entre 0,85 a 1,55.

Entretanto, para o coeficiente K_D são propostos diferentes valores.

ZANDI & GOVATOS (1967) encontraram $K_D = 6,3$ para $\psi > 10$, e $K_D = 280$ para $\psi < 10$

CARLETON & FRENCH (1978) encontraram K_D variando de 110 a 280.

HISAMITSU “et alli”(1978), de seus estudos experimentais sobre o transporte de vários tipos de areias e diversos minerais, de diâmetros médios entre 0,15 a 0,80 mm, em condutos de aço com três polegadas de diâmetro e nove metros de comprimento, resultou a seguinte expressão:

$$\phi = 120.\psi^{-1,5} + (\sqrt{dr} - 1) \quad (18)$$

onde:

$$K_D = 120$$

Koch (1964) “apud” COIADO(1985) propôs $K_D = 100$

Bonnington (1961) “apud” COIADO(1985) propôs $K_D = 190$

COIADO (1985) fez experiências utilizando água e areia fina e tubos de PVC rígido e chegou à conclusão que para os escoamentos heterogêneos destas misturas, sem a existência de leito estacionário, a equação de Durand, com o parâmetro adimensional de transporte de sedimento proposto por Worster, é a que melhor se ajusta aos pontos medidos, que relacionam a perda de carga unitária com a vazão, com uma diferença percentual média relativa aos pontos medidos de $(\pm 11,5) \%$.

2.3 - Critérios de Distinção entre os Escoamentos em Suspensão

Homogênea e Heterogênea

Aumentando-se muito a velocidade média do escoamento, a distribuição vertical de concentrações de sedimento vai tornando-se uniforme. É difícil então, definir um critério de distinção entre os escoamentos em suspensão homogênea e heterogênea.

DURAND & CONDOLIOS (1952) estabeleceram que o escoamento de mistura de partículas sólidas de tamanhos inferiores a 0,04 mm pode ser tratado como escoamento em suspensão homogênea.

GRAF (1972), pg 437, apresenta a equação de Newitt “et alli”, de 1955, que permite o cálculo da velocidade de transição entre os escoamentos em suspensão homogênea e heterogênea dada por:

$$V_n = \sqrt[3]{1800 \cdot g \cdot D \cdot \nu s} \quad (19)$$

onde:

V_n = velocidade de transição entre os escoamentos em suspensão homogênea e heterogênea (m/s).

2.4 - Perda de Carga em Condutos Horizontais. Mistura em Suspensão Heterogênea com Leito Estacionário

Para velocidades médias do escoamento da mistura levemente inferiores à velocidade crítica de sedimentação, algumas partículas em suspensão começam a sedimentar-se, movimentando-se junto da parede inferior do conduto por arrastamento. Diminuindo ainda mais a velocidade média do escoamento, haverá a formação de um leito estacionário com o movimento de partículas sólidas por arrastamento sobre este leito.

Dependendo das condições do escoamento, a superfície do leito estacionário poderá ser plano ou sofrer deformações similares àquelas que ocorrem em canais com leito móvel, ou seja, rugas e dunas, não se observando somente as antidunas.

Se a superfície do leito estacionário for plana, o gradiente de perda de carga será menor que aquele com deformações.

Este tipo de escoamento não é recomendado, porque dependendo da velocidade média do escoamento, poderá ocorrer obstrução total da seção do conduto.

Existem poucas investigações sobre o transporte por arrastamento em condutos, entretanto, Bain & Bonnington (1970), pg 19, “apud” COIADO(1985) estendem-no à equação (13), utilizando-se dos seguintes artifícios:

1 . A velocidade média do escoamento (V) proporcional à vazão que escoar na seção útil do conduto(A')

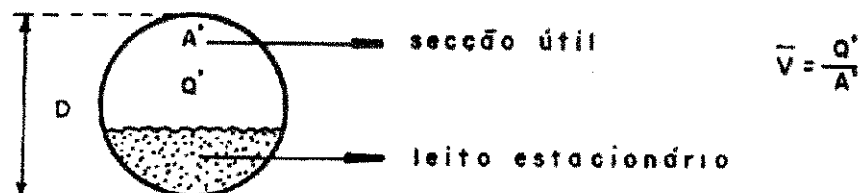


Figura (2) – Corte transversal do conduto mostrando seção útil

2 . Expressando o diâmetro D em termos do diâmetro hidráulico da seção útil (A'):

$$D = D_H = 4.Rh' \quad (20)$$

Portanto, a equação (13) fica:

$$\phi = 648. |(g.Rh'.(dr-1))/(V^2. \sqrt{cd})|^{3/2} \quad (21)$$

onde:

Rh' = raio hidráulico correspondente à seção útil (A') do conduto contendo o leito estacionário (m).

É necessário que seja dada atenção especial ao acréscimo de resistência devido à presença do leito estacionário.

Acaroglu (1972) “apud” COIADO(1985) propõe que o fator de atrito da equação de Darcy-Weissbach seja igual à soma de dois fatores, um deles (f') representa a resistência

devido à rugosidade dos grãos e outro (f'') representa a resistência devido à deformação do leito. Portanto:

$$f_m = f' + f'' \quad (22)$$

Na mesma publicação, Acaroglu substitui o fator de atrito (f') pelo fator de atrito referente à fase líquida(água), ou seja:

$$f' = f$$

e:

$$f_m = f + f'' \quad (23)$$

onde:

f'' = resistência devido à deformação do leito;

f = fator de atrito de Darcy-Weissbach referente à fase líquida da mistura.

COIADO (1985) estudou escoamentos heterogêneos com leito estacionário de mistura de água e areia fina. Ao comparar as perdas de carga medidas com as calculadas através da equação de Durand, utilizando o parâmetro de transporte de Bain (cd), concluiu: que ao utilizar o fator de atrito obtido com a vazão da mistura, obtém-se resultados melhores do que quando se utiliza o fator de atrito referente à vazão da fase líquida como propõe Acaroglu.

As perdas de carga relativas a estes escoamentos são as que mais se aproximam da equação de Durand com o parâmetro adimensional de Bain.

ADDIE & HAMMAR (1993) fizeram testes com pó de rochas trituradas usando dois sistemas em circuito fechado com tubos de 250 mm e 300 mm e uma bomba centrífuga e variando a concentração de 15% a 49% em volume.

Eles chegaram à conclusão que a operação de uma bomba centrífuga na região à esquerda da velocidade mínima de transporte na curva de perda de carga versus velocidade com mistura de concentração constante é instável.

Eles concluíram também que quando a concentração da mistura chega perto de 50% a operação nesta região é muito ineficiente do ponto de vista de energia de transporte.

Eles perceberam que o sistema de recalque constituído pela tubulação de menor diâmetro é favorável a não obstrução da linha, uma vez que resulta em uma velocidade média de escoamento superior à velocidade crítica de sedimentação

2.5 - Perda de Carga em Condutos Verticais

Segundo Durand (1953) “apud” COIADO(1985) a perda de carga de misturas sólido-líquidas em condutos verticais, para os casos em que a velocidade de sedimentação da partícula num meio tranquilo for menor que a velocidade média do escoamento da mistura, pode ser calculada através das seguintes equações:

1 . Para o escoamento ascendente:

$$J_m = (f/D).(V^2/2g) + C.(dr-1) \quad (24)$$

2 . Para o escoamento descendente:

$$J_m = (f/D).(V^2/2g) - C.(dr-1) \quad (25)$$

COIADO (1985) fez experiências utilizando misturas de água e três tipos de areia: fina ($d_{50}=0,225$ mm e $\rho_s=2,71$ g/cm³), n°1 ($d_{50}=0,650$ mm e $\rho_s=2,65$ g/cm³) e n°2 ($d_{50}=1,20$ mm e $\rho_s=2,62$ g/cm³) em conduto vertical e PVC rígido com fluxo ascendente e descendente e concluiu que as perdas de carga aumentam continuamente ao se elevar a vazão.

As perdas de carga crescem ao se elevar a concentração mantendo uma mesma vazão em fluxo ascendente.

As perdas de carga calculadas através da equação proposta por Durand para fluxo ascendente, desviaram em relação àquelas medidas, resultantes dos escoamentos de misturas de água e pelos três tipos de areias, de diferenças percentuais médias relativas aos pontos medidos de $(\pm 8,0)\%$, $(\pm 5,5)\%$ e $(\pm 8,5)\%$, respectivamente.

As perdas de carga calculadas através da equação proposta por Durand para fluxo descendente, desviaram em relação àquelas medidas, resultantes dos escoamentos de misturas de água e pelos três tipos de areias, de diferenças percentuais médias relativas aos pontos medidos de $(\pm 16,0)\%$ para concentrações $\leq 10\%$ e de $(+10,3)\%$ para concentrações $> 10\%$ para água e areia fina, de $(+10,9)\%$ para água e areia nº1 e de $(\pm 20,6)\%$ para concentração média de $(4,1 \pm 0,4)\%$ e de $(+18,4)\%$ para concentrações $> 9,3\%$ para água e areia nº2.

As perdas de carga independem dos diâmetros das areias no escoamento em condutos verticais de fluxo ascendente e descendente.

2.6 - Perda de Carga em Condutos Inclinados

Segundo WORSTER & DENNY (1955) , a perda de carga em condutos inclinados pode ser calculada através da seguinte equação:

$$J_m = J_L [1 + C.(d_r - 1). \cos \alpha + C.(d_r - 1). \sin \alpha] \quad (26)$$

onde:

α = ângulo de inclinação do conduto (radianos).

A perda de carga, de misturas sólido-líquidas em condutos inclinados, pode ser considerada igual à soma da parcela devido à fase líquida com as parcelas devido à fase sólida equivalente às suas projeções vertical e horizontal [GRAF (1972)]:

$$J_m = J_L + J_s \cdot \cos \alpha + J_s \cdot \sin \alpha \quad (27)$$

GRAF (1972) propôs uma equação similar a de WORSTER & DENNY (1955) para determinar a perda de carga em condutos inclinados dada por:

$$J_m = J_L \cdot [1 + C \cdot (d_r - 1) \cdot \cos \alpha + C \cdot (d_r - 1) \cdot \sin \alpha] \quad (28)$$

KENNETH & JAMES (1984) compararam os comportamentos do escoamento de misturas constituídas de água e partículas grosseiras em tubos inclinado e horizontal e verificaram que o escoamento ascendente no tubo inclinado requereu velocidades mais altas que no horizontal para evitar o depósito das partículas no fundo do tubo.

Kenneth & James verificaram que ao manter constantes o diâmetro e ângulo de inclinação do tubo, a velocidade crítica de sedimentação decresce com o aumento do tamanho da partícula. Para um determinado diâmetro do tubo e determinado tamanho de partícula, observaram que a velocidade crítica de sedimentação aumenta com a elevação do ângulo de inclinação do tubo até um valor em torno de 30 graus, ou um pouco mais, quando alcança o seu valor máximo e a partir daí começa a decrescer. Para o material testado o valor máximo da velocidade de sedimentação foi de aproximadamente 50% maior que aquele obtido para o tubo horizontal.

A falta de investigação do comportamento de escoamento bifásico em condutos inclinados é constada nos anais do 12th International Conference on Slurry Handling and Pipeline Transport realizado em 1993, onde não é apresentado trabalhos sobre o assunto.

Também nenhum trabalho sobre o assunto foi encontrado no Journal of Hydraulic Engineering, 1995 e 1996.

Brigham “et alli”, “apud” STREETER (1961), fizeram experiências em um sistema inclinado com escoamento bifásico e descobriram que para pequenos desvios em relação ao plano horizontal, o escoamento semianular irá exibir a mesma queda de pressão para todas as inclinações.

Uma relação empírica foi desenvolvida por Baker “apud” STREETER (1961) e é útil no projeto de linhas de recalque sobre um terreno montanhoso.

$$\Delta P_{TPH} = \Delta P_{TP} + (1.6.N.H.d_L)/(144.v_g^{0.7}) \quad (29)$$

onde:

ΔP_{TP} = perda de carga da mistura calculada para tubulações horizontais(m);

ΔP_{TPH} = perda de carga da mistura corrigida para o terreno montanhoso (m);

N = número de montanhas;

H = altura média das montanhas (m);

d_L = densidade da fase líquida;

v_g = velocidade superficial do gás através das tubulações (m/s).

Esta equação é inteiramente empírica e só deve ser usada sob as condições nas quais ela foi desenvolvida.

Durand & Gibert (1960), “apud” KAO & HWANG (1979), propuseram uma equação simples para relatar o efeito da presença de sólidos no gradiente da perda de carga em um tubo inclinado em relação a um tubo horizontal por um fator do coseno do ângulo.

$$J_m = J_L + J_s \cos \alpha \quad (30)$$

2.6.1 - Ângulo de Inclinação da Tubulação

KAO & HWANG (1979) utilizaram um sistema em anel para realizar experiências. O sistema era composto por tubos de aço de 50 mm de diâmetro interno com trechos de plástico rígido transparente para visualização. Um tanque com capacidade de 1000 galões de nível constante alimenta e circula água limpa no sistema. As partículas de sólidos ficam em um tanque de armazenagem e são colocadas no sistema por uma bomba a jato posicionada sob o tanque. A mistura escoava por trechos horizontais, verticais e inclinados onde são medidas as perdas de carga.

No trecho inclinado o ângulo de inclinação podia variar apenas entre 0 e 33°.

Kao & Hwang usaram três tipos diferentes de partículas de sólidos para determinar a velocidade de sedimentação. Eles usaram cascas de nozes de massa específica 1,350g /cm³ e $d_{50}=1,75$ mm, pó de vidro de massa específica 2,475 g/cm³ e $d_{50}=0,66$ mm e carvão do Kentucky de massa específica 1,262 g/cm³ e $d_{50}=1,40$ mm. Para determinar a velocidade de sedimentação eles usaram um tubo de plástico rígido de 1,83 m e 50 mm de diâmetro interno. Eles obtiveram os seguintes valores para as velocidades de sedimentação: 97,5 mm/s, 131,1 mm/s e 57,6 mm/s para as cascas de nozes, o pó de vidro e o carvão respectivamente.

Kao & Hwang usaram também um tubo de plástico rígido de 1,83 m e 50 mm de diâmetro interno e as mesmas partículas anteriores e areia uniforme para descobrir o ângulo crítico para o qual um leito estacionário de sólidos começaria a deslizar.

No caso do pó de vidro e da areia uniforme o ângulo crítico em relação à horizontal foi de 23° aproximadamente para uma concentração de 10-20% em volume. Para o carvão e as cascas de nozes o movimento inicial ocorreu na interface entre o leito de partículas e a parede do tubo. Isto indica que para partículas relativamente grandes e com forma irregular o atrito interno entre as partículas é maior que o atrito com a parede do tubo. O ângulo crítico foi de aproximadamente 32° para uma concentração de 10-20% em volume.

O ângulo foi sendo aumentado aos poucos para se descobrir qual a inclinação que causa a obstrução da seção do tubo pelas partículas. Para o pó de vidro e para a areia uniforme o ângulo foi de $27^\circ \pm 2^\circ$. Devido ao limite do ângulo usado nos testes (0 a 33°), o ângulo requerido de 37°, que causa a obstrução da seção do tubo para as cascas de nozes e o carvão, não foi alcançado.

Kao & Hwang usaram o mesmo tubo e as mesmas partículas para analisar a influência da inércia do fluxo, depois que o sistema era desligado, na iniciação do deslizamento dos sólidos e na obstrução da seção do tubo e no ângulo crítico.

Os resultados obtidos neste teste dinâmico foram muito próximos aos verificados nos testes estáticos para o pó de vidro. Isto confirma a prática corrente de usar os testes estáticos como meio de determinar o ângulo crítico.

Kao & Hwang usaram pó de vidro para analisar a perda de carga em condutos inclinados com fluxo ascendente e descendente. Eles usaram ângulos de $8,5^\circ$, $16,7^\circ$ e 21° e mediram a perda de carga com o tubo na horizontal sob as mesmas condições de escoamento. Eles observaram que a perda de carga com o fluxo ascendente é maior que a perda de carga com o tubo na horizontal. Já a perda de carga com o fluxo descendente é menor que a perda de carga na horizontal.

Eles repetiram os testes com pó de vidro e carvão com procedimentos diferentes e a mesma velocidade de escoamento e obtiveram os mesmos resultados.

Assumindo que para um ângulo de 90° a perda de carga da mistura é a mesma que para água limpa, Kao & Hwang chegaram à conclusão que a curva representando a perda de carga para o escoamento ascendente intercepta a curva da perda de carga na horizontal em uma certa inclinação limite. Para inclinações menores que esta, a perda de carga é maior que a perda na horizontal e vice-versa. Por causa do limite do ângulo usado nestes testes (0 a 33°), o valor do ângulo da inclinação limite não foi determinado.

Esses resultados contradizem as equações de Durand & Gibert (1960) e WORSTER & DENNY (1955), que dão a mesma perda de carga em condutos inclinados, as quais são sempre menores que as perdas em tubos horizontais sob as mesmas condições de escoamento independente da direção do fluxo nos condutos inclinados.

Kao & Hwang observaram que quando o ângulo do tubo é fixo, a velocidade crítica para mudança de regime de escoamento em um fluxo ascendente é levemente maior que a observada em um tubo horizontal. Eles notaram também que as velocidades críticas para a formação de leito estacionário, saltitações e a formação de leitos deslizantes ocorreram só no escoamento ascendente. Para o escoamento descendente só ocorreu o deslizamento do leito.

NAKAE (1990) fez uma série de cinco ensaios utilizando areia fina de $d_{50}=0,26$ mm e massa específica de $2,68 \text{ g/cm}^3$ com a concentração variando em torno de 12, 15 e 20% e com inclinações de 10° , 17° e 20° respectivamente.

Nakae comparou visualmente, através de gráficos, as perdas de carga em função da velocidade de escoamento dos dados obtidos nos ensaios com os obtidos pela equação de perda de carga em condutos inclinados sugerida por Graf em 1972 e percebeu uma concordância razoável.

2.6.2 – Ângulo de Repouso do Material

O ângulo de repouso de partículas sedimentárias é uma outra propriedade que é importante no estudo da força de tração crítica, no projeto de canais estáveis e em outros problemas hidráulicos. No caso de canais estáveis com lados não coesivos a inclinação da rampa das paredes pode ser relacionada de alguma forma ao ângulo de repouso. Comparativamente, pouco trabalho foi feito na determinação do ângulo de repouso dos diferentes materiais no ar e na água. Gibson (1946) “apud” GARDE & RAJU (1985) propuseram a seguinte fórmula:

$$\tan \theta = k \cdot d_s^{0,125} \cdot d_r^{0,19} \cdot r^{0,25} \quad (31)$$

onde:

θ = ângulo de repouso do material em graus;

d_s = diâmetro médio do grão (m);

d_r = densidade relativa da partícula na água;

r = relação média entre o maior e o menor diâmetros;

$K = 0,60$.

Esta fórmula é baseada numa variação de d_s variando de 0,16 até 0,59 mm e d_r variando de 0,90 até 1,63. Simons (1957) “apud” GARDE & RAJU (1985) sugeriu valores de θ para vários materiais como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – ângulos de repouso para vários materiais propostos por Simons (1957) “apud” GARDE & RAJU (1985)

Diâmetro médio em mm	Ângulo de repouso em graus		
	rochas esmagadas	Muito angulares	Muito arredondadas
0,30	32,0	31,4	29,2
1,50	34,5	32,9	29,5
3,0	36,6	33,8	29,9
15,0	40,0	37,5	32,5
30,0	40,8	39,1	34,8
150,0	42,0	41,2	38,3
300,0	42,2	41,5	39,2

3 - Materiais e Métodos

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, uma bancada de ensaio (Foto 1) e (Esquema 1) existente no Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos, utilizada em pesquisas anteriores, foi reformada e adaptada com recursos financeiros concedidos pela FAPESP- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processos: 87/1190-1; 89/3494-3; 94/5465-9; 95/6154-0).

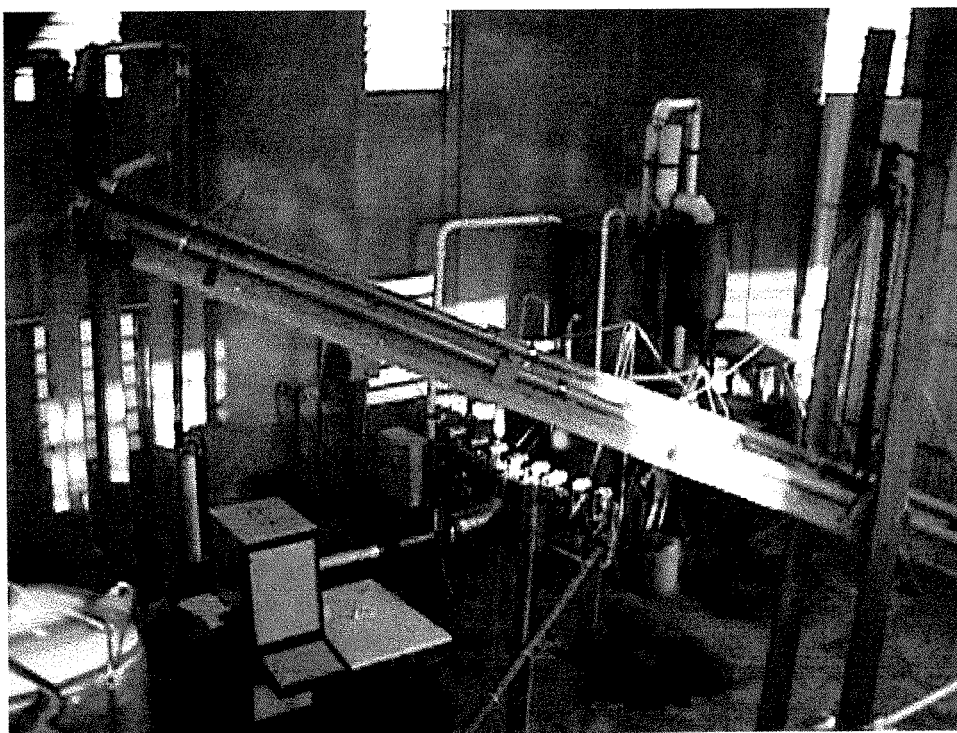
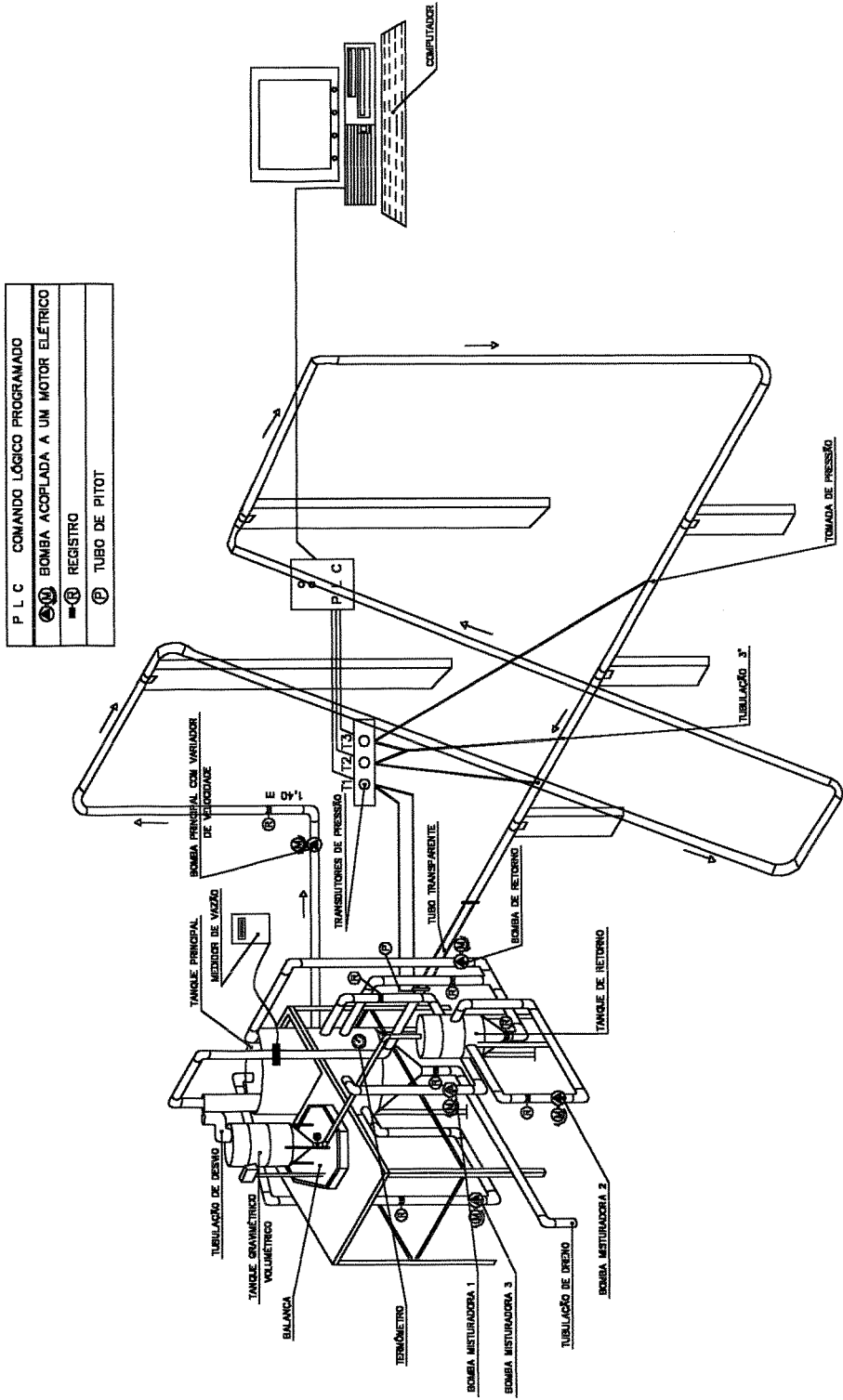


Foto 1 – Vista da Bancada de Ensaio

3.1 - Reservatório Principal

É cilindro-cônico com capacidade para 2000 litros, mede 1,20 m de diâmetro por 2,00 m de altura; fixo sobre três pés com 1,20 m de altura. Tem no seu interior um dispositivo que funciona como dispersor de fluxo ascendente. O reservatório principal é o local onde as misturas sólido-líquidas foram preparadas e mantidas homogêneas através das bombas misturadoras.



Esquema 1: Bancada de Ensaios

3.2 - Sistema de Medidas Gravimétricas

É constituído por um tanque volumétrico fixo sobre uma balança. A balança é da marca Filizola, digital, com capacidade para 750 kg e precisão de até 100 gramas, adquirida com recursos da FAPESP, (Proc.: 95/6154-0).

O tanque volumétrico é cilíndrico-cônico, com capacidade para 200 litros. Mede 0,50 m de diâmetro por 0,90 m de altura. Sua parte inferior é cônica, permitindo perfeito esvaziamento através de um registro especial de três polegadas. Na sua parede externa foi instalado um medidor de nível (tubo transparente) com uma escala que permite leituras com precisão de até 0,50 mm.

3.3 - Tanque de Descarga

É cilíndrico-cônico com capacidade para 300 litros, mede 0,62 m de diâmetro por 0,90 m de altura. Recebe a mistura do tanque volumétrico, do qual é recalcado, de volta, para o reservatório principal.

3.4 - Bomba Principal

A bomba principal (Foto 2) foi adquirida com recursos da FAPESP, (Proc.: 95/6154-0), é centrífuga revestida de borracha natural, entrada e saída com três e quatro polegadas de diâmetro, respectivamente; rotor semifechado, instalada a 3,00 m abaixo do nível de operação do reservatório principal. Sua função, na bancada de ensaios, é retirar as misturas sólido-líquidas de um ponto médio do reservatório principal, bombeando-as para o tanque volumétrico ou para o próprio reservatório principal, através da canalização de sucção e de recalque.

A bomba principal é acoplada a um motor elétrico, trifásico, de 20 Hp, controlado por um variador de velocidades adquirido recentemente com recursos da FAPESP.

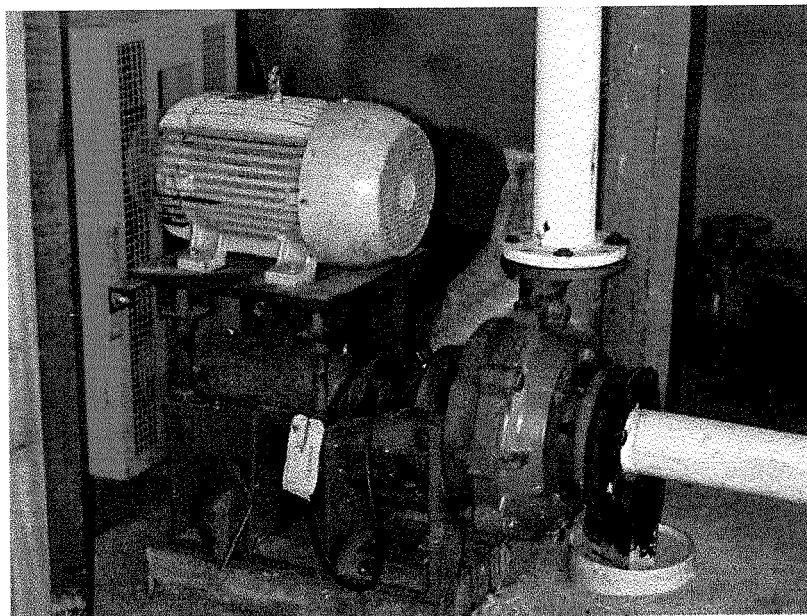


Foto 2 – Bomba Principal e Motor Elétrico

3.5 - Bomba Misturadora 1

É centrífuga, da marca Lenz, modelo 800/14, entrada e saída com três polegadas de diâmetro; rotor semifechado com 120 mm de diâmetro. Esta bomba succiona a mistura de um ponto médio do reservatório principal injetando-a no sentido nível-fundo do mesmo, de maneira a provocar a homogeneização da mistura.

A bomba misturadora 1 é acoplada a um motor elétrico, trifásico, marca WEG, de 20 Hp, 2 pólos, 3500 rpm, 220/380 V.

3.6 - Bomba Misturadora 2

É centrífuga, da marca Lenz, modelo 800/10, rotor semifechado, com 100 mm de diâmetro. A canalização de sucção desta bomba é ligada ao reservatório principal e ao tanque de descarga. Esta bomba, ora succiona a mistura de um ponto médio do reservatório injetando-a no sentido nível-fundo, auxiliando a homogeneização da mistura, ora succiona a mistura do tanque de descarga, racalcando-a até o reservatório principal.

A bomba misturadora 2 é acoplada a um motor elétrico trifásico, marca Kolbach, de 3 HP, 2 pólos, 3500 rpm, 220/380 V.

3.7 - Bomba Misturadora 3

É centrífuga, da marca Lens, modelo 800/10, rotor semifechado, com 80 mm de diâmetro. Esta bomba retira a mistura de um ponto médio do tanque de descarga, injetando-a no sentido nível-fundo. Sua função é impedir a sedimentação da fase sólida da mistura, desobstruindo a canalização de sucção que une o tanque de descarga à bomba misturadora 1, durante a operação de retorno da mistura do tanque de descarga ao reservatório principal.

A bomba misturadora 2 é acoplada a um motor elétrico, trifásico, marca Kohlbach, de 3 Hp, 2 pólos, 3500 rpm, 220/380V.

3.8 - Canalização de Sucção

É de PVC rígido com quatro polegadas de diâmetro, une o reservatório principal à bomba principal.

3.9 - Canalização de Recalque

É de PVC rígido com três polegadas de diâmetro, transporta a mistura aos pontos de medidas, desviando-a ao tanque volumétrico ou retornando-a ao reservatório principal. É constituído por dois trechos de 6 m de comprimento cada, inclinados, com fluxo ascendente e descendente (Foto 3), um trecho horizontal com 6m de comprimento (Foto 4), um trecho vertical de 4 m de comprimento e 4” de diâmetro, e um desviador rotacional de fluxo. O ângulo de inclinação com a horizontal, dos trechos inclinados, foi de 5,5°, 11°, 22,5°, 34° e 45°.

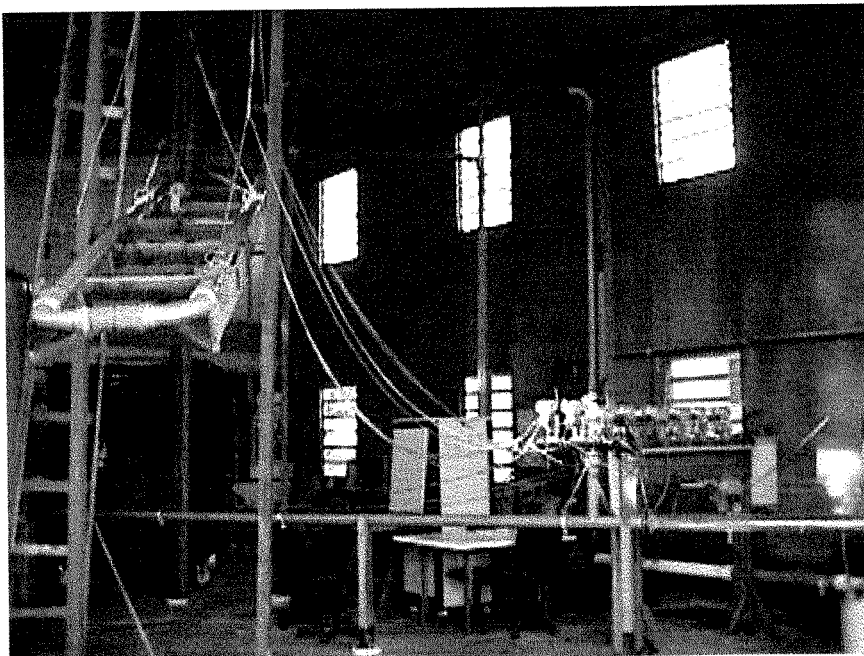


Foto 3 – Trechos Inclínados

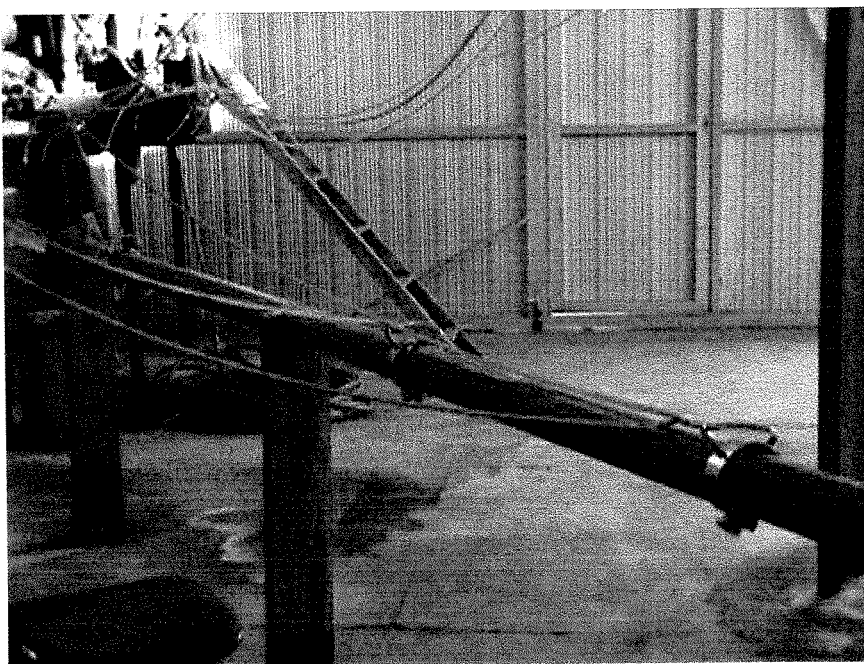


Foto 4 – Trecho Horizontal

A variação do ângulo de inclinação foi facilmente realizada através de mangotes flexíveis de conexão (Foto 5). O conjunto formado pelos tubos inclinado de sentido ascendente e descendente era erguido ou abaixado através de uma talha (Foto 6).



Foto 5 – Mangotes Flexíveis de Conexão

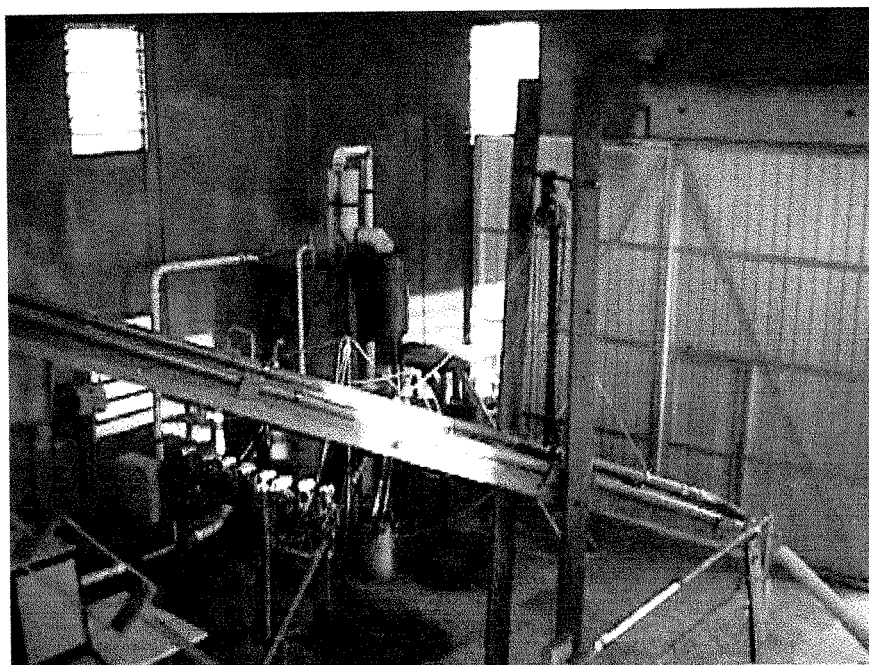


Foto 6 - Talha

3.10 - Desviador Rotacional de Fluxo

Permite que ora o fluxo seja desviado para o reservatório principal, ora para o tanque volumétrico (Foto 7).

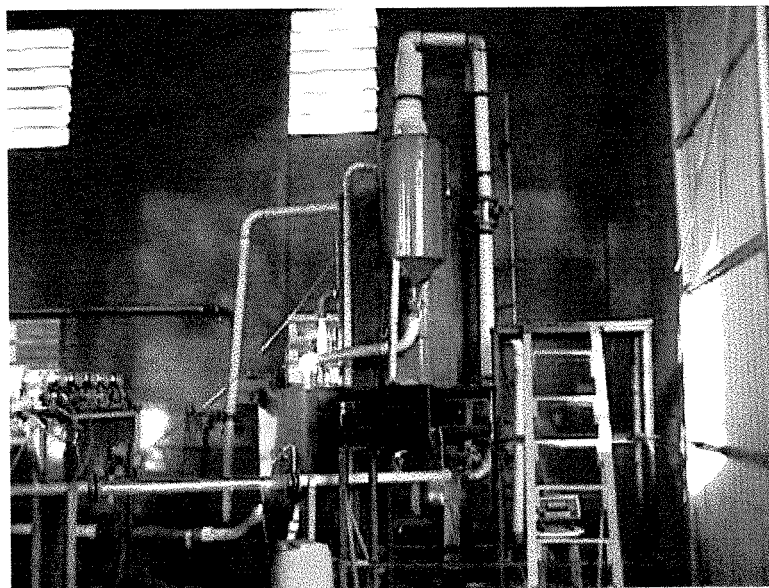


Foto 7 – Desviador Rotacional de Fluxo

3.11 - Medidas

3.11.1 - Medições da Vazão e da Concentração Média do Sólido da Mistura

A vazão foi medida pelo método volumétrico e através de um medidor eletromagnético microprocessado adquirido com recursos da FAPESP, (Proc.: 95/6154-0) instalado no trecho de 4" do final da canalização de recalque. Para o método volumétrico, no momento em que o fluxo da água limpa ou da mistura sólido-líquida era desviado do reservatório principal para o tanque volumétrico através do desviador rotacional de fluxo, um cronômetro, acoplado ao sistema através de circuito elétrico, era automaticamente acionado. Momentos antes da mistura ou água limpa transbordar do tanque volumétrico, o fluxo era desviado de volta ao reservatório principal, desligando instantaneamente o cronômetro

ficando registrado o tempo. As vazões obtidas pelo método volumétrico eram comparadas com aquelas feitas através do medidor eletromagnético.

Em toda operação lia-se: o peso do tanque volumétrico (cheio e vazio), o valor da cota do nível da suspensão no tanque volumétrico e a temperatura da mistura ou da água limpa.

3.11.2 - Medidor Eletromagnético de Vazão Microprocessado

Da marca Engintrel Engematic, é composto pelo conversor 8712 C e pelo tubo medidor 570 tr, com limite de variação de até 10 m/s (Foto 8).

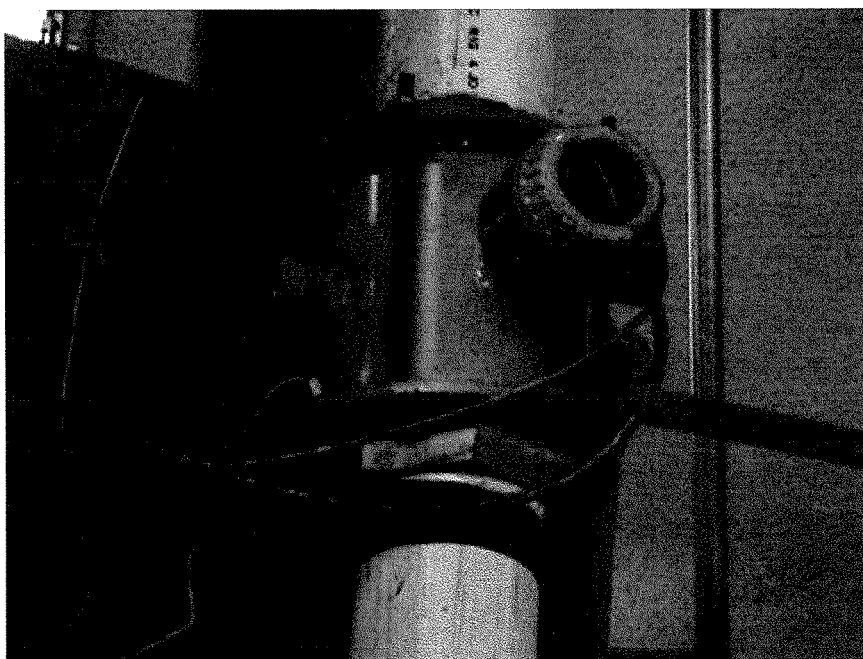


Foto 8 – Medidor Eletromagnético de Vazão Microprocessado

3.11.3 - Volumes da Mistura e da Água Limpa no Tanque Volumétrico.

O tanque volumétrico foi calibrado, tomando como padrão, uma bureta com capacidade para 500 ml e escala que permite uma precisão de até 5 ml. Fez-se o relacionamento entre o volume d'água limpa ou da mistura, depositado no tanque

volumétrico, e valores da cota do nível da mistura ou água limpa lidos na escala de um piezômetro instalado na parede externa do tanque, obtendo a reta de calibração e a equação do tanque volumétrico.

3.11.4 - Perdas de Carga

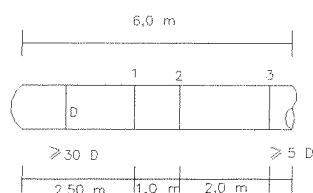


Figura (3) – Esquema das seções de medida das perdas de carga

As perdas de carga foram medidas nos trechos inclinados de fluxo com sentido ascendente e descendente e no trecho horizontal. Cada trecho contém três seções de medida, distanciadas conforme esquematizado na Fig. 3. Em cada seção foram instaladas duas tomadas de pressão que eram interligadas a uma única mangueira de cristal transparente com 3/16” de diâmetro, conforme visto na Fig. 4 e Foto 9.

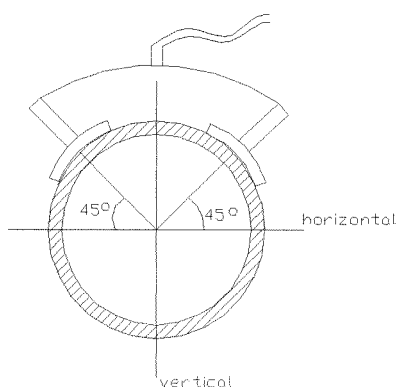


Figura (4) – Esquema das tomadas de pressão das seções

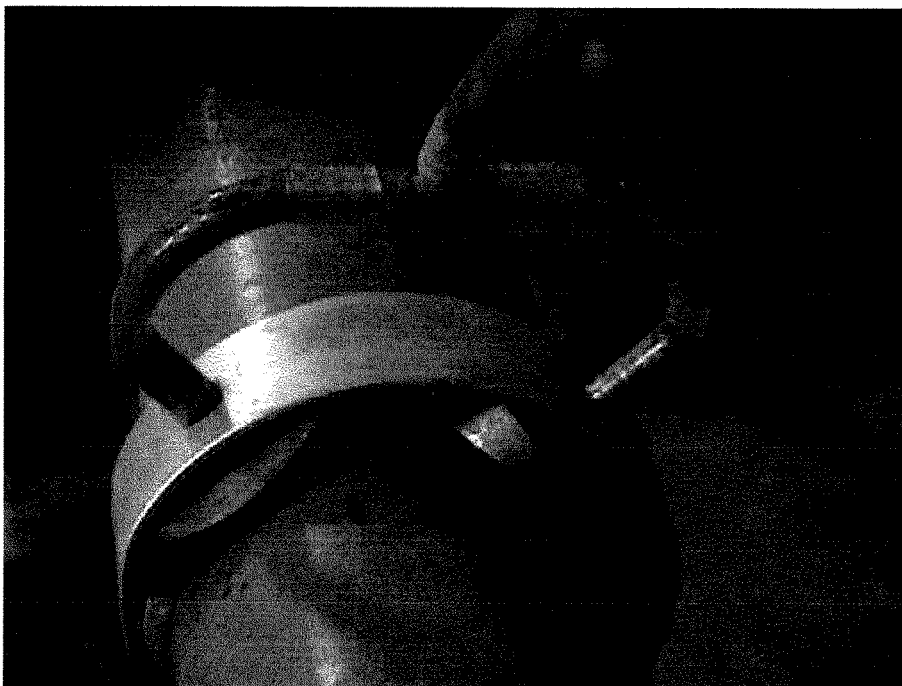


Foto 9 – Tomada de Pressão

As mangueiras da seção (1) e (2) foram acopladas a um transdutor diferencial de pressão com um limite de variação de 0 a 700 mm H₂O (T1).

As mangueiras da seção (1) e (3) foram acopladas a um transdutor diferencial de pressão com um limite de variação de 0 a 4000 mm H₂O (T2).

A mangueira da seção (1) tem uma bifurcação através de um “T” que permite transmitir a pressão para os transdutores diferenciais (T1) e (T2) conforme esquematizado na Fig. 5.

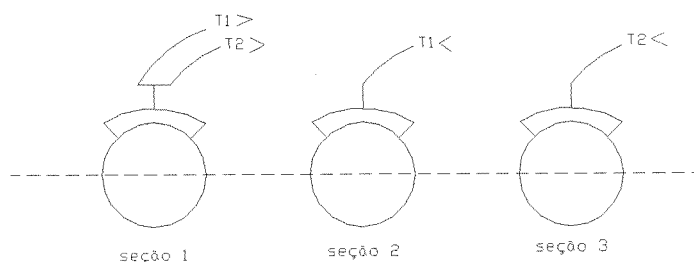


Figura (5) – Esquema da ligação das mangueiras aos transdutores

Diferença de pressão entre (T1>) e (T1<) resulta a perda de carga em 1 m de tubo, enquanto que a diferença de pressão entre (T2>) e (T2<) resultará a perda de carga em 3 m de tubo.

3.12 - Metodologia de Cálculos

3.12.1 - Cálculo da Vazão

A vazão de água limpa ou da mistura foi calculada através da seguinte equação:

$$Q = \text{Vol}/t \quad (32)$$

onde:

Q = vazão (m^3/s);

Vol. = volume da água limpa ou da mistura depositada no tanque volumétrico (m^3);

t = tempo em que o fluxo ficou desviado para o tanque volumétrico (s).

3.12.2 - Cálculo da Concentração Média do Sólido na Mistura

A concentração média do sólido expressa em volume da mistura foi calculada através da equação (5)

$$d_{rm} = 1 + C.(d_r - 1) \quad (5)$$

3.13 - Preparação do Sólido e da Mistura Água-Sólido

3.13.1 - Preparação do Sólido

O sólido a ser utilizado nas misturas foi tratado ficando completamente isento de matérias orgânicas ou outros elementos estranhos. Passou pelo processo de secagem em estufa a 103 °C durante 24 horas, de modo a ficar com umidade praticamente zero.

Visando melhor caracterizar o sólido utilizado na composição das misturas, foi levantada a curva granulométrica e determinado a sua massa específica.

3.13.2 - Preparação da Mistura de Água e areia

Para cada ensaio, foi preparada no reservatório principal, uma mistura de concentração conhecida obtida pela adição de um determinado volume de sólido seco a um volume conhecido de água limpa.

As medidas somente foram executadas após assegurada a estabilidade dos processos de bombeamento desenvolvidos pela bomba principal e pelas bombas misturadoras.

3.14 - Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados é o ADS-2000 da "HIGH TECH". É composto por uma placa controladora e placas de condicionadores de sinais, formando um sistema flexível e compacto que permite o uso de qualquer tipo de computador.

Os sinais vindos dos transdutores de pressão ou do medidor eletromagnético são captados e convertidos pelo ADS-2000.

Os sinais convertidos são tratados pelo “software” “Elipse” como dados usuais: diferenças de pressão (perdas de carga) e vazão.

O “Elipse” permite a utilização dos dados através de planilhas eletrônicas do tipo Excel, o que facilitou muito o trabalho.

4 – Resultados e Análises

4.1 – Apresentação dos Dados

O sólido utilizado nos ensaios experimentais foi uma areia isenta de matéria orgânica existente no Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos e utilizada em pesquisas anteriores. Antes de se iniciarem os ensaios, foi feita a análise granulométrica desta areia através do ensaio das peneiras obtendo-se um $d_{50} = 0,20$ mm (ver curva granulométrica no Apêndice G). Determinou-se a massa específica de $2,68 \text{ g/cm}^3$ para esta areia através do ensaio do picnômetro.

Durante a montagem da bancada de ensaio, foram determinados os diâmetros internos médios de 7,468 cm, 7,486 cm e 7,484 cm para os trechos ascendente, descendente e horizontal respectivamente. Estes diâmetros foram medidos para possibilitar o cálculo da velocidade média de escoamento da mistura, a partir das vazões medidas pelo Medidor Eletromagnético de Vazão Microprocessado. Como o diâmetro interno médio dos três trechos são muito próximos, utilizou-se a média aritmética dos três diâmetros para calcular a velocidade média de escoamento.

Para calcular o diâmetro médio de cada tubo utilizou-se o seguinte procedimento: mediu-se o diâmetro interno de uma seção transversal do tubo com um paquímetro em 4 diâmetros e calculou-se a média aritmética. Depois, encheu-se o tubo com água e mediu-se o volume. A partir do volume, calculou-se o diâmetro interno do tubo através da equação usada no cálculo do volume de um cilindro. O diâmetro médio final para cada tubo foi obtido pela média aritmética entre o diâmetro médio obtido pelo paquímetro e o diâmetro calculado pela equação do volume de um cilindro.

Durante os ensaios experimentais foram realizadas 121 bateladas nas quais foram medidos os valores das perdas de carga e da vazão de água nos trechos inclinados de $5,5^\circ$ e 45° e horizontal, os valores das perdas de carga e da vazão de misturas água-areia em trechos inclinados de $5,5^\circ$, 11° , $22,5^\circ$, 34° e 45° e horizontal, preparados nas concentrações de 5%, 10% e 15%.

As perdas de carga nos trechos inclinados e horizontal foram medidas através de tomadas de pressão distanciadas de 1m e 3m. Variou-se a vazão de 600 l/min a 1400 l/min aproximadamente.

As perdas de carga foram medidas em 1m e 3m de tubulação com o propósito de melhorar a precisão. Para vazões mais baixas, tem-se melhor precisão nos transdutores com limites de variação de 0 a 700 mm H₂O. Para vazões maiores, que provocam perdas acima de 700 mm H₂O, os transdutores de 0 a 4000 mm têm maior precisão.

Durante cada ensaio para as misturas água-areia, eram realizadas em média, 7 bateladas variando a vazão. Para a água limpa, foram realizadas em média, 8 bateladas variando a vazão. Cada batelada, para as misturas água-areia, durava 1,5 minuto o que resultava, em média, 140 valores de perdas de carga em cada trecho de tubulação e da vazão escoada. Para cada um destes parâmetros era fornecida a média aritmética dos 140 valores. Cada batelada, para a água limpa, tinha uma duração de 1 minuto resultando, em média, 110 valores de perdas de carga e de vazão.

À medida que a inclinação do tubo e a concentração do sólido eram aumentados, os valores das perdas de carga de pressão referentes ao fluxo de sentido descendente atingiam valores negativos. Como os transdutores diferenciais não registram valores negativos, eles acusaram os valores zero verificados.

O motivo para as perdas de carga de pressão no trecho descendente ficarem negativas à medida que a inclinação e a concentração aumentam, é porque no trecho descendente o sólido escoar mais rapidamente que o fluido, resultando a jusante, pontos de densidade maiores, e conseqüentemente pontos de pressões mais elevadas a jusante se comparados com aquelas a montante.

Apresenta-se no Apêndice A, a título de exemplo, os valores da batelada referentes às perdas de carga provocadas pelo escoamento de mistura de água e areia, com concentração de 5%, em trechos inclinados de 45° e horizontal com as médias e os desvios padrões relativos aos parâmetros medidos.

A partir dos valores médios calculados para cada batelada, elaborou-se as tabelas que constam no Apêndice B.

Portanto, no Apêndice B constam:

- Perdas de carga referentes ao escoamento de água, o nome das bateladas, a vazão média escoada, o número de pontos medidos em cada batelada, a média aritmética e os desvios padrões dos pontos medidos em trechos horizontal e inclinado de 5,5°.

- Perdas de carga referentes ao escoamento de água, o nome das bateladas, a vazão média escoada, o número de pontos medidos em cada batelada, a média aritmética e os desvios padrões dos pontos medidos em trechos horizontal e inclinado de 45°.

- Perdas de carga referentes ao escoamento de mistura água-areia, o nome das bateladas, a vazão média escoada, o número de pontos medidos em cada batelada, a média aritmética e os desvios padrões dos pontos medidos para as concentrações de 5%, 10% e 15% para o trecho horizontal e com as seguintes concentrações e inclinações para os trechos inclinados:

- c=5% - inclinação: 5,5 graus
 inclinação: 11 graus
 inclinação: 22,5 graus
 inclinação: 34 graus
 inclinação: 45 graus
- c=10% - inclinação: 5,5 graus
 inclinação: 11 graus
 inclinação: 22,5 graus
 inclinação: 34 graus
 inclinação: 45 graus
- c=15% - inclinação: 5,5 graus
 inclinação: 11 graus
 inclinação: 22,5 graus
 inclinação: 34 graus
 inclinação: 45 graus

No Apêndice C, a partir dos valores médios das perdas de carga unitárias (J_m) e das respectivas velocidades médias (V), calculadas a partir das vazões médias escoadas, foram elaborados os gráficos $J_m \times V$ para os escoamentos de água limpa e de misturas água-areia para os trechos horizontal, ascendente e descendente, numerados de Fig. 1C a 17C.

Nas Fig. 1C a 33C foram feitos vários ajustes de curva com o objetivo de desenvolver três equações empíricas para calcular as perdas de carga unitárias para mistura água-areia em função da velocidade média de escoamento, concentração e inclinação para os trechos horizontal, ascendente e descendente.

Nas Fig. 1C e 2C são apresentadas as perdas de carga unitárias em função das velocidades médias para água limpa.

Nas Fig. 3C a 29C são apresentadas todas as funções ajustadas para os pontos ($J_m \times V$) para os escoamentos de misturas água-areia para todas as concentrações e todos os ângulos para os trechos ascendente e descendente.

Nas Fig. 30C a 33C são apresentadas todas as funções ajustadas para os pontos ($J_m \times V$) para os escoamentos de misturas água-areia para todas as concentrações para o trecho horizontal.

No Apêndice D, a partir dos valores médios das perdas de carga unitárias (J_m) e das respectivas velocidades médias (V), calculadas a partir das vazões médias escoadas, foram elaborados os gráficos $J_m \times V$, numerados de Fig. 1D a 7D, para os escoamentos de misturas água-areia no trecho horizontal para as concentrações de 5%, 10% e 15% e nos trechos ascendente e descendente, fixando cada uma das três concentrações, para inclinações de 5,5°, 11°, 22,5°, 34° e 45°.

No Apêndice E constam:

- Nas Tabelas 1E a 9E apresenta-se valores médios experimentais das perdas de carga unitárias, valores das perdas de carga unitárias calculadas a partir das equações desenvolvidas, velocidades médias experimentais de escoamento e velocidades variando de 2,0 m/s a 5,5 m/s para os escoamentos de misturas água-areia no trecho horizontal para as concentrações de 5%,

10% e 15% e nos trechos ascendente e descendente, fixando cada uma das três concentrações, para inclinações de 5,5°, 11°, 22,5°, 34° e 45°.

- Nas Tabelas 10E a 16E apresenta-se valores das perdas de carga unitárias calculadas pela equação de GRAF (1972), valores das perdas de carga unitárias calculadas a partir das equações desenvolvidas, velocidades variando de 2,0 m/s a 5,5 m/s e os erros relativos entre elas para os escoamentos de misturas água-areia no trecho horizontal para as concentrações de 5%, 10% e 15% e nos trechos ascendente e descendente, fixando cada uma das três concentrações, para inclinações de 5,5°, 11°, 22,5°, 34° e 45°.

- Nas Tabelas 17E a 23E apresenta-se valores das perdas de carga unitárias calculadas pela equação de WORSTER & DENNY (1955), valores das perdas de carga unitárias calculadas a partir das equações desenvolvidas, velocidades variando de 2,0 m/s a 5,5 m/s e os erros relativos entre elas para os escoamentos de misturas água-areia no trecho horizontal para as concentrações de 5%, 10% e 15% e nos trechos ascendente e descendente, fixando cada uma das três concentrações, para inclinações de 5,5°, 11°, 22,5°, 34° e 45°.

No Apêndice F constam:

- Nas Tabelas 1F a 24F apresenta-se valores das perdas de carga unitárias calculadas a partir das equações desenvolvidas e velocidades variando de 2,0 m/s a 5,5 m/s para os escoamentos de misturas água-areia no trecho horizontal para as concentrações de 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14% e 15% e nos trechos ascendente e descendente, fixando cada uma das onze concentrações, para inclinações de 5,5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40° e 45°.

4.2 – Análises

Nas Fig. 1C e 2C apresenta-se os pontos $J_m \times V$ para a água limpa nos trechos horizontal, ascendente e descendente para os ângulos 5,5° e 45°.

Verificou-se que as perdas de carga unitárias para os três trechos é praticamente igual e não depende da inclinação dos tubos. Estes resultados estão de acordo com a teoria de escoamento de fluidos em condutos forçados sob regime permanente e uniforme.

Para explicar como os ajustes foram feitos, usar-se-ão como exemplos os trechos horizontal e ascendente. O mesmo procedimento foi repetido para o trecho descendente.

Ascendente:

Nas Fig. 3C a 17C apresenta-se as funções ajustadas para os pontos $J_m \times V$ para os escoamentos de mistura água-areia com concentrações de 5%, 10% e 15% nos trechos ascendente e descendente para inclinações de 5,5°, 11°, 22,5°, 34° e 45°.

Ajuste 1: $J_m \times V$ para 5 ângulos de inclinações $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ e α_5 e 3 concentrações de valores c_1, c_2 e c_3 .

$J_{\alpha ij} - i = \text{ângulo}$

$j = \text{concentração}$

Para c_1 :

$$J_{\alpha 11} = a_{11} v^2 + b_{11} v + c_{11}$$

$$J_{\alpha 21} = a_{21} v^2 + b_{21} v + c_{21}$$

$$J_{\alpha 31} = a_{31} v^2 + b_{31} v + c_{31}$$

$$J_{\alpha 41} = a_{41} v^2 + b_{41} v + c_{41}$$

$$J_{\alpha 51} = a_{51} v^2 + b_{51} v + c_{51}$$

Para c_2 :

$$J_{\alpha 12} = a_{12} v^2 + b_{12} v + c_{12}$$

$$J_{\alpha 22} = a_{22} v^2 + b_{22} v + c_{22}$$

$$J_{\alpha 32} = a_{32} v^2 + b_{32} v + c_{32}$$

$$J\alpha_{42} = a_{42} v^2 + b_{42} v + c_{42}$$

$$J\alpha_{52} = a_{52} v^2 + b_{52} v + c_{52}$$

Para c3:

$$J\alpha_{13} = a_{13} v^2 + b_{13} v + c_{13}$$

$$J\alpha_{23} = a_{23} v^2 + b_{23} v + c_{23}$$

$$J\alpha_{33} = a_{33} v^2 + b_{33} v + c_{33}$$

$$J\alpha_{43} = a_{43} v^2 + b_{43} v + c_{43}$$

$$J\alpha_{53} = a_{53} v^2 + b_{53} v + c_{53}$$

Foram tomados os coeficientes das primeiras curvas de ajuste fixando uma concentração. Assim, para uma dada concentração, por exemplo, de 5%, foram obtidas nas Fig. 18C a 23C funções ajustadas de cada coeficiente versus o ângulo de inclinação. Este mesmo procedimento foi repetido para as concentrações de 10% e 15%.

Ajuste 2: para cada concentração ajustou-se os coeficientes a_{ij} , b_{ij} e c_{ij} em função dos ângulos α_1 , α_2 , α_3 , α_4 e α_5 .

Para c1:

$$a_{i1} = A_{11} \alpha^4 + A_{21} \alpha^3 + A_{31} \alpha^2 + A_{41} \alpha + A_{51}$$

$$b_{i1} = B_{11} \alpha^4 + B_{21} \alpha^3 + B_{31} \alpha^2 + B_{41} \alpha + B_{51}$$

$$c_{i1} = C_{11} \alpha^4 + C_{21} \alpha^3 + C_{31} \alpha^2 + C_{41} \alpha + C_{51}$$

Para c2:

$$a_{i2} = A_{12} \alpha^4 + A_{22} \alpha^3 + A_{32} \alpha^2 + A_{42} \alpha + A_{52}$$

$$b_{i2} = B_{12} \alpha^4 + B_{22} \alpha^3 + B_{32} \alpha^2 + B_{42} \alpha + B_{52}$$

$$c_{i2} = C_{12} \alpha^4 + C_{22} \alpha^3 + C_{32} \alpha^2 + C_{42} \alpha + C_{52}$$

Para c3:

$$ai3 = A13 \alpha^4 + A23 \alpha^3 + A33 \alpha^2 + A43 \alpha + A53$$

$$bi3 = B13 \alpha^4 + B23 \alpha^3 + B33 \alpha^2 + B43 \alpha + B53$$

$$ci3 = C13 \alpha^4 + C23 \alpha^3 + C33 \alpha^2 + C43 \alpha + C53$$

Resultado dos ajustes 1 e 2:

Para c1:

$$Jc1 = [A11 \alpha^4 + A21 \alpha^3 + A31 \alpha^2 + A41 \alpha + A51] v^2 + [B11 \alpha^4 + B21 \alpha^3 + B31 \alpha^2 + B41 \alpha + B51] v + [C11 \alpha^4 + C21 \alpha^3 + C31 \alpha^2 + C41 \alpha + C51]$$

Para c2:

$$Jc2 = [A12 \alpha^4 + A22 \alpha^3 + A32 \alpha^2 + A42 \alpha + A52] v^2 + [B12 \alpha^4 + B22 \alpha^3 + B32 \alpha^2 + B42 \alpha + B52] v + [C12 \alpha^4 + C22 \alpha^3 + C32 \alpha^2 + C42 \alpha + C52]$$

Para c3:

$$Jc3 = [A13 \alpha^4 + A23 \alpha^3 + A33 \alpha^2 + A43 \alpha + A53] v^2 + [B13 \alpha^4 + B23 \alpha^3 + B33 \alpha^2 + B43 \alpha + B53] v + [C13 \alpha^4 + C23 \alpha^3 + C33 \alpha^2 + C43 \alpha + C53]$$

Foram tomados os coeficientes dos segundos ajustes e foram obtidas nas Fig. 24C a 29C funções ajustadas destes coeficientes versus as concentrações.

Ajuste 3: os coeficientes Aij, Bij e Cij foram ajustados em função das concentrações.

$A1 = D1 c^2 + E1 c + F1$	$B1 = D6 c^2 + E6 c + F6$	$C1 = D11 c^2 + E11 c + F11$
$A2 = D2 c^2 + E2 c + F2$	$B2 = D7 c^2 + E7 c + F7$	$C2 = D12 c^2 + E12 c + F12$
$A3 = D3 c^2 + E3 c + F3$	$B3 = D8 c^2 + E8 c + F8$	$C3 = D13 c^2 + E13 c + F13$
$A4 = D4 c^2 + E4 c + F4$	$B4 = D9 c^2 + E9 c + F9$	$C4 = D14 c^2 + E14 c + F14$
$A5 = D5 c^2 + E5 c + F5$	$B5 = D10 c^2 + E10 c + F10$	$C5 = D15 c^2 + E15 c + F15$

Resultado dos ajustes 1, 2 e 3:

$$J_a = [(D1 \, c^2 + E1 \, c + F1) \, \alpha^4 + (D2 \, c^2 + E2 \, c + F2) \, \alpha^3 + (D3 \, c^2 + E3 \, c + F3) \, \alpha^2 + (D4 \, c^2 + E4 \, c + F4) \, \alpha + (D5 \, c^2 + E5 \, c + F5)] \, v^2 + [(D6 \, c^2 + E6 \, c + F6) \, \alpha^4 + (D7 \, c^2 + E7 \, c + F7) \, \alpha^3 + (D8 \, c^2 + E8 \, c + F8) \, \alpha^2 + (D9 \, c^2 + E9 \, c + F9) \, \alpha + (D10 \, c^2 + E10 \, c + F10)] \, v + [(D11 \, c^2 + E11 \, c + F11) \, \alpha^4 + (D12 \, c^2 + E12 \, c + F12) \, \alpha^3 + (D13 \, c^2 + E13 \, c + F13) \, \alpha^2 + (D14 \, c^2 + E14 \, c + F14) \, \alpha + (D15 \, c^2 + E15 \, c + F15)]$$

Observou-se que a concentração influi nas perdas de carga unitárias. Para o trecho ascendente, as perdas de carga aumentam com o aumento da concentração e para o trecho descendente, as perdas de carga diminuem com o aumento da concentração.

Outra observação feita, é que as perdas de carga unitárias para o trecho descendente são sempre menores que as perdas para o trecho horizontal que por sua vez são sempre menores que as perdas para o trecho ascendente, independente do ângulo de inclinação e das concentrações.

Horizontal:

Nas Fig. 30C a 32C apresenta-se as funções ajustadas para os pontos $J_m \times V$ para os escoamentos de mistura água-areia com concentrações de 5%, 10% e 15% no trecho horizontal.

Ajuste 1: $J_m \times V$ para 3 concentrações de valores c_1 , c_2 e c_3 .

$J_j - j =$ concentração

Para c_1 :

$$J_1 = a_1 \, v^2 + b_1 \, v + c_1$$

Para c_2 :

$$J_2 = a_2 v^2 + b_2 v + c_2$$

Para c_3 :

$$J_3 = a_3 v^2 + b_3 v + c_3$$

Foram tomados os coeficientes dos primeiros ajustes e foram obtidas na Fig. 33C funções ajustadas destes coeficientes versus as concentrações.

Ajuste 2: os coeficientes a_j , b_j e c_j foram ajustados em função das concentrações.

$$a_j = A_1 c^2 + B_1 c + C_1$$

$$b_j = A_2 c^2 + B_2 c + C_2$$

$$c_j = A_3 c^2 + B_3 c + C_3$$

Resultado dos ajustes 1 e 2:

$$J_h = (A_1 c^2 + B_1 c + C_1) v^2 + (A_2 c^2 + B_2 c + C_2) v + (A_3 c^2 + B_3 c + C_3)$$

Na Fig. 1D apresenta-se os pontos $J_m \times V$ para mistura água-areia no trecho horizontal para as concentrações 5%, 10% e 15%. Observou-se que a concentração influi nas perdas de carga unitárias do trecho horizontal, pois as perdas de carga para uma determinada velocidade, aumentam com a elevação da concentração.

Nas Fig. 2D a 4D apresenta-se os pontos $J_m \times V$ para mistura água-areia no trecho ascendente para as inclinações de 5,5°, 11°, 22,5°, 34° e 45°, para cada concentração.

Nas Fig. 5D a 7D apresenta-se os pontos $J_m \times V$ para mistura água-areia no trecho descendente para as inclinações de 5,5°, 11°, 22,5°, 34° e 45°, para cada concentração.

Observou-se que o ângulo de inclinação dos condutos influi nas perdas de carga unitárias. Para o trecho ascendente, as perdas de carga aumentam com o aumento do ângulo de inclinação e para o trecho descendente, as perdas de carga diminuem com o aumento do ângulo.

Depois de todos os ajustes feitos, chegou-se às seguintes equações para perda de carga unitária de misturas água-areia para concentrações de 5% a 15%, inclinações de 5,5° a 45° e velocidade média de escoamento de 2,0 m/s a 5,5 m/s:

a) escoamento horizontal

$$J_h = (-0,5c^2 + 0,105c + 0,0049)v^2 + (2,920c^2 - 0,6240c + 0,02210)v + (-4,32c^2 + 1,086c - 0,0237) \quad (32)$$

onde:

J_h = perda de carga para escoamento horizontal da mistura (m/m)

v = velocidade média de escoamento da mistura (m/s)

c = concentração em volume da mistura (%)

b) escoamento ascendente

$$J_a = [(-304,12c^2 + 52,838c - 2,2553)\alpha^4 + (526,4c^2 - 89,038c + 3,7187)\alpha^3 + (-290c^2 + 46,862c - 1,8905)\alpha^2 + (49,24c^2 - 6,926c + 0,2555)\alpha + (-0,54c^2 - 0,103c + 0,0179)]v^2 + [(2890,8c^2 - 496,76c + 20,307)\alpha^4 + (-4890,5c^2 + 830,35c - 33,268)\alpha^3 + (2684c^2 - 438,75c + 17)\alpha^2 + (-484,36c^2 + 71,758c - 2,5667)\alpha + (14,04c^2 - 1,008c - 0,0064)]v + [(-5743,4c^2 + 987,69c - 38,788)\alpha^4 + (9784,9c^2 - 1651,1c + 63,791)\alpha^3 + (-5376,9c^2 + 878,20c - 33,01)\alpha^2 + (1003,10c^2 - 49,640c + 5,353)\alpha + (-37,480c^2 + 4,188c - 0,0607)] \quad (33)$$

onde:

J_a = perda de carga para escoamento ascendente da mistura (m/m)

v = velocidade média de escoamento da mistura (m/s)

c = concentração em volume da mistura (%)

α = ângulo de inclinação do conduto (radianos)

c) escoamento descendente

$$\begin{aligned} J_d = & [(-539,72c^2 + 99,146c - 3,8712)\alpha^4 + (837,32c^2 - 149,47c + 5,8094)\alpha^3 + (- \\ & 390,1c^2 + 67,143c - 2,5986)\alpha^2 + (55,72c^2 - 8,566c + 0,3168)\alpha + (-0,46c^2 - 0,073c + \\ & 0,0152)]v^2 + [(4910,2c^2 - 909,2c + 35,893)\alpha^4 + (-7735,3c^2 + 1395,2c - 54,784)\alpha^3 + \\ & (3706c^2 - 649,32c + 25,405)\alpha^2 + (-586,36c^2 + 95,722c - 3,6521)\alpha + (16,28c^2 - \\ & 1,872c + 0,0559)]v + [(-9692,6c^2 + 1831,5c - 72,913)\alpha^4 + (15421c^2 - 2844c + \\ & 112,72)\alpha^3 + (-7454,1c^2 + 1346,7c - 53,393)\alpha^2 + (1221,4c^2 - 212,75c + 8,2656)\alpha + (- \\ & 41,92c^2 + 6,418c - 0,2228)] \end{aligned} \quad (34)$$

onde:

J_d = perda de carga para escoamento descendente da mistura (m/m)

v = velocidade média de escoamento da mistura (m/s)

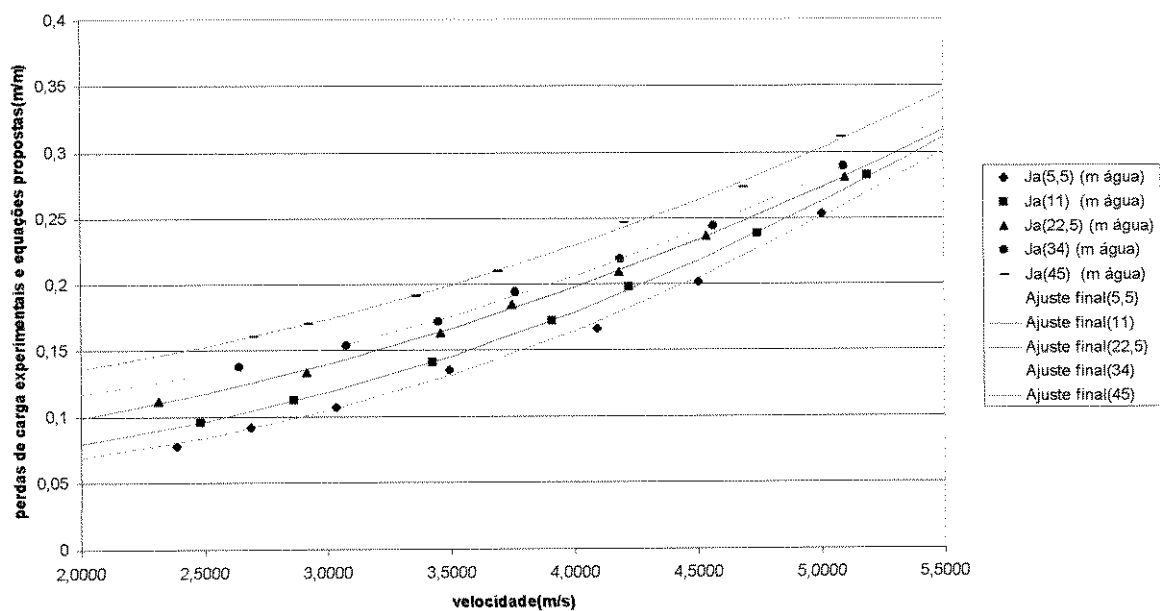
c = concentração em volume da mistura (%)

α = ângulo de inclinação do conduto (radianos)

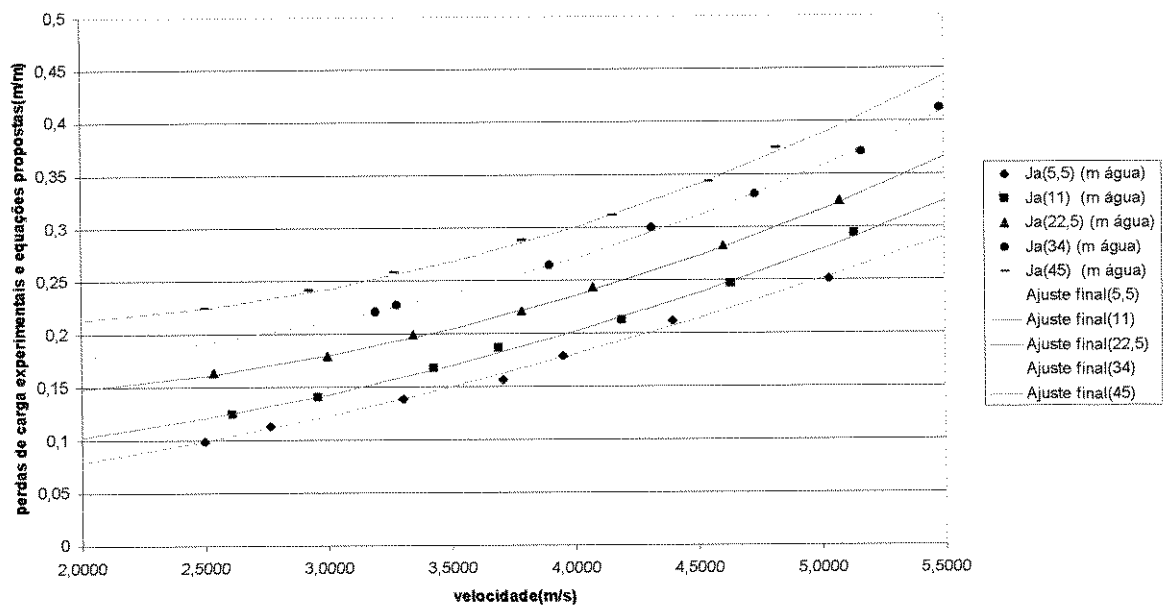
Com o objetivo de se verificar o ajuste dos pontos determinados experimentalmente com as equações desenvolvidas, foram elaborados os gráficos das Figuras 6 a 14. Observou-se que de uma maneira geral, as equações desenvolvidas se ajustam bem aos dados experimentais.

As Figuras 6, 7 e 8 referem-se ao escoamento ascendente de misturas água-areia de concentrações 5%, 10% e 15% respectivamente. Para cada Figura foi obtida uma família de curvas variando-se o ângulo de inclinação. Cada curva refere-se a um ângulo.

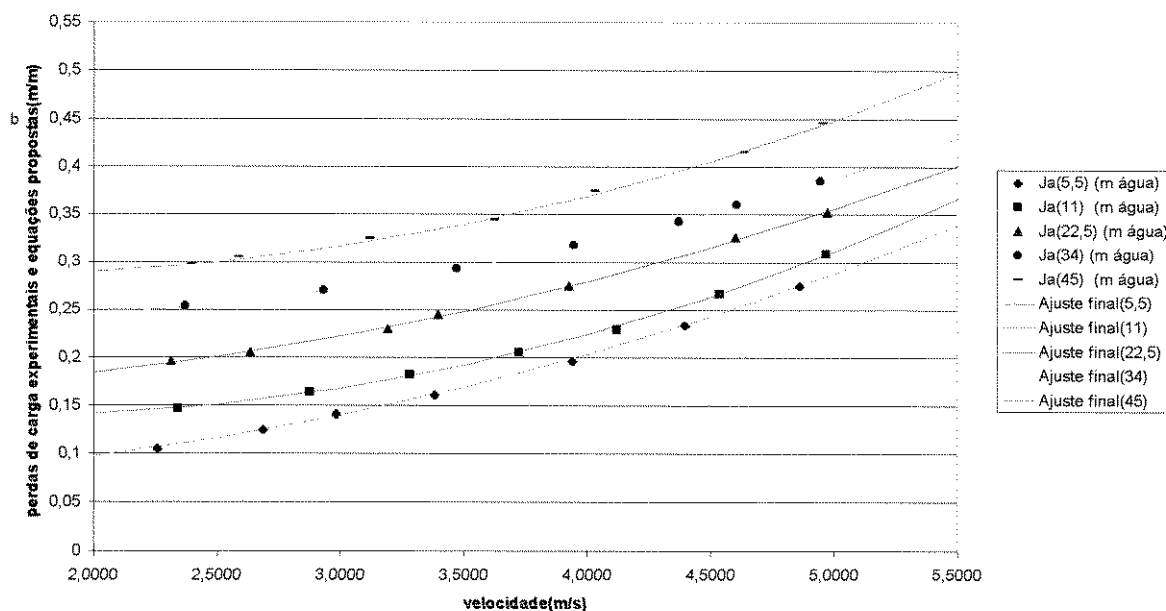
Apresenta-se a seguir estes gráficos:



Figura(6) - Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento ascendente e concentração (5%)

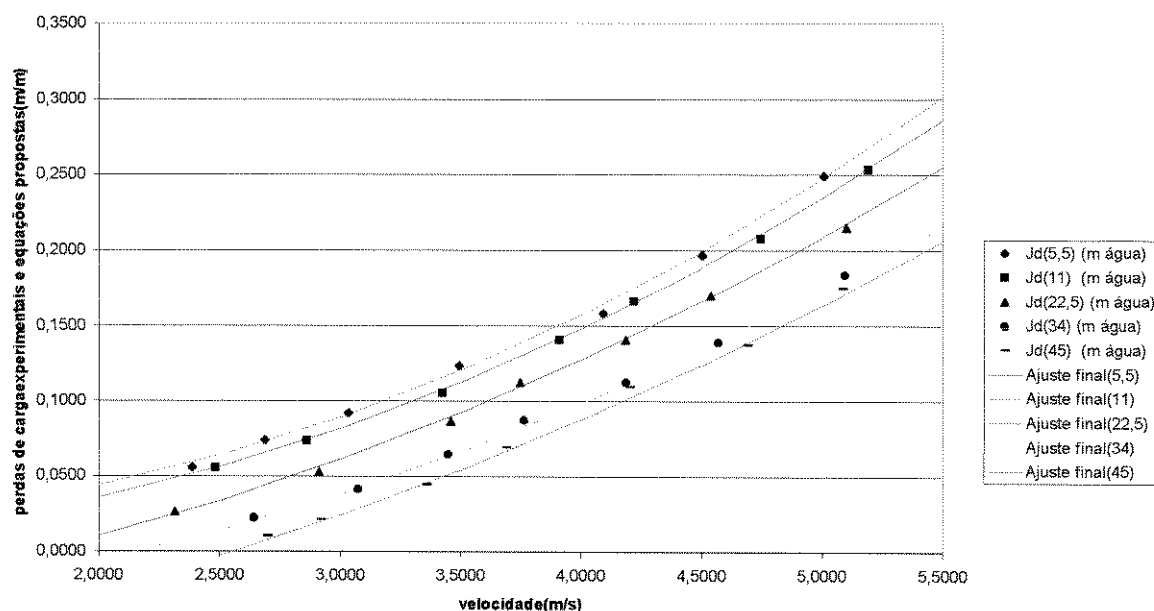


Figura(7) - Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento ascendente e concentração (10%)

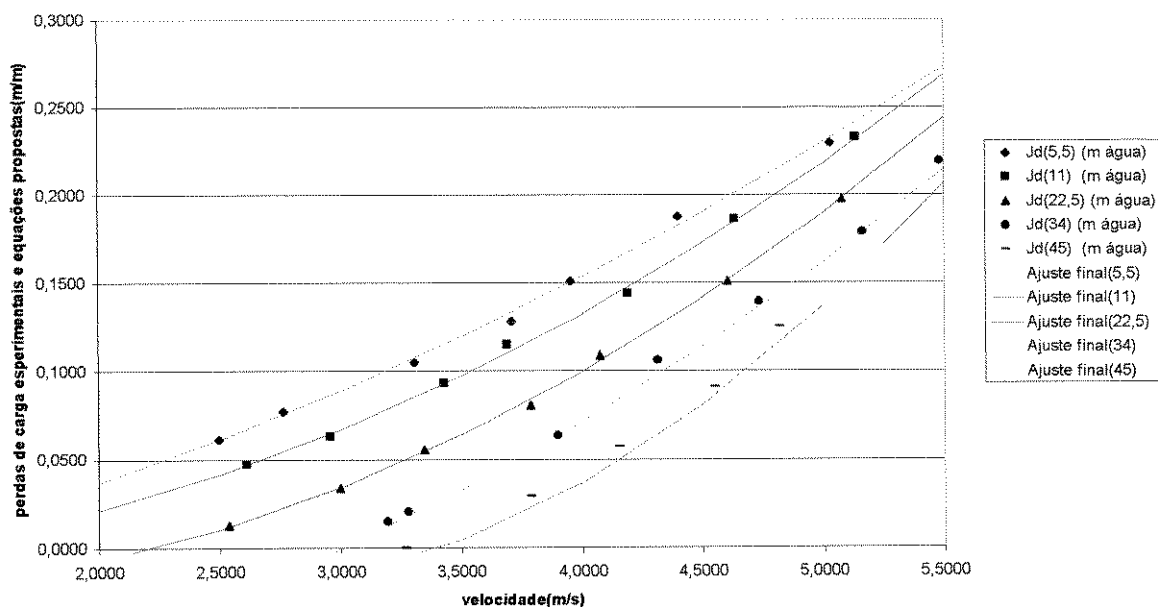


Figura(8) - Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento ascendente e concentração (15%)

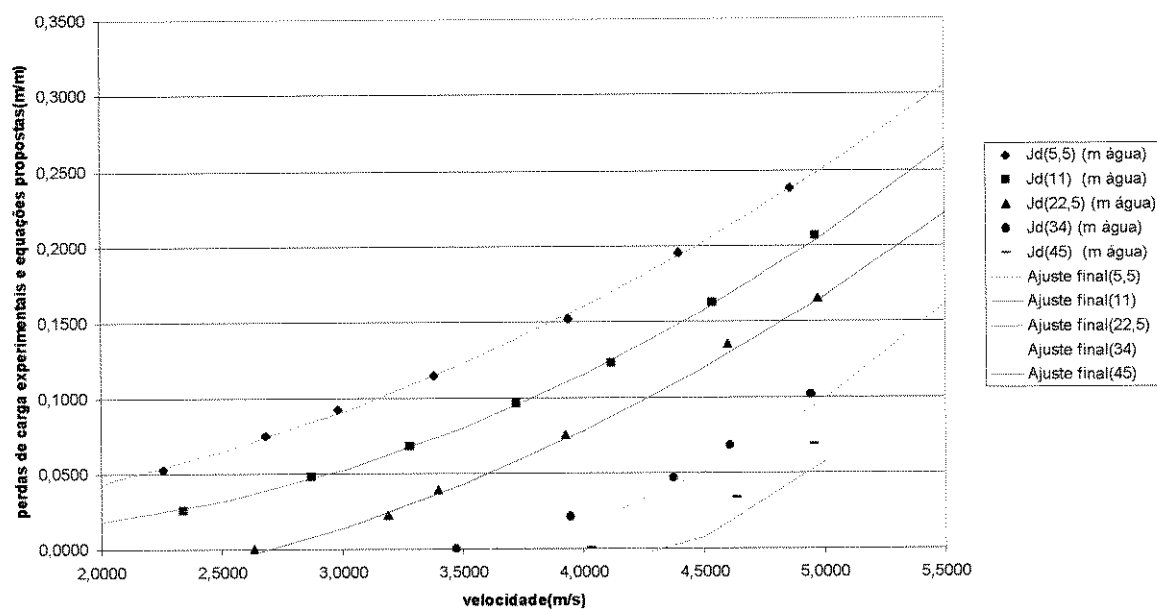
As Figuras 9, 10 e 11 referem-se ao escoamento descendente de misturas água-areia de concentrações 5%, 10% e 15% respectivamente. Para cada Figura foi obtida uma família de curvas variando-se o ângulo de inclinação. Cada curva refere-se a um ângulo.



Figura(9) - Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento descendente e concentração (5%)

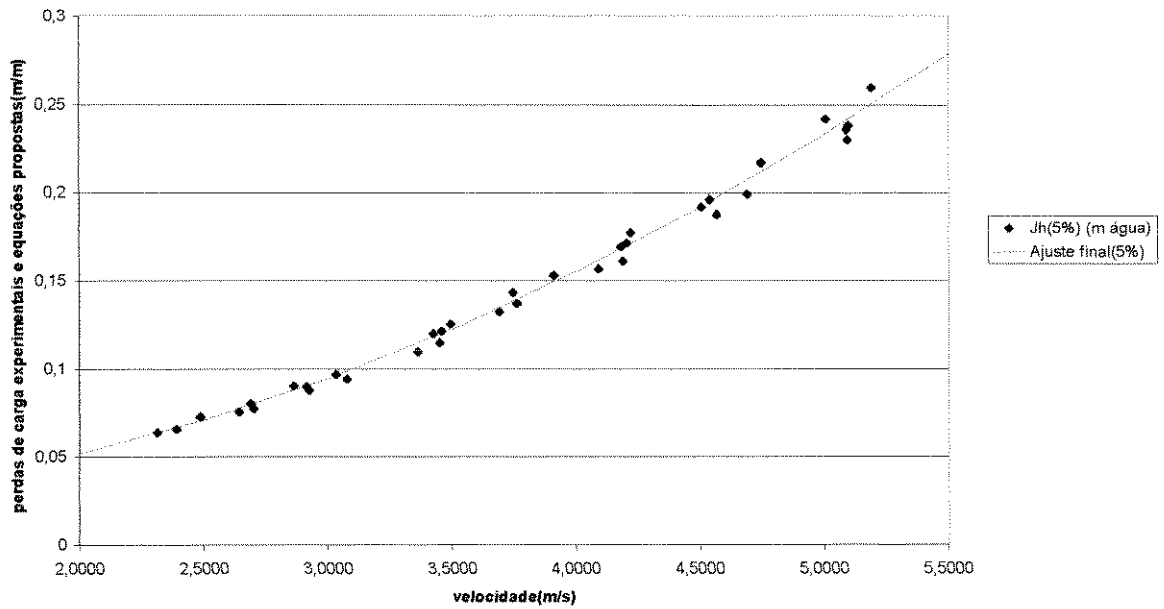


Figura(10) - Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento descendente e concentração (10%)

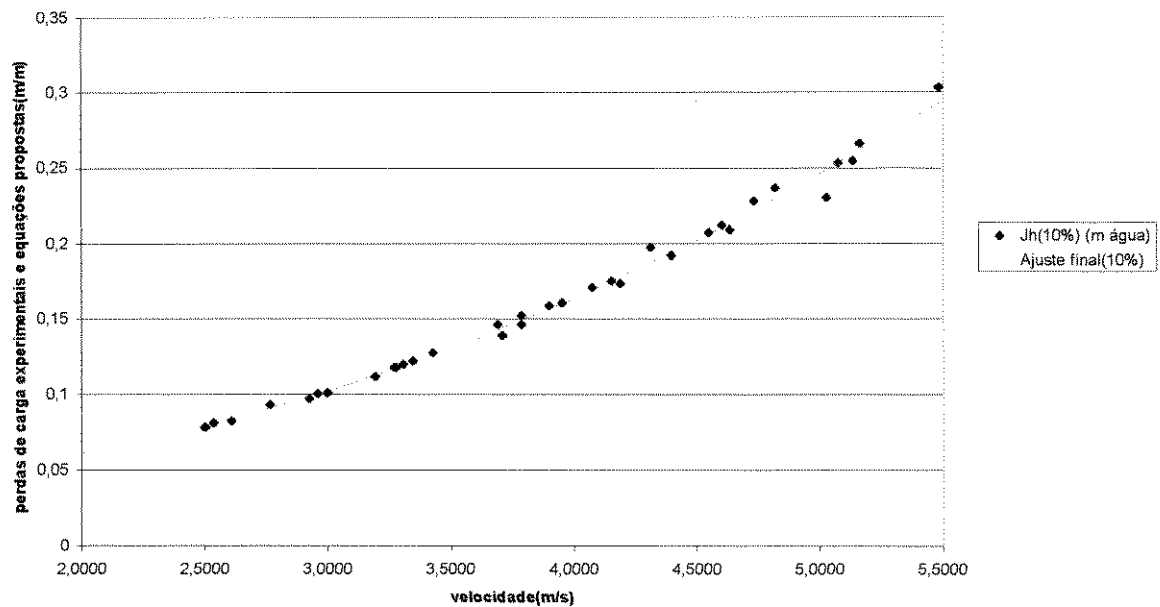


Figura(11) - Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento descendente e concentração (15%)

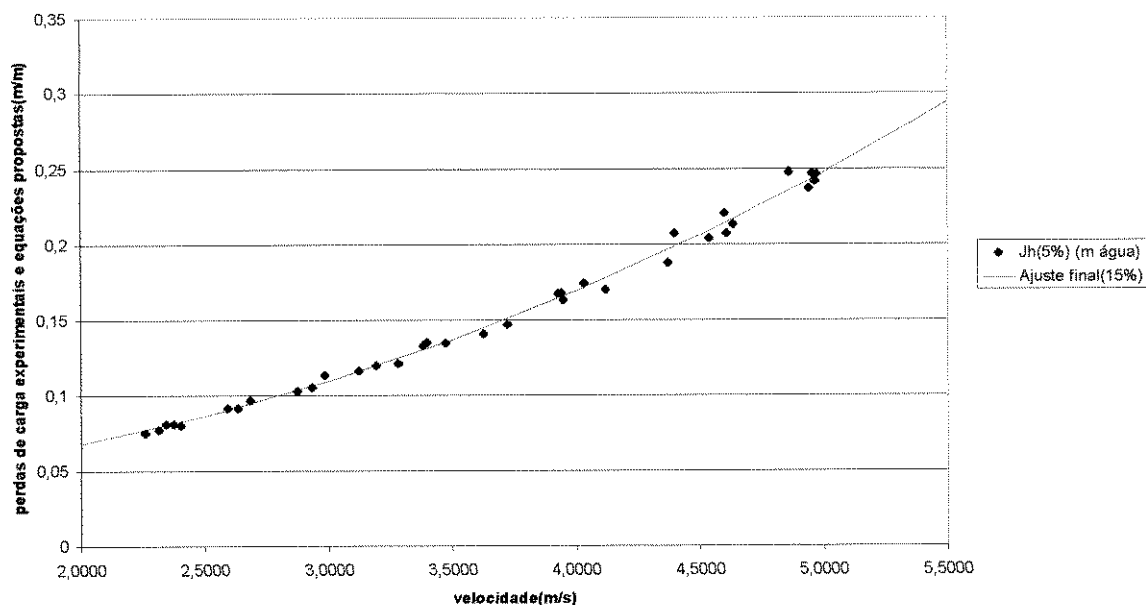
As Figuras 12, 13 e 14 referem-se ao escoamento horizontal de misturas água-areia de concentrações 5%, 10% e 15% respectivamente.



Figura(12) - Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento horizontal e concentração (5%)



Figura(13) - Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento horizontal e concentração (10%)



Figura(14) - Comparação: Perdas de Carga Experimentais com Equações Propostas x Velocidade-escoamento horizontal e concentração (15%)

A partir das equações de GRAF (1972), das equações de WORSTER & DENNY (1955) e das equações desenvolvidas neste trabalho, foram elaborados gráficos para comparar as equações destes autores com as equações desenvolvidas.

Para isto, foram plotados os valores das perdas de carga unitárias (J_m) obtidas pelas equações dos autores e pelas equações desenvolvidas em função das velocidades médias. As comparações foram feitas para os escoamentos de misturas água-areia no trecho horizontal nas concentrações de 5%, 10% e 15% e nos trechos ascendente e descendente, fixando cada uma das três concentrações, para inclinações de $5,5^\circ$, 11° , $22,5^\circ$, 34° e 45° .

Observou-se que para o escoamento da mistura água-areia no trecho horizontal, as equações dos autores fornecem valores relativamente próximos aos valores obtidos pelas equações desenvolvidas.

Para o escoamento no trecho ascendente, as equações de GRAF (1972) fornecem valores próximos aos valores obtidos pelas equações desenvolvidas para velocidades acima de 3,0 m/s. Nas equações de Woerster & Denny (1955), isto só acontece para as inclinações de $5,5^\circ$, 11° e $22,5^\circ$. Para velocidades inferiores a 3 m/s, os valores afastam-se muito para ambos autores.

Para o escoamento no trecho descendente, os valores obtidos pelas equações dos autores afastam-se muito dos obtidos pelas equações desenvolvidas. Isto se deve ao fato de que as equações dos autores fornecem os mesmos valores de perda de carga unitária para os trechos ascendente e descendente, o que não corresponde ao observado durante os ensaios experimentais, pois como foi dito anteriormente, para o trecho ascendente, as perdas de carga aumentam com o aumento do ângulo de inclinação e da concentração e para o trecho descendente, as perdas de carga diminuem com o aumento do ângulo e da concentração.

Apresenta-se a seguir as tabelas com os erros relativos entre as equações dos autores e as equações desenvolvidas e os gráficos comparando a equação de cada autor com a equação desenvolvida:

Tabela 2 – Diferenças Relativas (%) entre a Equação de Graf e a Equação Desenvolvida para velocidades variando de 1m/s a 5 m/s

concentração (%)	autor/ângulo	e (%) (ascendente)	e (%) (descendente)	e (%) (horizontal)
5	Graf (5,5)	14,518	9,309	10,665
	Graf (11)	14,356	47,251	
	Graf (22,5)	12,941	99,741	
	Graf (34)	12,142	461,357	
	Graf (45)	13,976	286,070	
10	Graf (5,5)	12,350	178,339	15,421
	Graf (11)	13,061	140,522	
	Graf (22,5)	13,297	1134,005	
	Graf (34)	11,593	311,687	
	Graf (45)	13,022	4639,691	
15	Graf (5,5)	13,365	51,425	18,614
	Graf (11)	16,968	210,347	
	Graf (22,5)	11,398	833,349	
	Graf (34)	12,936	984,364	
	Graf (45)	11,572	1991,035	

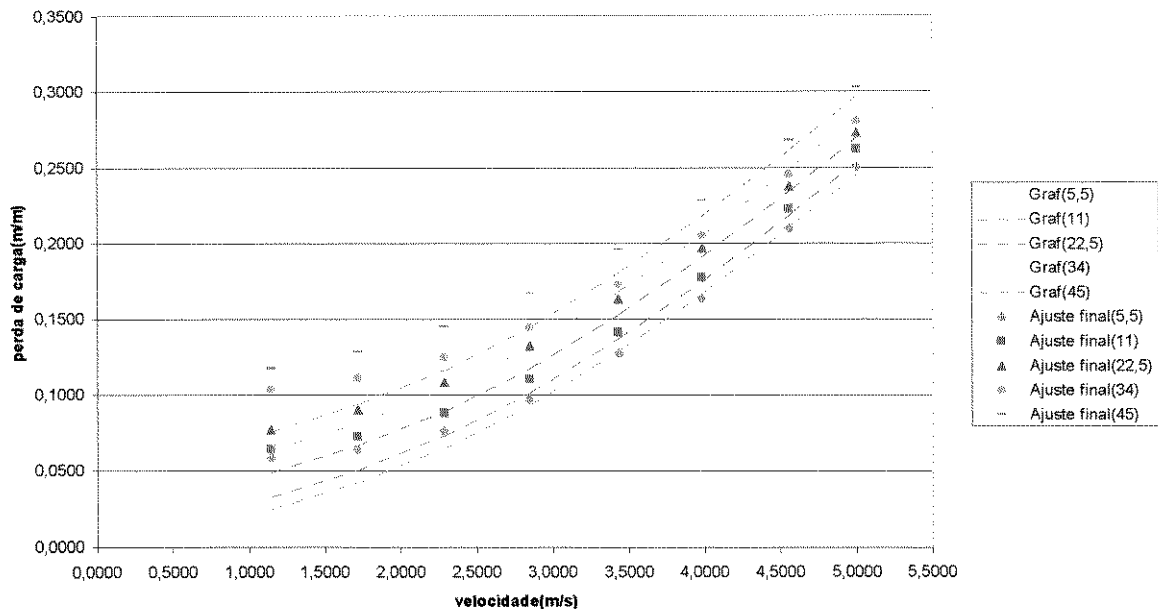
Tabela 3 – Diferenças Relativas (%) entre a Equação de Worster & Denny e a Equação Desenvolvida para velocidades variando de 1m/s a 5 m/s

concentração (%)	autor/ângulo	e (%) (ascendente)	e (%) (descendente)	e (%) (horizontal)
5	Worster & Denny (5,5)	14,547	8,974	10,665
	Worster & Denny (11)	15,669	45,168	
	Worster & Denny (22,5)	17,733	88,291	
	Worster & Denny (34)	21,214	402,271	
	Worster & Denny (45)	29,225	211,228	
10	Worster & Denny (5,5)	12,320	177,487	15,421
	Worster & Denny (11)	13,080	137,457	
	Worster & Denny (22,5)	16,497	1084,616	
	Worster & Denny (34)	19,494	267,050	
	Worster & Denny (45)	25,053	3902,796	
15	Worster & Denny (5,5)	13,363	50,908	18,614
	Worster & Denny (11)	16,878	230,543	
	Worster & Denny (22,5)	13,049	794,197	
	Worster & Denny (34)	16,405	874,927	
	Worster & Denny (45)	21,621	1638,945	

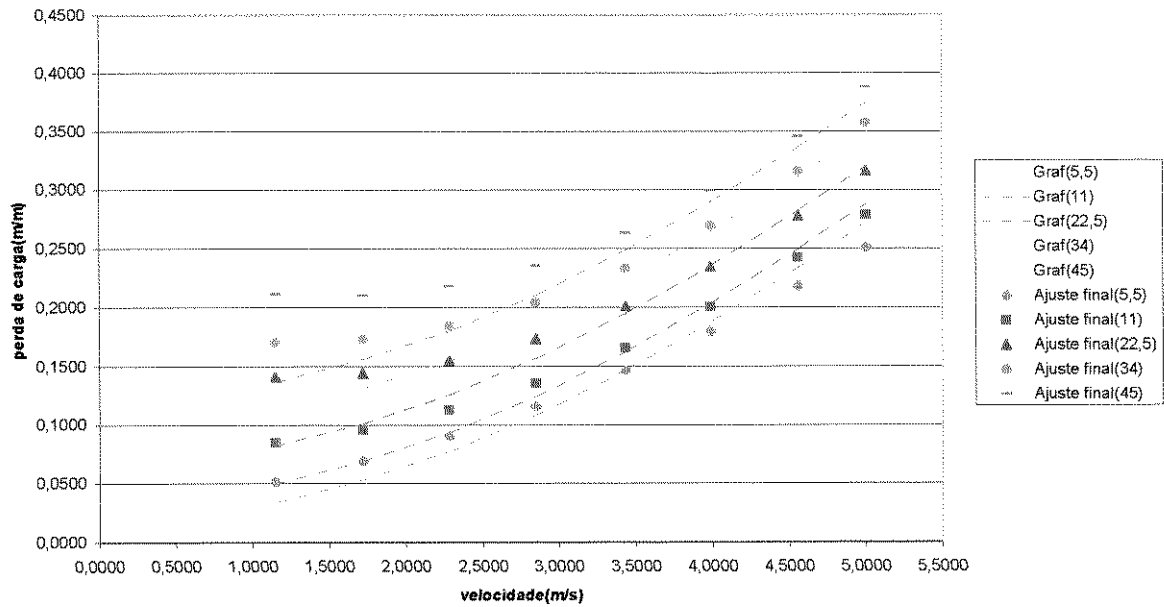
Onde:

$$e = (\sum | (J_{\text{autor}} - J_{\text{equação}}) / J_{\text{equação}} |) / k$$

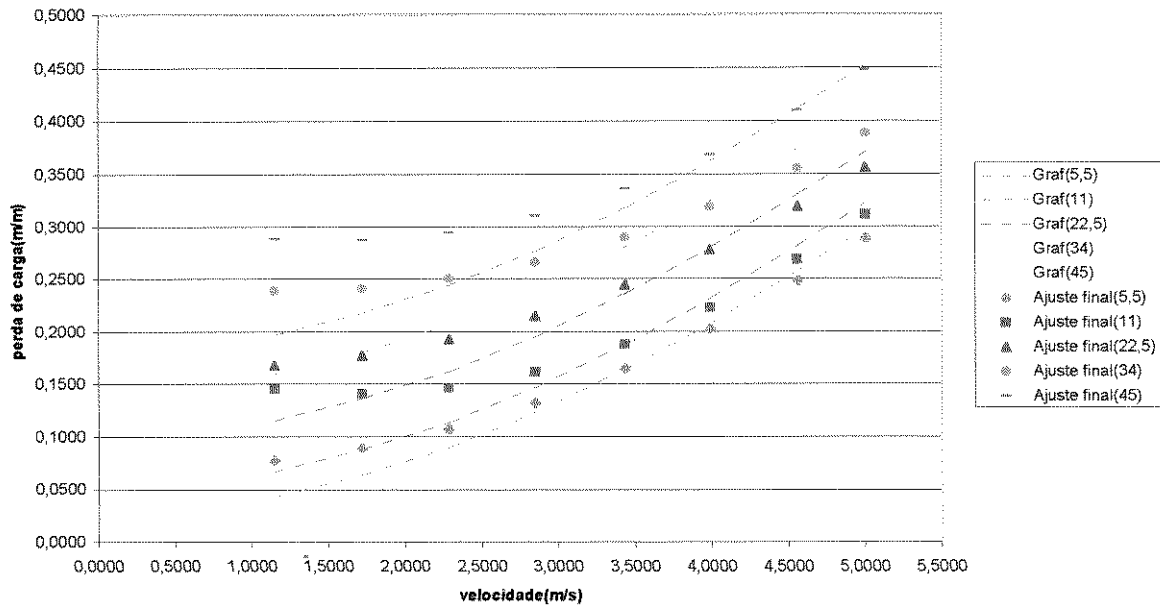
k= número de amostras



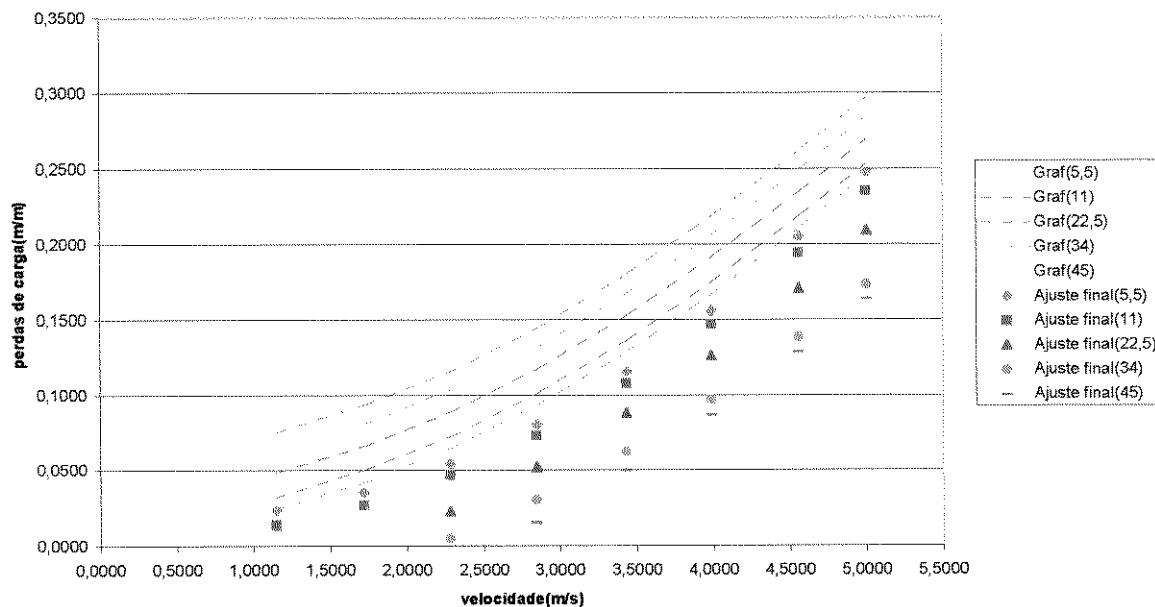
Figura(15) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(5%)



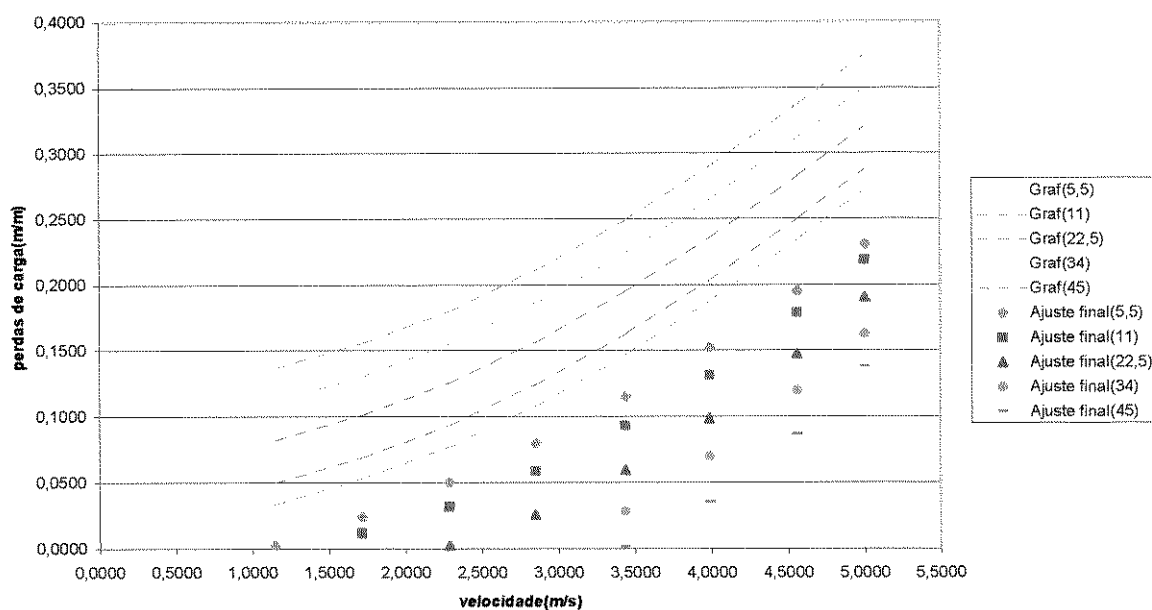
Figura(16) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(10%)



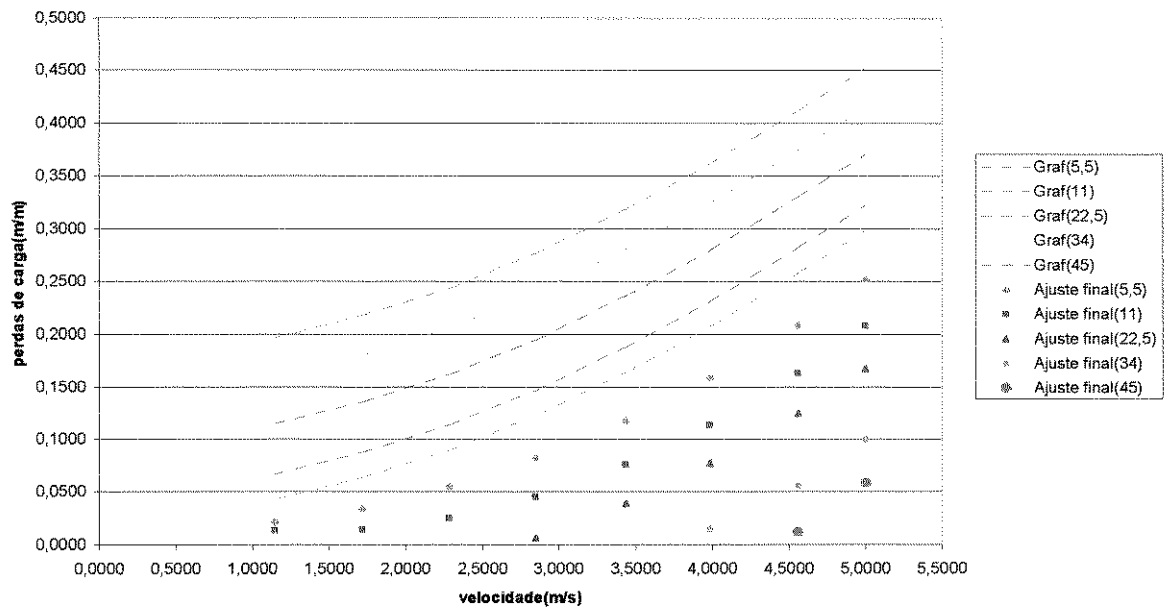
Figura(17) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(15%)



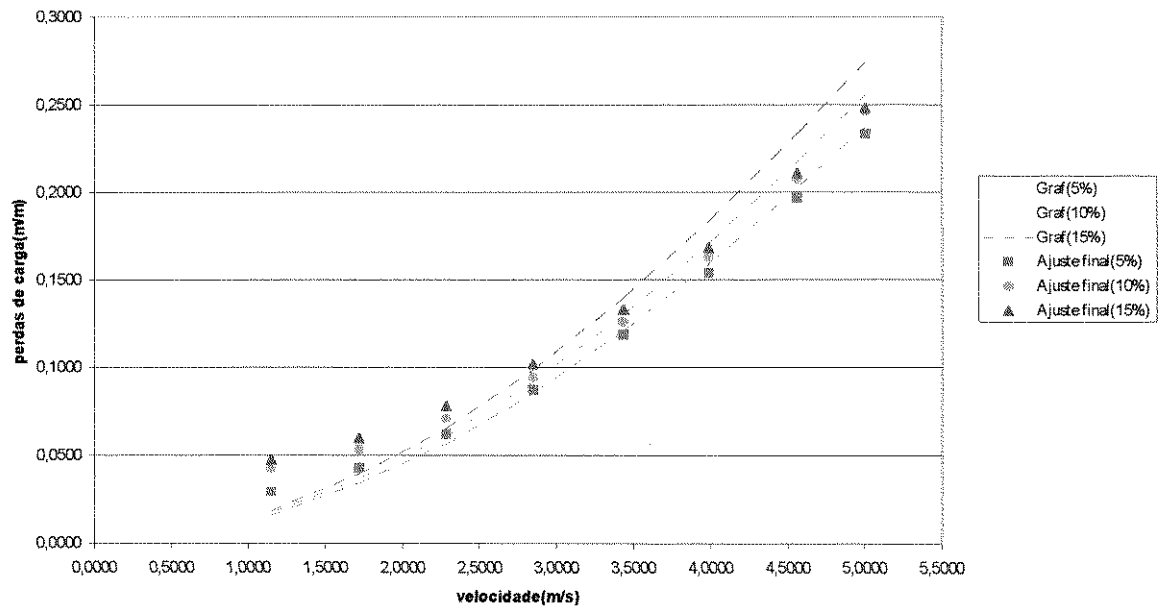
Figura(18) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento descendente e concentração(5%)



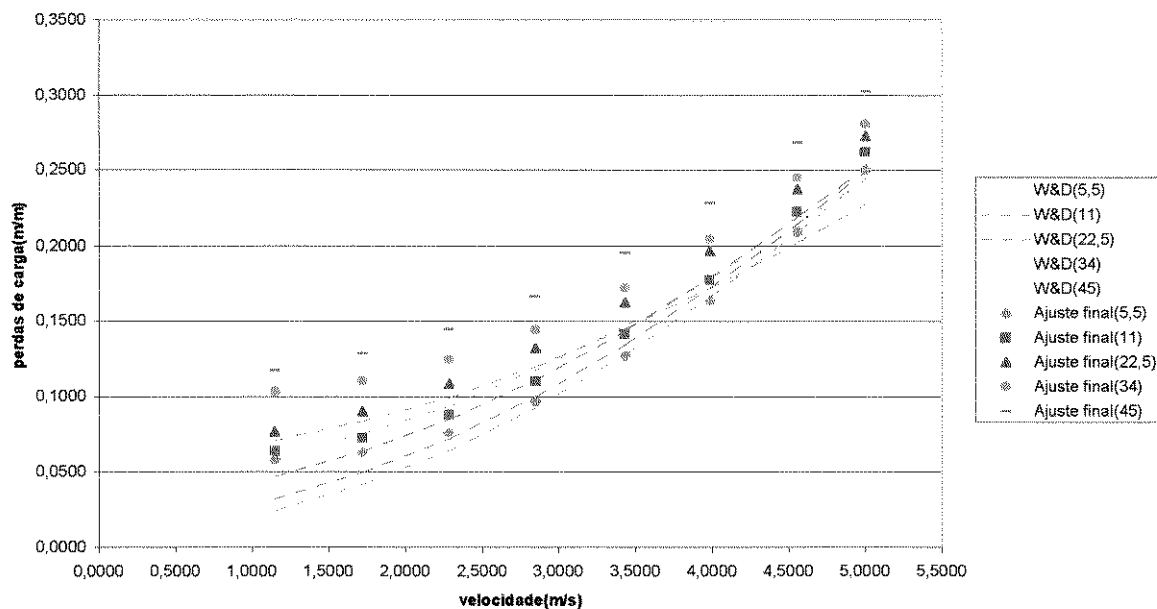
Figura(19) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento descendente e concentração (10%)



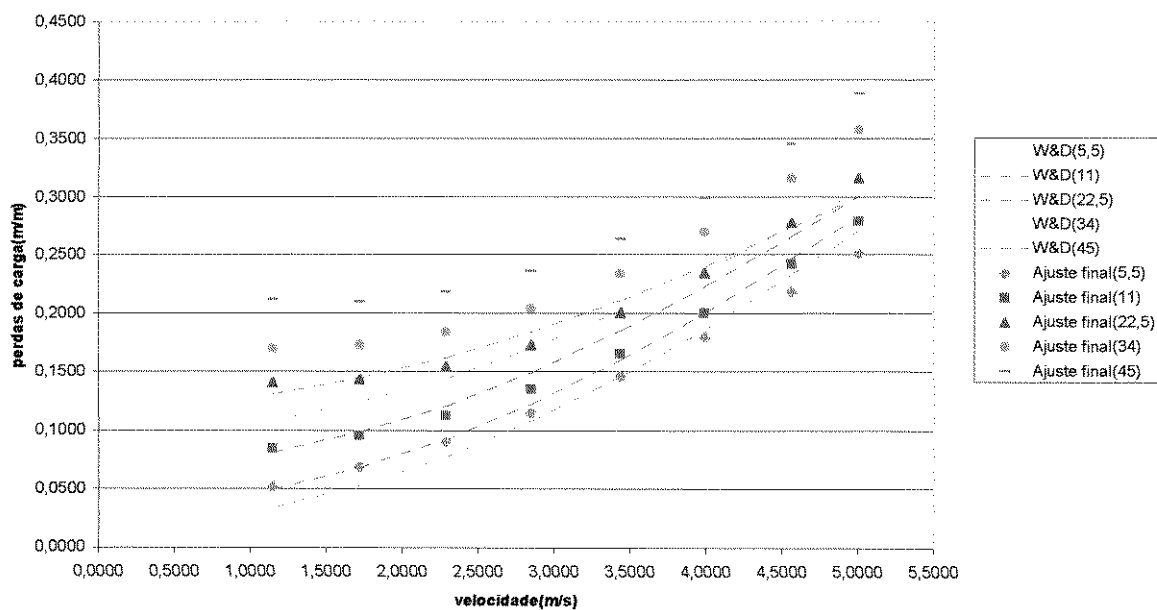
Figura(20) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento descendente e concentração(15%)



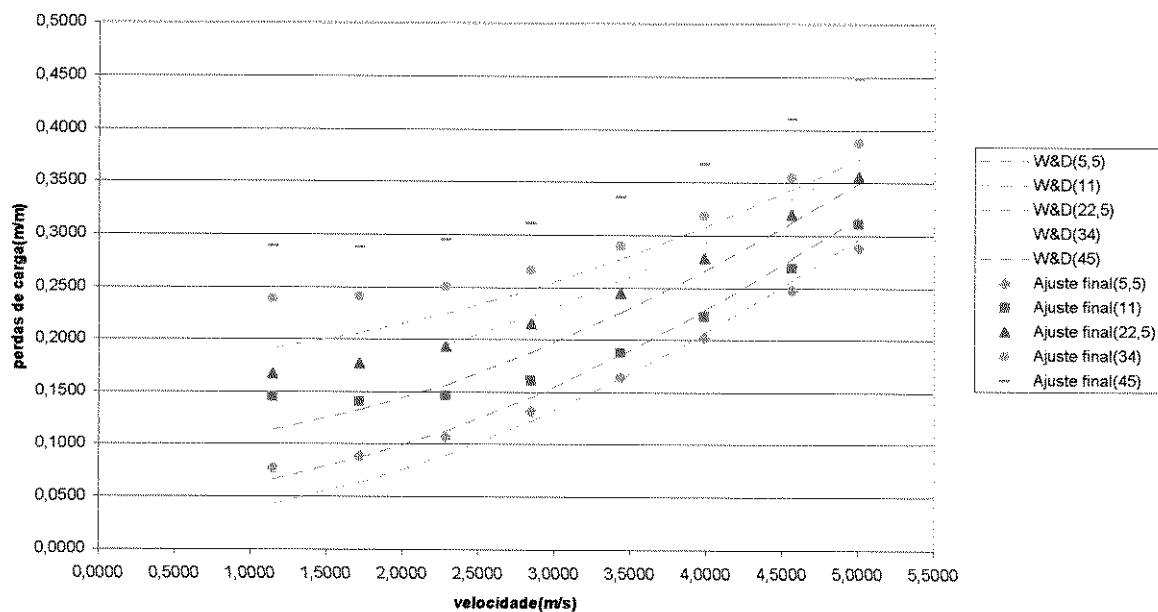
Figura(21) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Graf x Velocidade-escoamento horizontal e todas concentrações



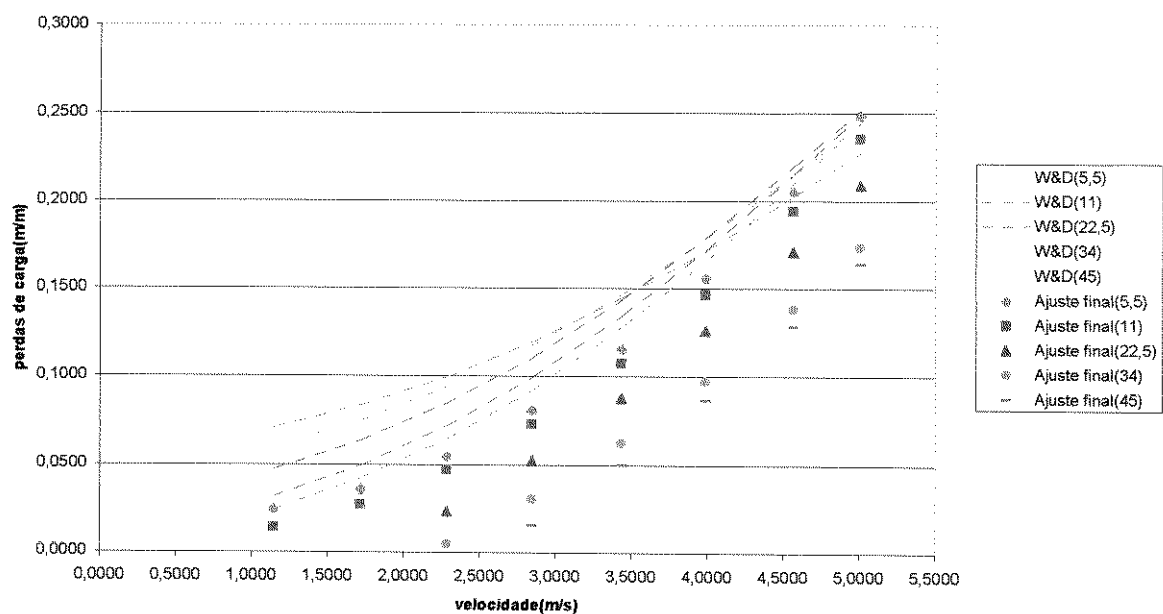
Figura(22) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(5%)



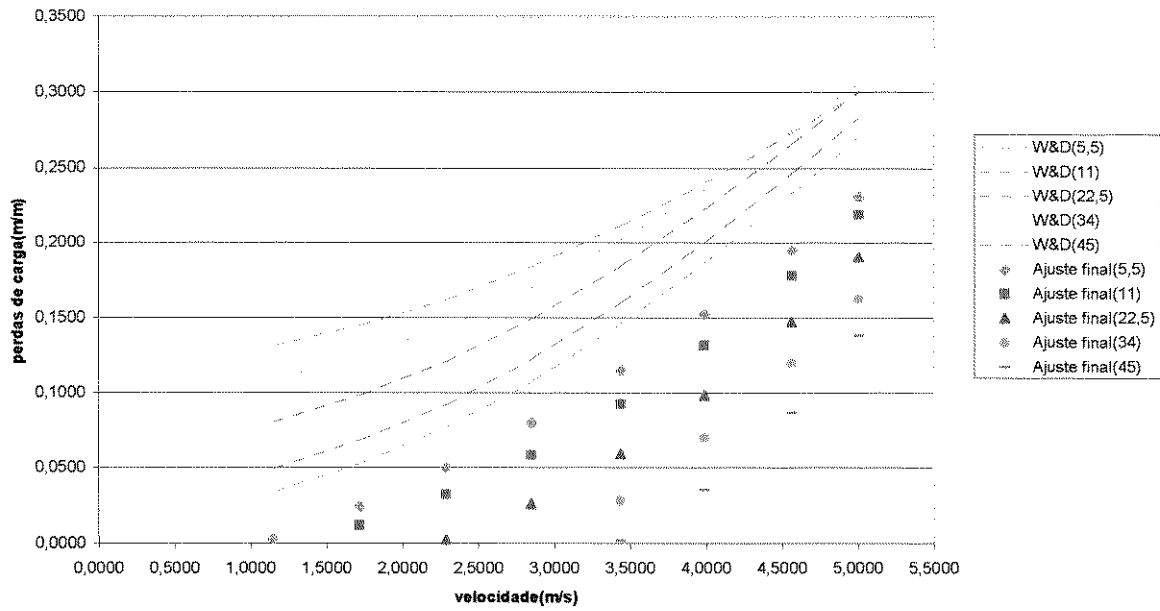
Figura(23) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(10%)



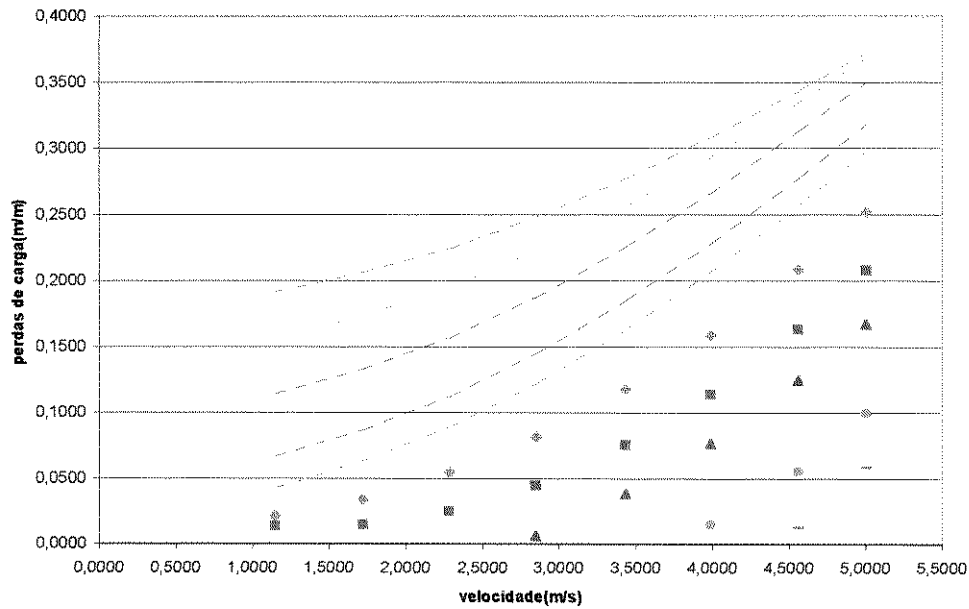
Figura(24) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(15%)



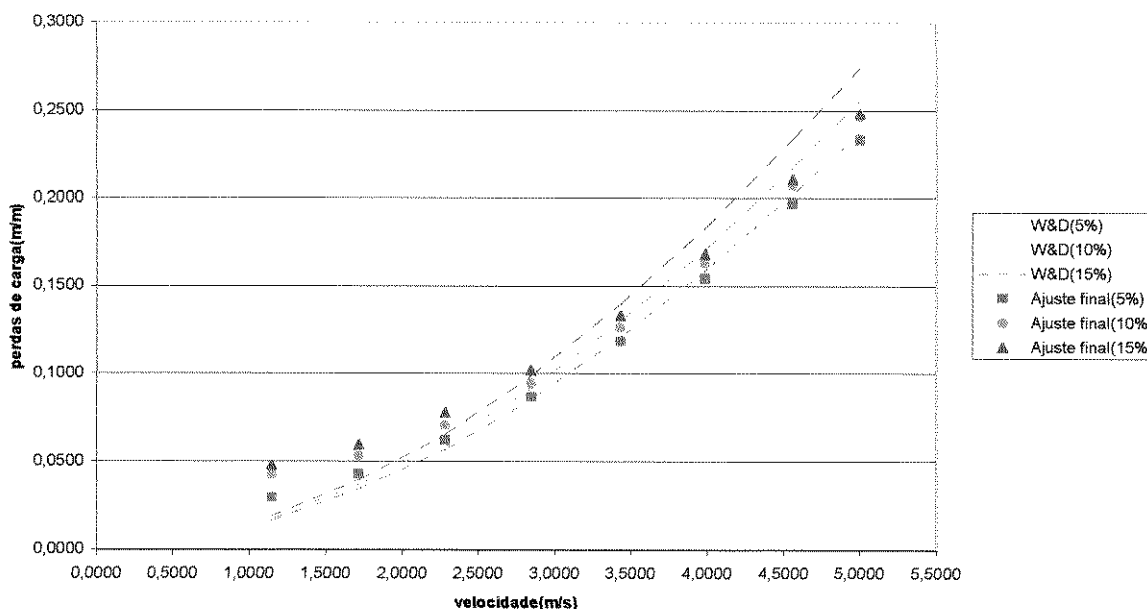
Figura(25) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento descendente e concentração(5%)



Figura(26) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento descendente e concentração(10%)



Figura(27) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento descendente e concentração(15%)

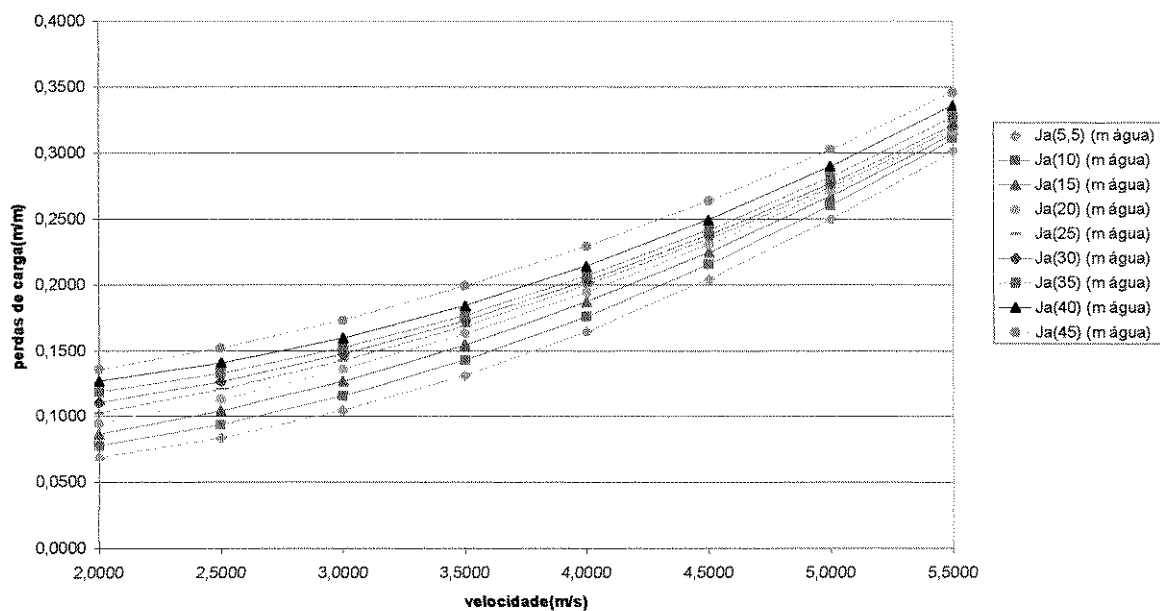


Figura(28) - Perdas de Carga Equação Proposta com Equação de Worster & Denny x Velocidade- escoamento horizontal e todas concentrações

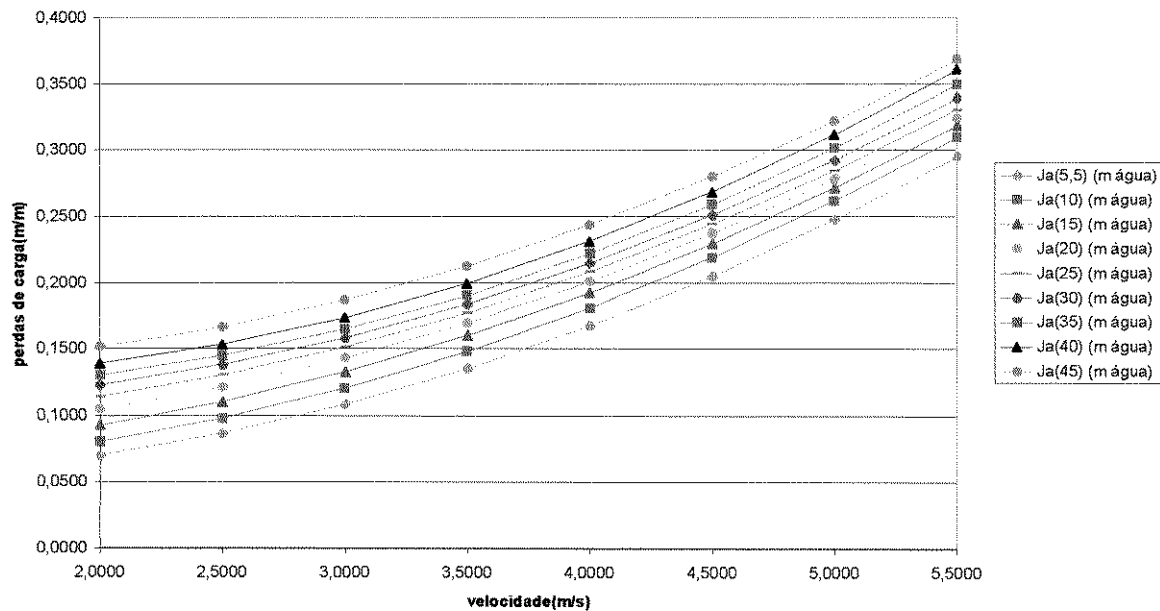
A partir das equações desenvolvidas, foram elaborados gráficos para expandir o domínio de aplicação destas equações. Nestes gráficos foram plotados os valores das perdas de carga unitárias obtidas através das equações desenvolvidas em função da velocidade e da concentração. Variou-se a velocidade de 2,0 m/s a 5,5 m/s e a concentração de 5% a 15% de um em um por cento. Isto foi feito para os escoamentos horizontal e inclinados. Para os trechos inclinados, os ângulos de inclinação foram de 5,5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40° e 45°.

Durante a elaboração destes gráficos, tentou-se usar concentrações menores que 5% e maiores que 15%, como também velocidades menores que 2,0 m/s e maiores que 5,5 m/s e ângulos menores que 5,5° e maiores que 45°, mas as equações desenvolvidas não tiveram um comportamento confiável nestes casos. Isto explica-se porque as equações desenvolvidas neste trabalho são empíricas e por isto, elas são válidas apenas para os limites de variações das concentrações, ângulos e velocidades utilizados durante os ensaios experimentais.

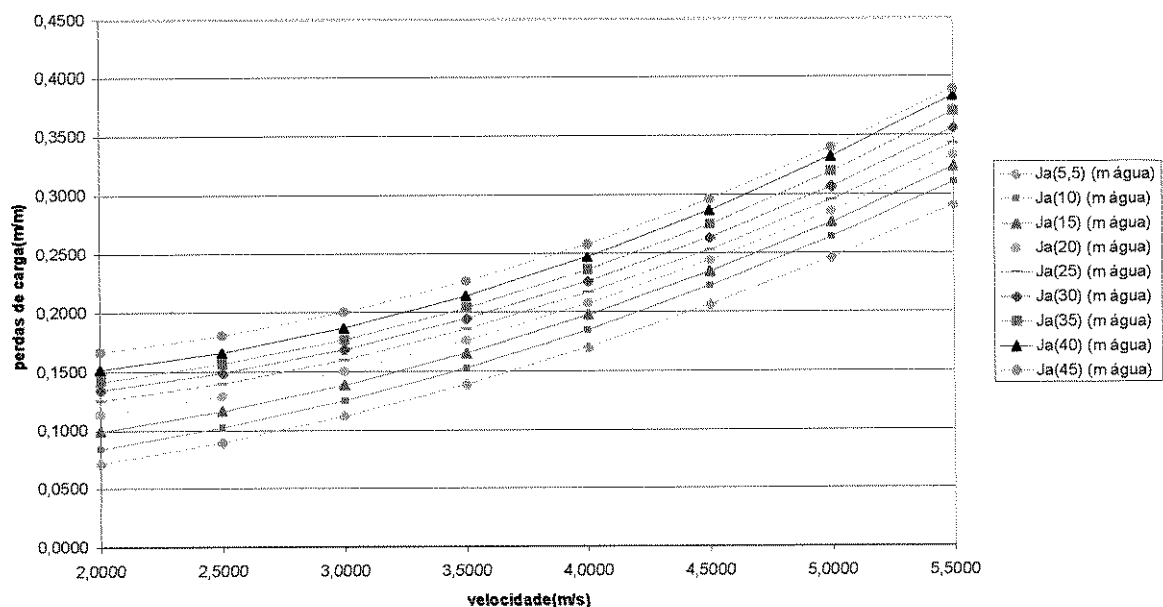
Apresenta-se a seguir estes gráficos:



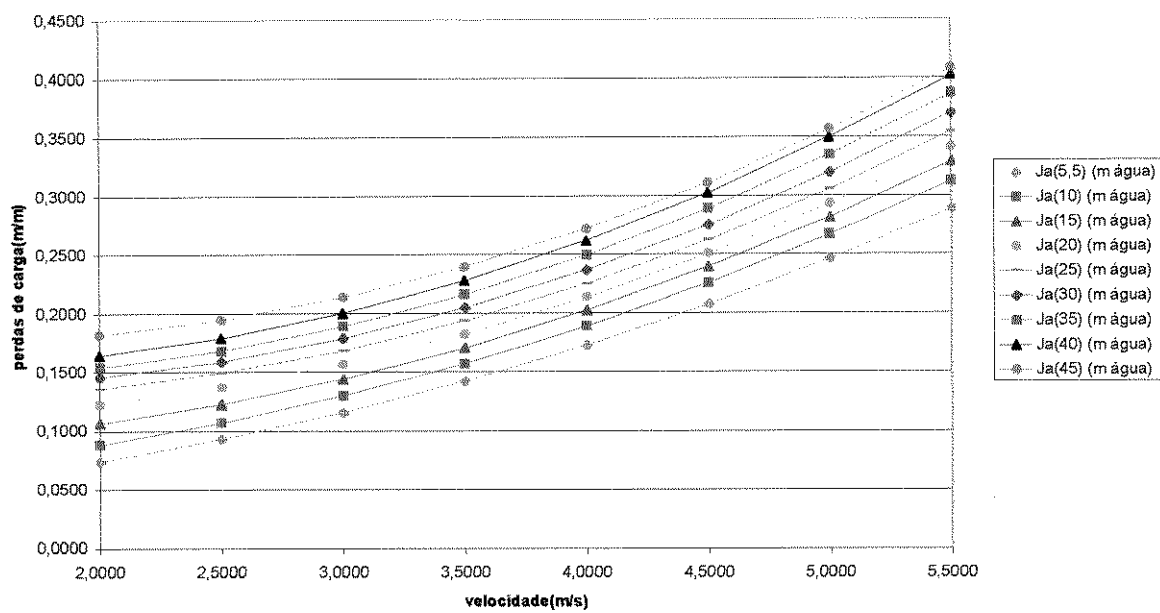
Figura(29) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(5%)



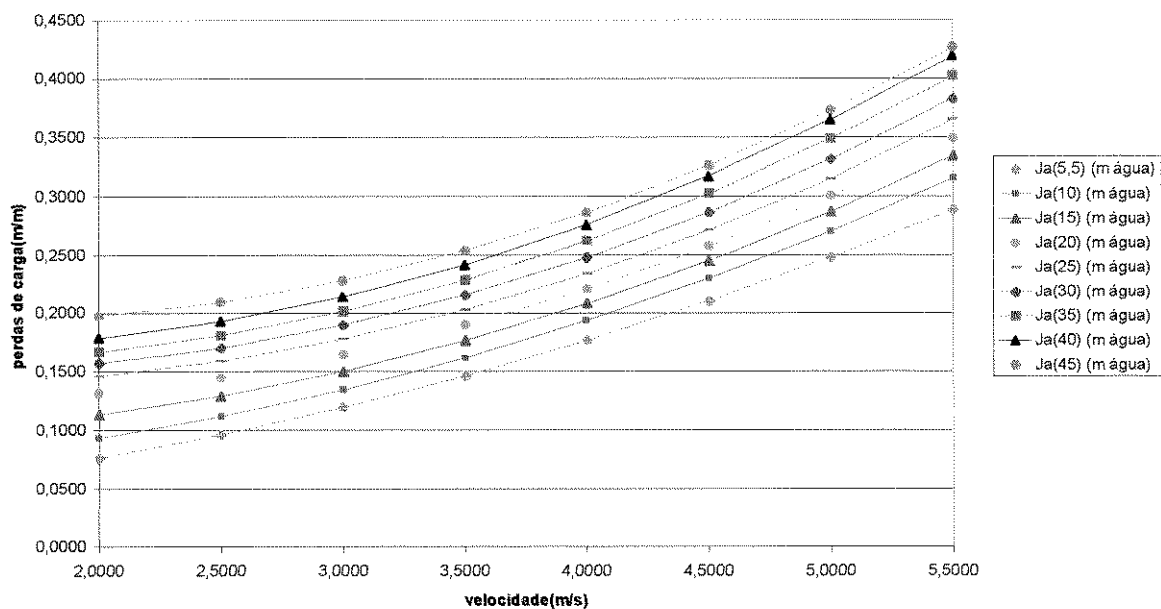
Figura(30) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(6%)



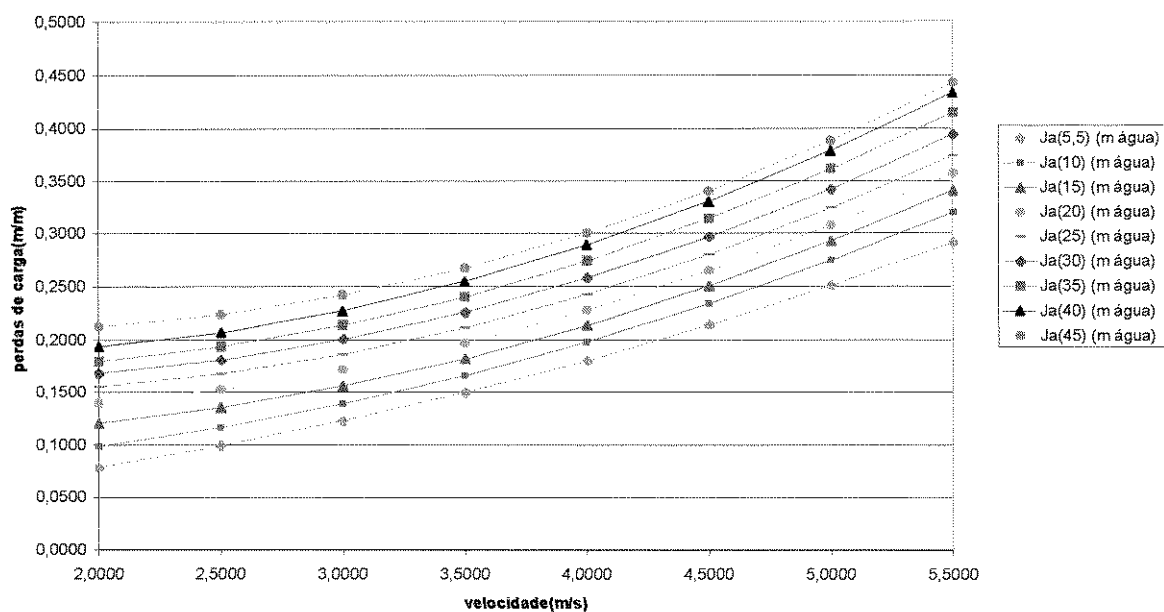
Figura(31) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(7%)



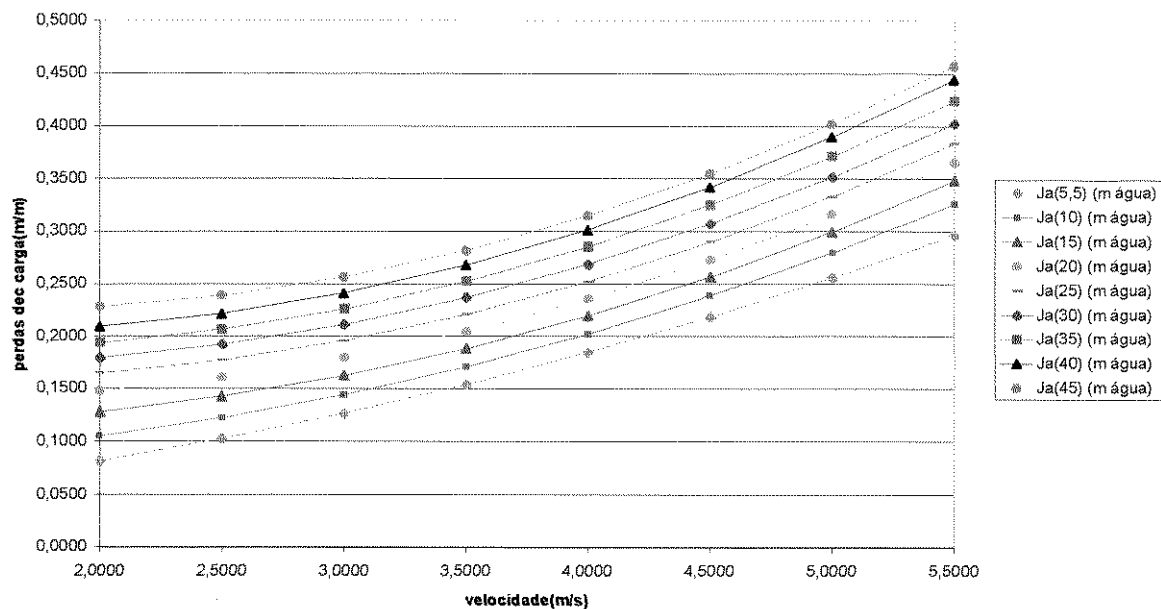
Figura(32) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(8%)



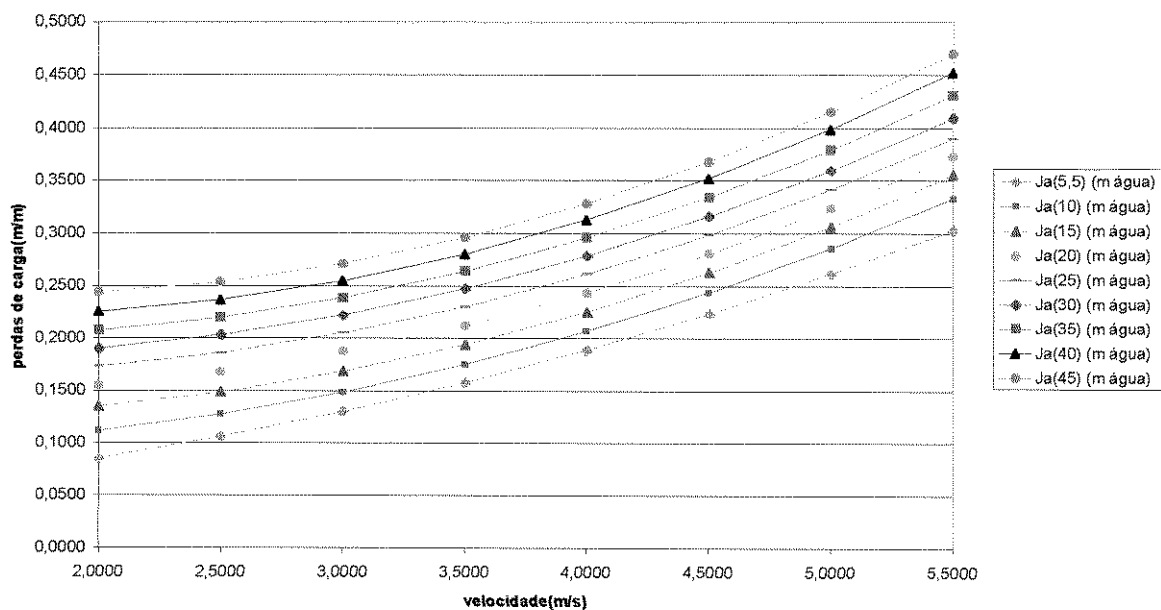
Figura(33) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(9%)



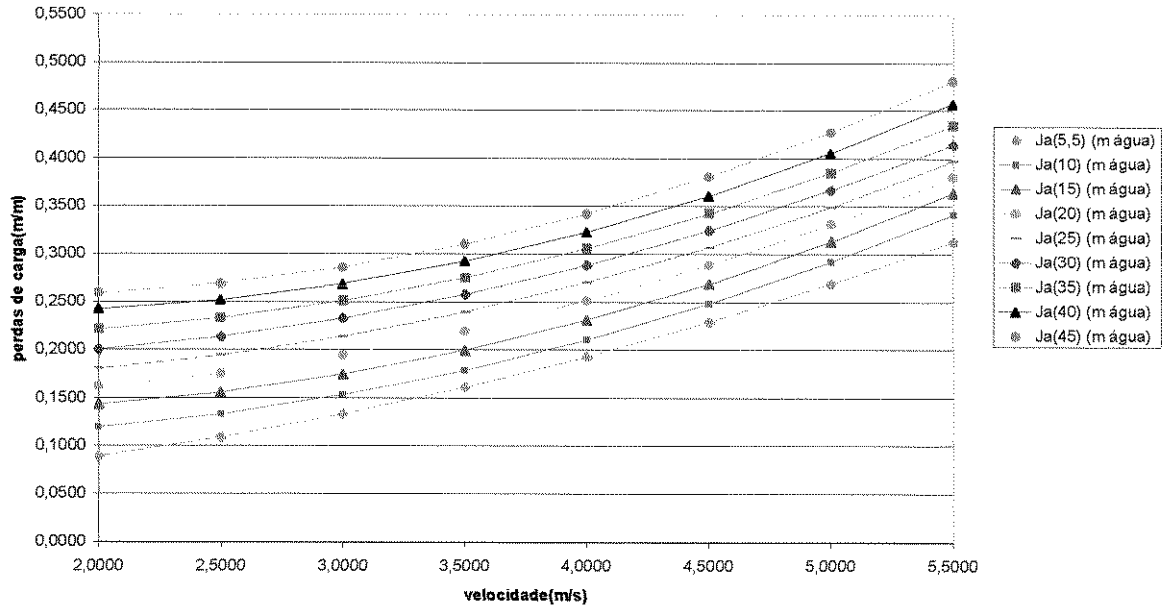
Figura(34) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(10%)



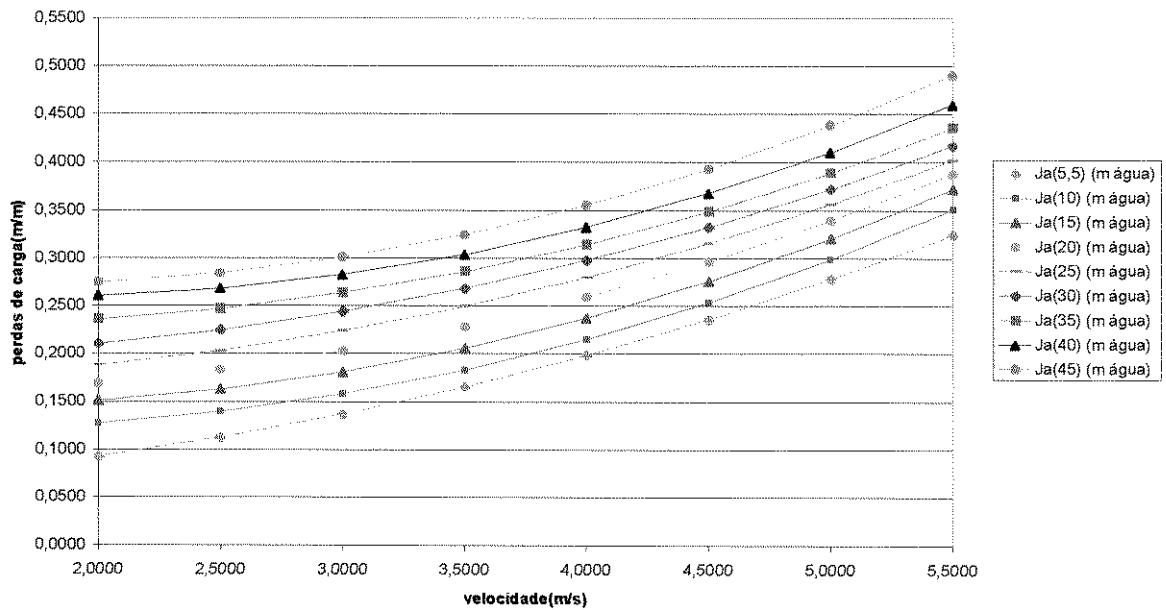
Figura(35) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(11%)



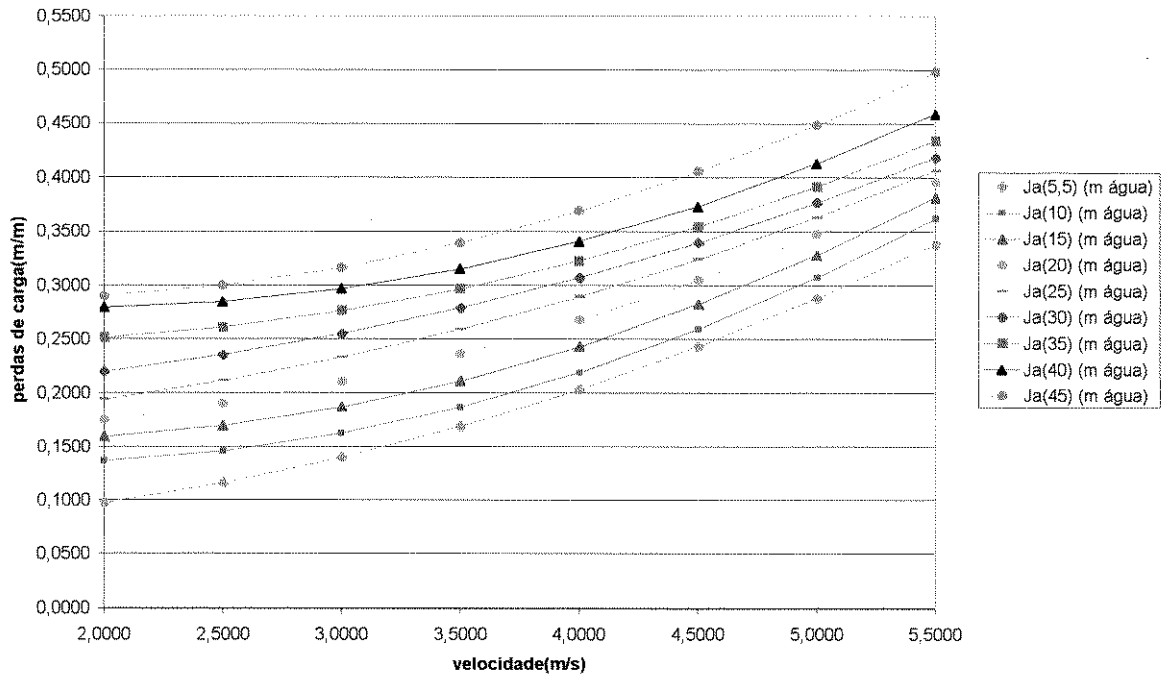
Figura(36) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(12%)



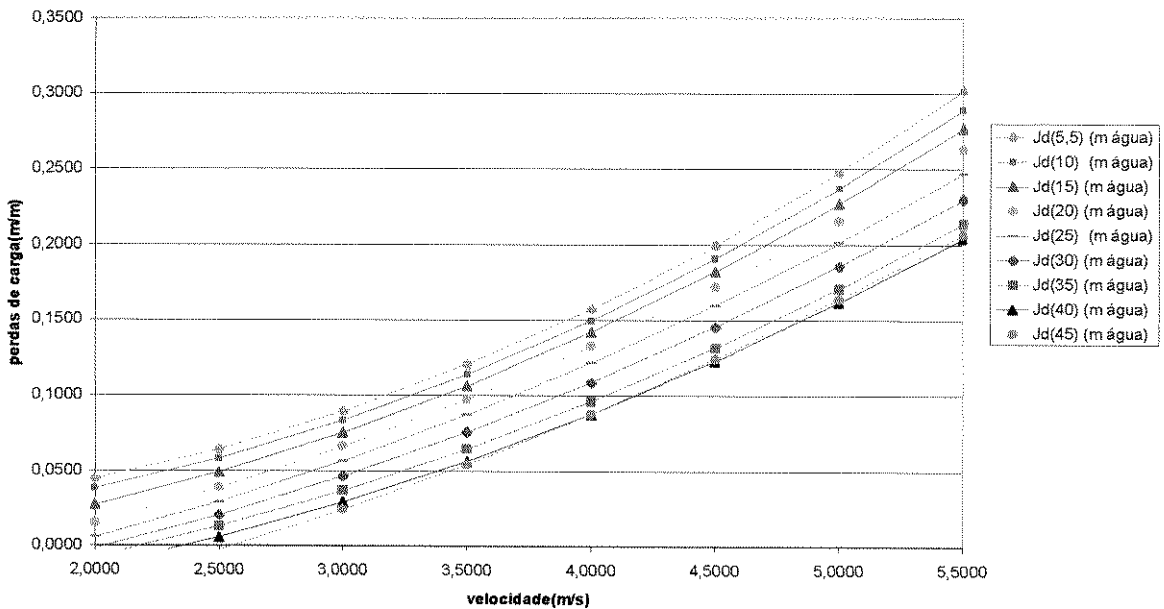
Figura(37) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(13%)



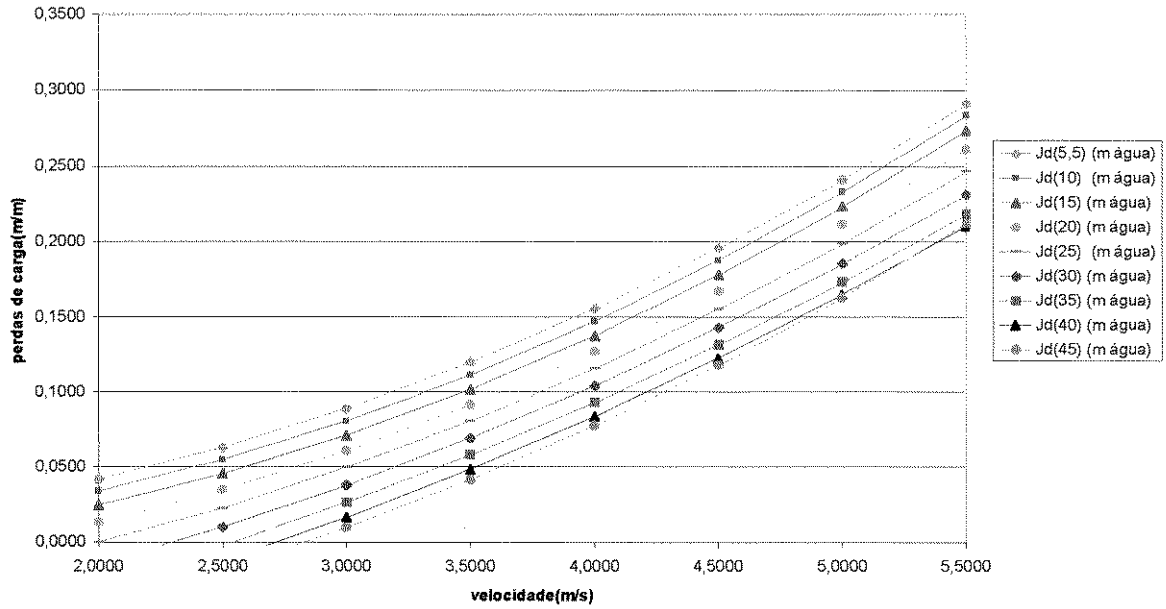
Figura(38) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(14%)



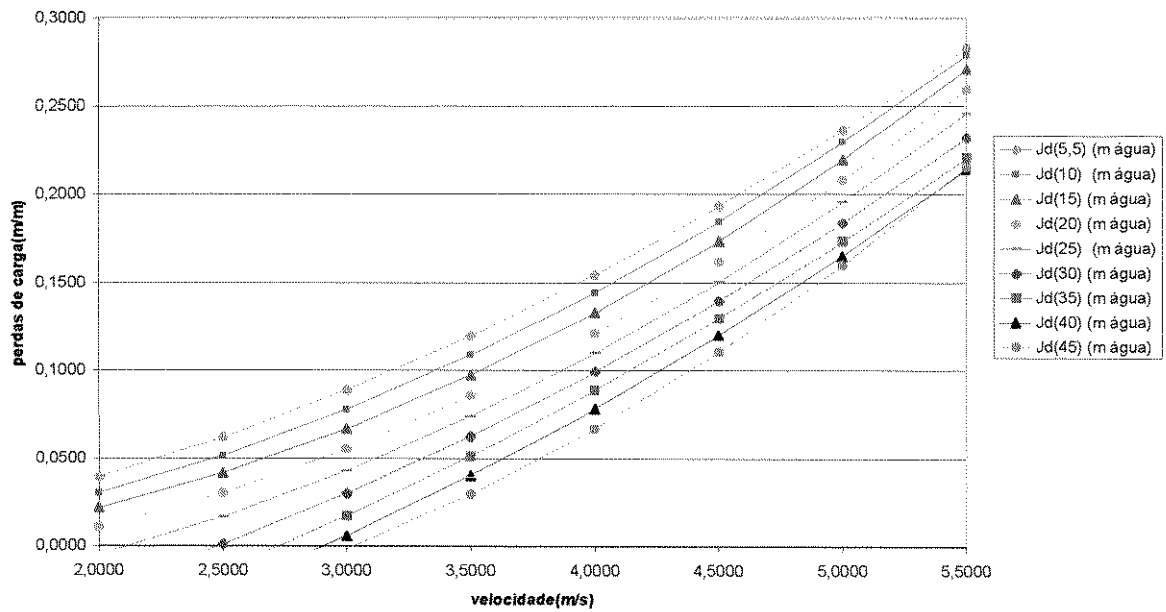
Figura(39) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(15%)



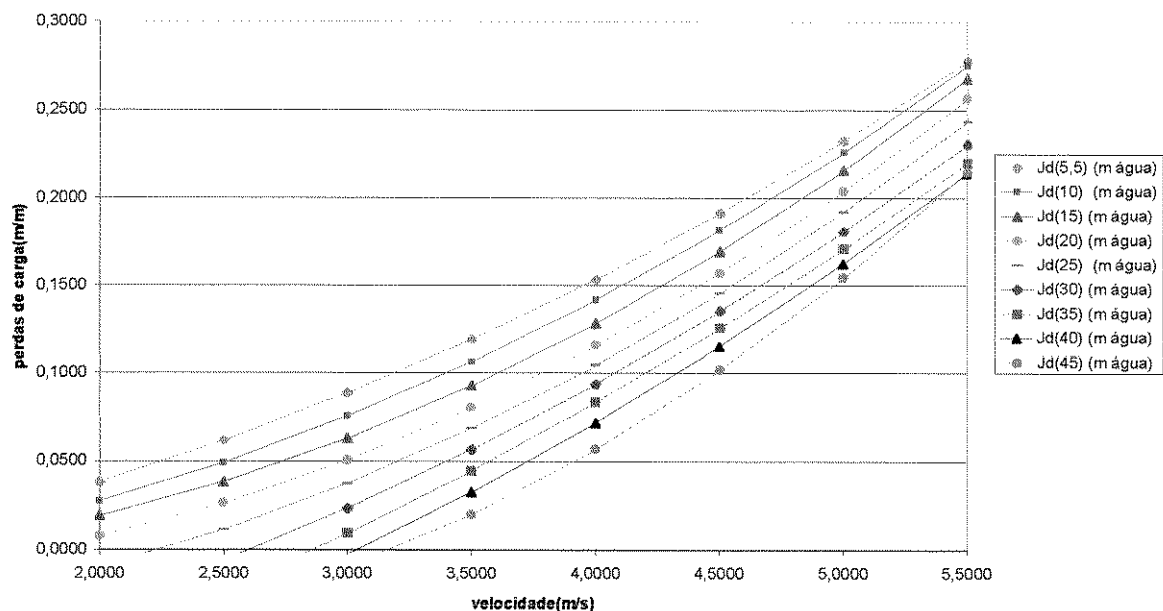
Figura(40) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(5%)



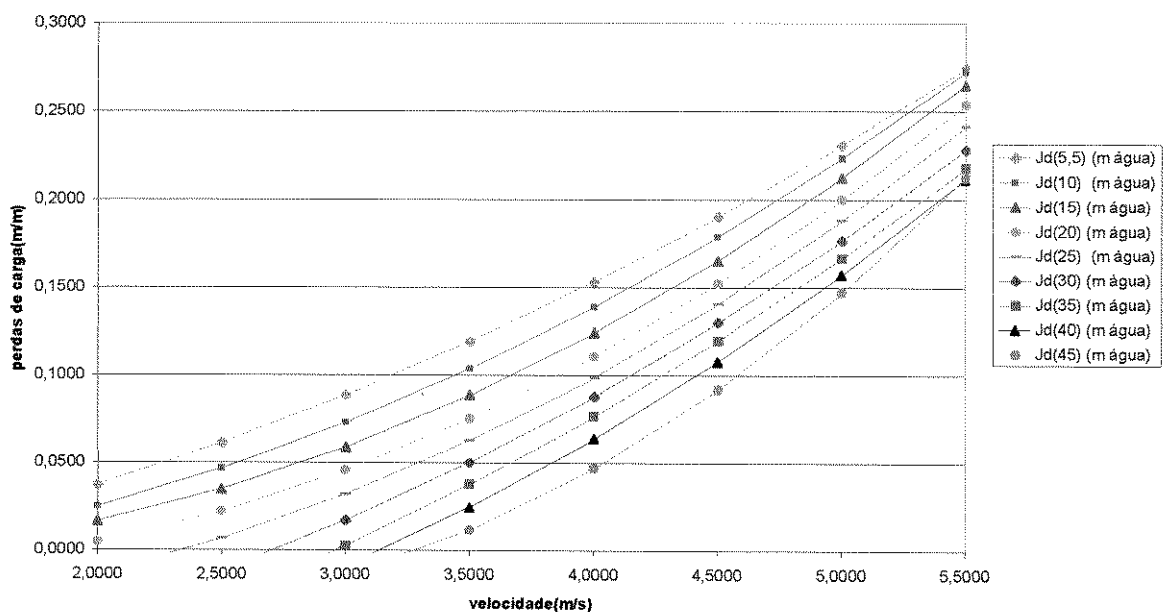
Figura(41) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(6%)



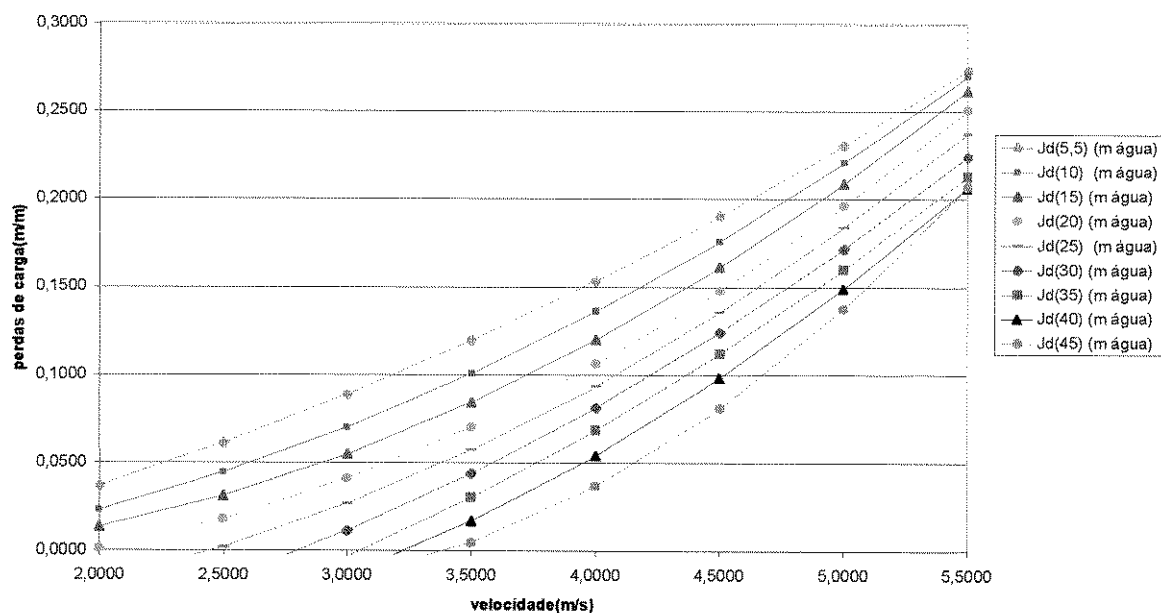
Figura(42) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(7%)



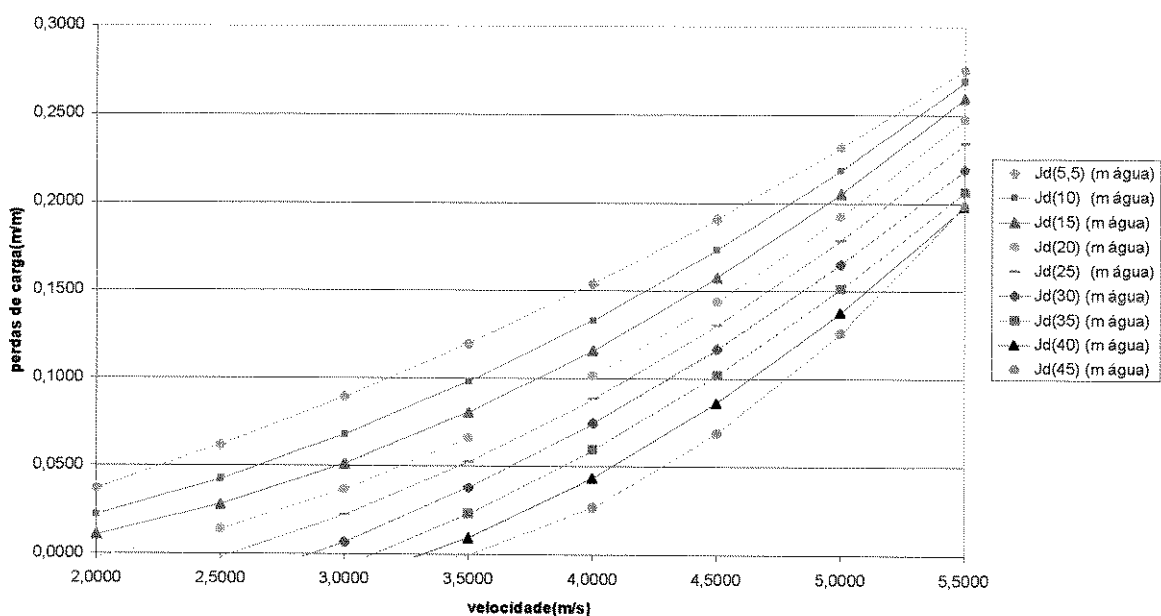
Figura(43) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(8%)



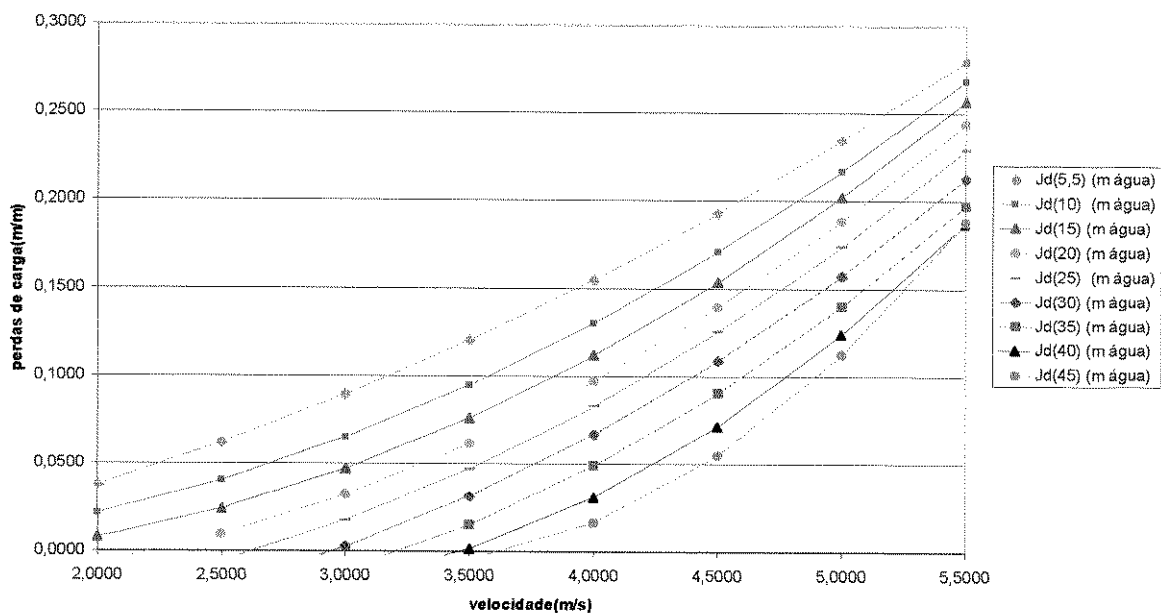
Figura(44) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(9%)



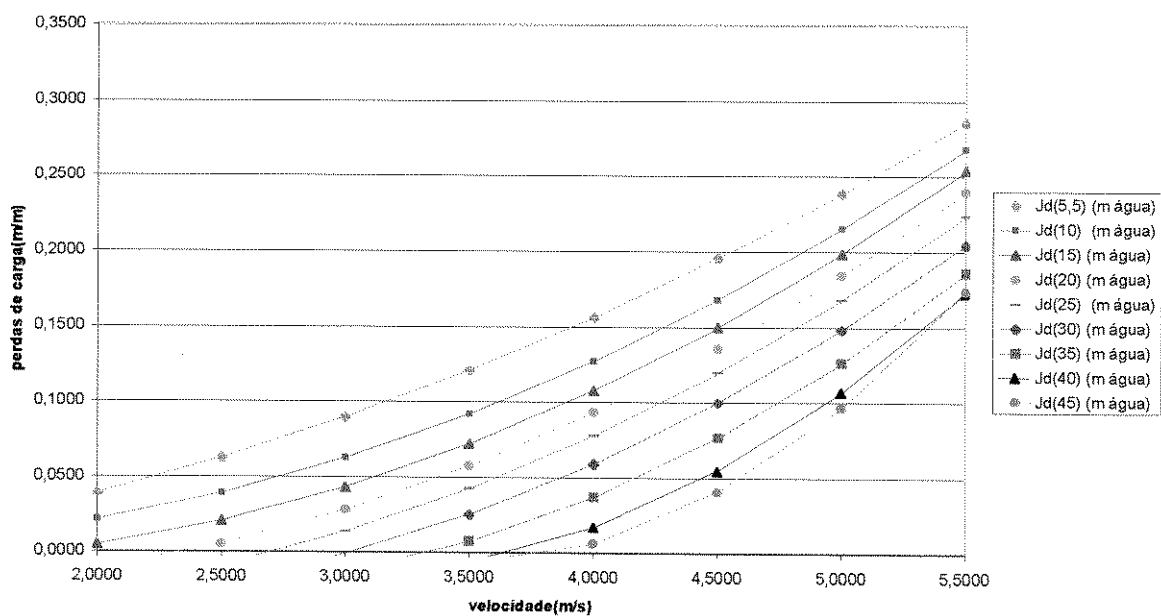
Figura(45) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(10%)



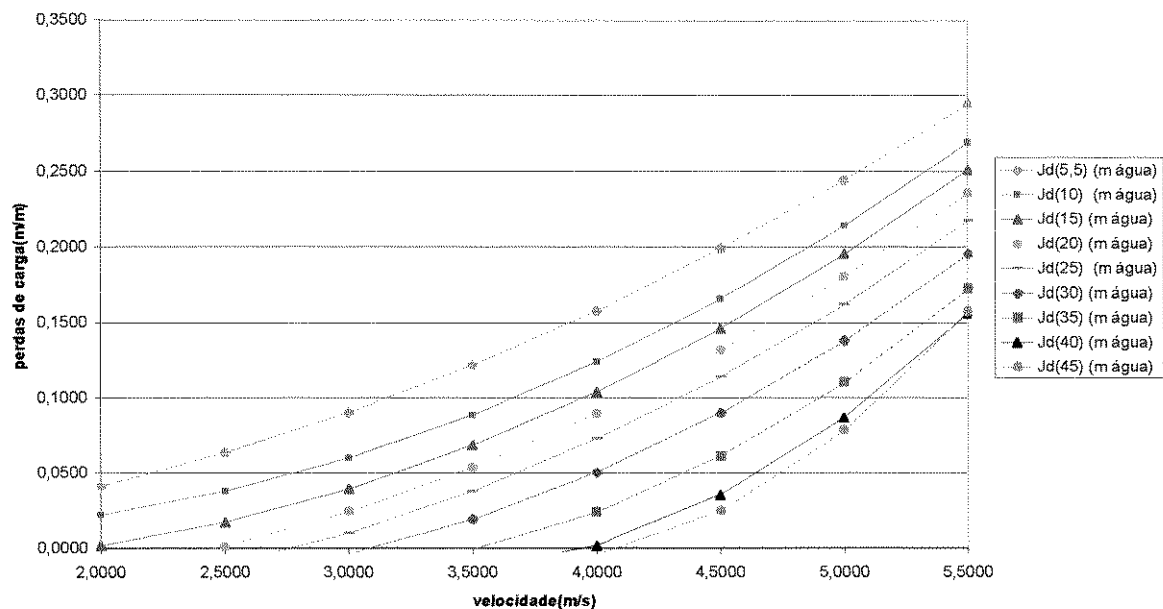
Figura(46) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(11%)



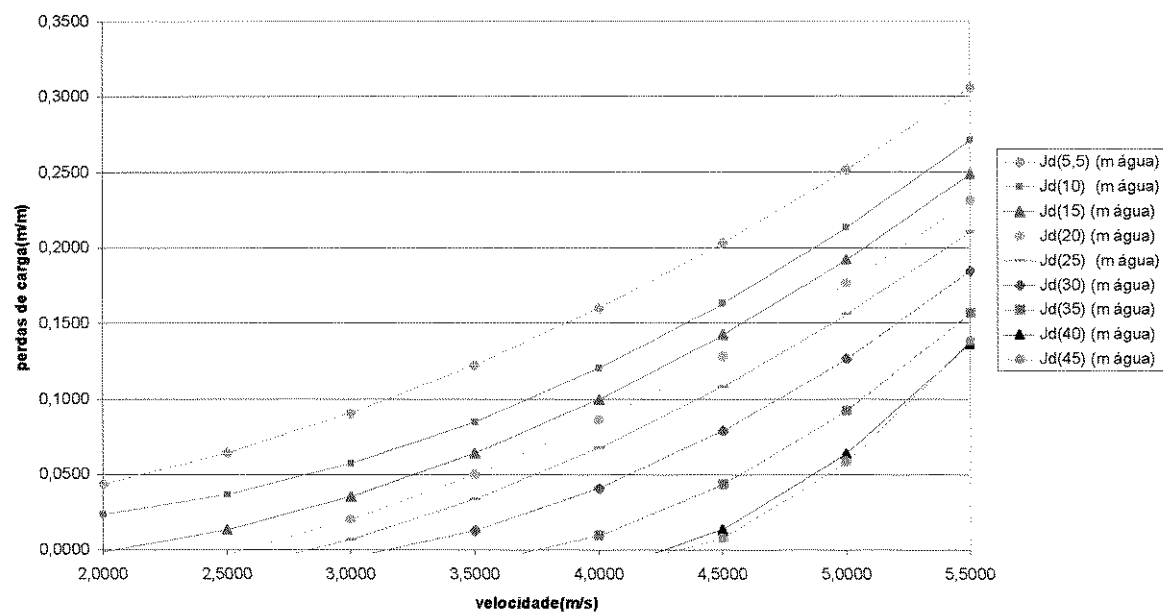
Figura(47) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(12%)



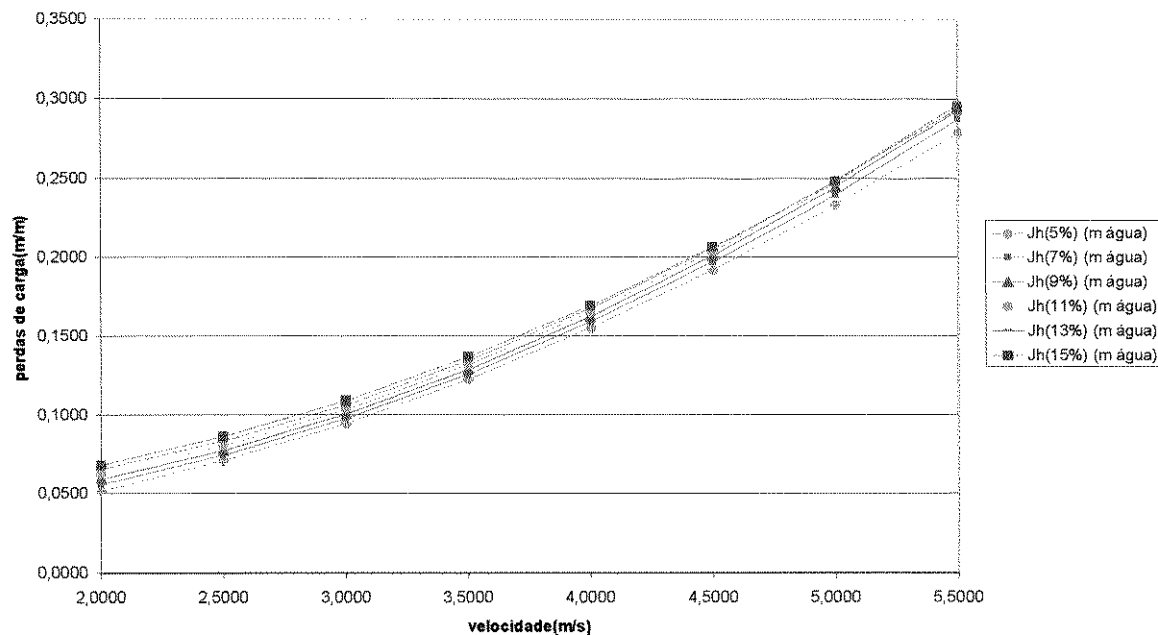
Figura(48) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(13%)



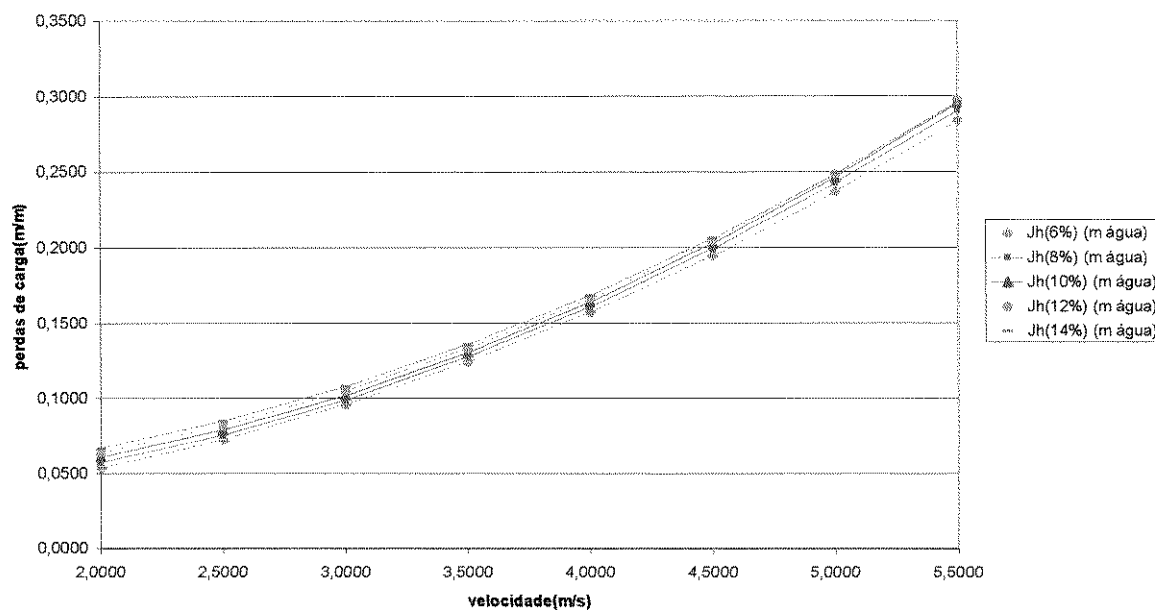
Figura(49) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(14%)



Figura(50) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(15%)



Figura(51) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento horizontal e concentrações (5%,7%,9%,11%,13% e 15%)



Figura(52) - Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento horizontal e concentrações (6%,8%,10%,12% e 14%)

5 - Conclusões

A partir dos dados levantados, da metodologia adotada e das condições experimentais em que foram realizados os ensaios, chegou-se às seguintes conclusões:

- As perdas de carga unitárias para escoamento de água limpa é praticamente igual para os três trechos e não depende da inclinação dos tubos.
- As perdas de carga unitárias para o trecho descendente são sempre menores que as perdas para o trecho horizontal que por sua vez são sempre menores que as perdas para o trecho ascendente, independente do ângulo de inclinação e das concentrações.
- No escoamento da mistura água-areia no trecho descendente, a presença de areia diminui as perdas de carga de pressão com o aumento do ângulo de inclinação e das concentrações, chegando a fornecer alguns valores negativos para as três concentrações ensaiadas para as inclinações de 22,5°, 34° e 45°.
- No escoamento da mistura água-areia no trecho horizontal, a presença de areia aumenta as perdas de carga com o aumento da concentração.
- No escoamento da mistura água-areia no trecho ascendente, a presença de areia aumenta as perdas de carga com o aumento da concentração e do ângulo de inclinação.
- Observou-se que para o escoamento da mistura água-areia no trecho horizontal, as equações GRAF (1972) e de Woerster & Denny (1955) fornecem valores relativamente próximos aos valores obtidos pelas equações desenvolvidas.
- Para o escoamento no trecho ascendente, as equações de GRAF (1972) fornecem valores próximos aos valores obtidos pelas equações desenvolvidas para velocidades acima de 3,0 m/s. Nas equações de Woerster & Denny (1955), isto só acontece para as inclinações de 5,5°, 11° e 22,5°. Para velocidades inferiores a 3 m/s, os valores afastam-se muito para ambos autores.

- Para o escoamento no trecho descendente, os valores obtidos pelas equações de GRAF (1972) e Woerster & Denny (1955) de afastam-se muito dos obtidos pelas equações desenvolvidas. Isto se deve ao fato de que as equações dos autores fornecem os mesmos valores de perda de carga unitária para os trechos ascendente e descendente, o que não corresponde ao observado durante os ensaios experimentais, pois para o trecho ascendente, as perdas de carga aumentam com o aumento do ângulo de inclinação e da concentração e para o trecho descendente, as perdas de carga diminuem com o aumento do ângulo de inclinação e da concentração.

6 - Recomendações

O presente trabalho pesquisou apenas o escoamento de mistura água-areia, portanto:

- Recomenda-se a utilização de outros materiais para que os resultados obtidos possam ser comparados com as equações desenvolvidas neste trabalho.

- Recomenda-se a realização de ensaios com concentrações menores que 5% e maiores que 15%.

- Recomenda-se ampliar o estudo das perdas de carga para tubulações de outro material e para diâmetros diferentes

- Recomenda-se investigar com mais detalhes escoamentos bifásicos (sólido-líquidos) descendente com ângulos superiores a 25° .

7 – Referências Bibliográficas

- ADDIE, G. & HAMMAR, J.- Pipeline Head Loss of a Settling Slurry at Concentrations Up To 49% by Volume. Hydrotransport 12, Cranfield, Organized by BHR Group Limited: p. 727-743, set, 1993
- BLATCH, N. S. - Discussion: Works for Purification of the water supply of Washington, D.C., by Allen Hazen ad E. D. Hardy. Trans. ASCE, V. 57, P. 400 - 408, Paper nº 1036, Dec. 1906.
- CARLETON, H. J. et alii - Hydraulic Transport of Large Particles Using Conventional an High Concentration Conveying. Hidrotransport 5, Cranfield, Bedford, England, Organized by BHRA Fluid Engineering, (Paper D2): p. 15-28, may, 1978.
- COIADO, E. M. - Obtenção da Vazão através do Medidor de Orifício do Tipo Diafragma para Misturas Sólido-Líquidas (Água - Areia). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1978. 132 p. (Dissertação de Mestrado).
- COIADO, E. M. - Escoamento de Misturas Sólido-Líquidas através de Condutos Forçados (Aplicação às Instalações de Recalque). São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1985, 700 p. (Tese de Doutorado).
- DURAND, R. & CONDOLIOS, E. - Étude expérimentale du refoulement des matériaux en conduites, en particulier des produits de dragage et des schlamms. In: Journées de Hydraulique, 2º Grenoble, France, Juin. 1952. Transport hydraulique et décantition des matériaux solides; compte rendu des deuxièmes Journées de l'Hydraulique organizada pela société Hydrotechnique de France. Grenoble, La Houille Blanche, 1952. p.27-55.
- GARDE, R. J. & RAJU, K. G. R. - Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems. Halsted Press, A Division of John Wiley & Sons, Inc., New York, 1985. 618p.
- GRAF, W. H. - Hidraulic of Sediment Transport. McGraw Hill, 1972. 513p.

- HAZEN, A. & HARDY, E. D. - Works for the purification of the water supply of Washington, D. C. Trans. ASCE, V.57, Paper nº1036, p.307-363, 1906.
- HISAMITSU, N. et alii - Effect of Added Fine Particles on Flow Properties of Settling Slurries. Hydrotransport 5, Cranfield, Organized by BHRA, (Paper D3): p.29-50, may, 1978.
- HOWARD, G. W. - Transportation of sand and gravel in a four inch pipe. Trans. ASCE, V.104, Paper nº 2039, p.1334-1380, 1939.
- JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING, ASCE, 1995, 1996.
- KAO, D. T. Y. & HWANG, L. Y.- Critical Slope for Slurry Pipeline Transporting Coal and Other Solid Particles. Hydrotransport 6, Cranfield, Organized by BHRA: p. 57-74, set, 1979.
- KENNETH, C. W. & JAMES, K. P. T. - Deposition Limit for Coarse-Particle Transport in Inclined Pipes. 9th International Conference on Hydraulic Transport of Solids in Pipes. Rome , Italy: 17-19 October, 1984.
- NAKAE, T- Bancada de Ensaio para Estudo do Escoamento da Mistura Água Sólidos em Conduitos Forçados. São Paulo, 1990. 152 p./ Tese-Mestrado-Escola Politécnica da USP/.
- NAKAE, T. & BRIGHETTI, G. - Hydrotransport of dredged material. In: Conferência Internacional sobre Manejo de Misturas Líquido-Sólidos e Transporte em Tubulação, BHRA, 12º, Brugge, Bélgica, 1993. Hydrotransport. Cranfield, BHRA Group, p. 267-276, 1993.
- NOGUEIRA, A. A. S. - Escoamentos bifásicos(líquido-sólidos) em condutos forçados circulares (bombas centrífugas): alguns aspectos de particular interesse. São Paulo, 1987. 347p.

SASIC, M. & MARJANOVIC, P. - On de Methods for Calculation of Hydraulic Transport and their Reliability in Practice. Hydrotransport 5, Cranfield, BHRA, (Paper A5): p. 61-76, may, 1978.

STREETER, V.L. - Handbook of Fluid Dynamics. New York, McGraw-Hill Book Company, Inc, 1961. 1215p.

VANONI, V. A. - Sedimentation Engineering. New York. ASCE, 1977. 245-349 p.

WORSTER, R. C. - The Hydraulic Transport of Solids. Proc. of on the Hydraulic Transport of Coal. Organized by National Coal Board Scientific Departamet, nov., 1952.

WORSTER, R. C. & DENNY, D. F. - Hydraulic Transport of Solid Material in Pipes. Institute of Mechanical Enginnering. Vol. 169, 1955.

ZANDI, I. & GOVATOS, G. - Heterogeneous Flow of Solids in Pipelines. Journal of the Hydraulic Division, ASCE, vol. 93 (N° HY3: p. 145-159, mar., 1967.

12TH International Conference on Slurry Handling and Pipeline Transporte Hydrotransport 12, Belgium, September, 1993.

Apêndice A

Quadro 1A-Batelada 5% a 45 graus								
	ENTR_BOMBA (mm água)	PRES03_1M (mm água)	PRES04_1M (mm água)	PRES05_1M (mm água)	PRES06_4M (mm água)	PRES07_4M (mm água)	SAIDA_BOMBA (mm água)	VAZAO09_1 (l/min)
	10.705,66	235,90	185,68	288,75	710,00	506,00	19.760,00	1.437,75
	10.692,19	231,88	185,68	288,75	710,00	506,00	19.760,00	1.437,75
	10.692,19	231,88	185,68	288,75	710,00	511,00	19.760,00	1.295,10
	10.692,19	231,88	184,98	284,73	710,00	511,00	19.760,00	1.295,10
	10.692,19	231,88	184,98	284,73	701,00	511,00	19.780,00	1.295,10
	10.705,66	231,88	184,98	284,73	701,00	511,00	19.780,00	1.295,10
	10.705,66	231,88	178,50	284,73	701,00	507,00	19.780,00	1.164,60
	10.705,66	233,63	178,50	282,10	709,00	507,00	19.780,00	1.164,60
	10.705,66	233,63	178,50	282,10	709,00	507,00	19.760,00	1.164,60
	10.705,66	233,63	178,50	282,10	709,00	502,00	19.760,00	1.231,65
	10.705,66	233,63	175,00	285,95	718,00	502,00	19.760,00	1.231,65
	10.688,83	234,68	175,00	285,95	718,00	502,00	19.760,00	1.231,65
	10.688,83	234,68	175,00	285,95	718,00	502,00	19.760,00	1.338,30
	10.688,83	234,68	183,75	289,63	718,00	502,00	19.760,00	1.338,30
	10.688,83	232,58	183,75	289,63	710,00	502,00	19.730,00	1.338,30
	10.675,37	232,58	183,75	289,63	710,00	502,00	19.730,00	1.358,10
	10.675,37	232,58	181,13	289,63	710,00	503,00	19.730,00	1.358,10
	10.675,37	231,70	181,13	289,98	708,00	503,00	19.730,00	1.358,10
	10.698,92	231,70	181,13	289,98	708,00	503,00	19.760,00	1.358,10
	10.698,92	231,70	181,13	289,98	708,00	510,00	19.760,00	1.367,55
	10.698,92	231,70	185,15	288,05	724,00	510,00	19.760,00	1.367,55
	10.705,66	232,23	185,15	288,05	724,00	510,00	19.750,00	1.367,55
	10.705,66	232,23	185,15	288,05	724,00	506,00	19.750,00	1.174,05
	10.705,66	232,23	182,00	289,63	724,00	506,00	19.750,00	1.174,05
	10.705,66	234,85	182,00	289,63	730,00	506,00	19.800,00	1.174,05
	10.705,66	234,85	182,00	289,63	730,00	506,00	19.800,00	1.319,85
	10.705,66	234,85	188,48	289,63	730,00	505,00	19.800,00	1.319,85
	10.705,66	231,88	188,48	290,68	725,00	505,00	19.800,00	1.319,85
	10.688,83	231,88	188,48	290,68	725,00	505,00	19.740,00	1.319,85
	10.688,83	231,88	188,48	290,68	725,00	494,00	19.740,00	1.285,65
	10.688,83	231,88	180,60	291,20	719,00	494,00	19.740,00	1.285,65
	10.692,19	231,88	180,60	291,20	719,00	494,00	19.760,00	1.285,65
	10.692,19	231,88	180,60	291,20	719,00	507,00	19.760,00	1.213,20

	10.692,19	231,88	181,65	287,53	719,00	507,00	1.014,30	19.760,00	1.213,20
	10.692,19	232,23	181,65	287,53	721,00	507,00	1.014,30	19.760,00	1.213,20
	10.682,10	232,23	181,65	287,53	721,00	507,00	1.004,64	19.760,00	1.357,65
	10.682,10	232,23	188,65	287,53	721,00	505,00	1.004,64	19.760,00	1.357,65
	10.682,10	231,88	188,65	288,93	724,00	505,00	1.004,64	19.760,00	1.357,65
	10.665,27	231,88	188,65	288,93	724,00	505,00	996,36	19.760,00	1.357,65
	10.665,27	231,88	188,65	288,93	724,00	506,00	996,36	19.760,00	1.337,40
	10.665,27	231,88	179,03	286,65	712,00	506,00	996,36	19.760,00	1.337,40
	10.692,19	235,90	179,03	286,65	712,00	501,00	1.004,64	19.760,00	1.516,05
	10.692,19	235,90	179,03	286,65	712,00	501,00	1.004,64	19.760,00	1.516,05
	10.692,19	235,90	182,00	293,65	712,00	501,00	1.004,64	19.740,00	1.516,05
	10.692,19	232,58	182,00	293,65	721,00	501,00	1.008,78	19.740,00	1.409,40
	10.698,92	232,58	182,00	293,65	721,00	505,00	1.008,78	19.740,00	1.409,40
	10.698,92	232,58	185,68	293,65	721,00	505,00	1.008,78	19.740,00	1.409,40
	10.698,92	238,53	185,68	290,85	714,00	505,00	999,12	19.760,00	1.409,40
	10.685,46	238,53	185,68	290,85	714,00	502,00	999,12	19.760,00	1.368,45
	10.685,46	238,53	185,68	290,85	714,00	502,00	999,12	19.760,00	1.368,45
	10.685,46	238,53	183,93	293,30	709,00	502,00	999,12	19.790,00	1.368,45
	10.688,83	233,98	183,93	293,30	709,00	500,00	1.010,16	19.790,00	1.470,60
	10.688,83	233,98	183,93	293,30	709,00	500,00	1.010,16	19.790,00	1.470,60
	10.688,83	233,98	179,03	290,15	709,00	500,00	1.010,16	19.800,00	1.470,60
	10.688,83	236,08	179,03	290,15	715,00	500,00	1.010,16	19.800,00	1.470,60
	10.705,66	236,08	179,03	290,15	715,00	500,00	1.001,88	19.800,00	1.389,15
	10.705,66	236,08	181,30	290,15	715,00	495,00	1.001,88	19.800,00	1.389,15
	10.705,66	231,00	181,30	292,78	702,00	495,00	1.001,88	19.800,00	1.389,15
	10.695,56	231,00	181,30	292,78	702,00	495,00	1.015,68	19.810,00	1.389,15
	10.695,56	231,00	181,30	292,78	702,00	498,00	1.015,68	19.810,00	1.305,00
	10.695,56	231,00	179,20	289,63	730,00	498,00	1.015,68	19.810,00	1.305,00
	10.709,02	232,23	179,20	289,63	730,00	498,00	1.015,68	19.780,00	1.305,00
	10.709,02	232,23	179,20	289,63	730,00	498,00	1.000,50	19.780,00	1.397,70
	10.709,02	232,23	187,78	291,55	730,00	498,00	1.000,50	19.780,00	1.397,70
	10.709,02	231,35	187,78	291,55	707,00	498,00	1.000,50	19.780,00	1.397,70
	10.709,02	231,35	187,78	291,55	707,00	498,00	1.004,64	19.780,00	1.320,75
	10.702,29	231,35	187,78	291,55	707,00	502,00	1.004,64	19.780,00	1.320,75
	10.702,29	231,35	184,63	291,55	707,00	502,00	1.004,64	19.780,00	1.320,75
	10.702,29	233,45	184,63	294,18	724,00	502,00	1.004,64	19.780,00	1.320,75
	10.685,46	233,45	184,63	294,18	724,00	502,00	999,12	19.760,00	1.320,75

	10.685,46	233,45	184,63	294,18	724,00	505,00	999,12	19.760,00	1.354,50
	10.685,46	233,45	182,35	287,00	730,00	505,00	999,12	19.760,00	1.354,50
	10.698,92	234,85	182,35	287,00	730,00	505,00	999,12	19.750,00	1.354,50
	10.698,92	234,85	182,35	287,00	730,00	499,00	1.003,26	19.750,00	1.228,05
	10.698,92	234,85	180,08	292,60	730,00	499,00	1.003,26	19.750,00	1.228,05
	10.698,92	232,23	180,08	292,60	718,00	499,00	1.003,26	19.800,00	1.228,05
	10.705,66	232,23	180,08	292,60	718,00	499,00	1.004,64	19.800,00	1.288,80
	10.705,66	232,23	184,28	292,60	718,00	500,00	1.004,64	19.800,00	1.288,80
	10.705,66	230,65	184,28	289,10	728,00	500,00	1.004,64	19.800,00	1.288,80
	10.688,83	230,65	184,28	289,10	728,00	500,00	1.006,02	19.740,00	1.288,80
	10.688,83	230,65	184,28	289,10	728,00	502,00	1.006,02	19.740,00	1.286,10
	10.688,83	230,65	181,83	288,23	716,00	502,00	1.006,02	19.740,00	1.286,10
	10.661,90	232,05	181,83	288,23	716,00	502,00	1.006,02	19.730,00	1.286,10
	10.661,90	232,05	181,83	288,23	716,00	507,00	1.000,50	19.730,00	1.328,85
	10.661,90	232,05	187,08	286,30	716,00	507,00	1.000,50	19.730,00	1.328,85
	10.661,90	232,23	187,08	286,30	711,00	507,00	1.000,50	19.740,00	1.328,85
	10.682,10	232,23	187,08	286,30	711,00	507,00	1.003,26	19.740,00	1.340,10
	10.682,10	232,23	184,28	286,30	711,00	505,00	1.003,26	19.740,00	1.340,10
	10.682,10	229,60	184,28	291,20	703,00	505,00	1.003,26	19.740,00	1.340,10
	10.688,83	229,60	184,28	291,20	703,00	505,00	999,12	19.790,00	1.340,10
	10.688,83	229,60	184,28	291,20	703,00	509,00	999,12	19.790,00	1.369,35
	10.688,83	229,60	181,13	285,43	703,00	509,00	999,12	19.790,00	1.369,35
	10.692,19	232,05	181,13	285,43	703,00	509,00	999,12	19.690,00	1.369,35
	10.692,19	232,05	181,13	285,43	703,00	498,00	990,84	19.690,00	1.434,15
	10.692,19	232,05	179,73	289,10	703,00	498,00	990,84	19.690,00	1.434,15
	10.692,19	235,03	179,73	289,10	720,00	498,00	990,84	19.640,00	1.434,15
	10.688,83	235,03	179,73	289,10	720,00	498,00	990,84	19.640,00	1.431,00
	10.688,83	235,03	189,18	289,10	720,00	498,00	1.008,78	19.640,00	1.431,00
	10.688,83	233,80	189,18	295,05	726,00	498,00	1.008,78	19.640,00	1.431,00
	10.688,83	233,80	189,18	295,05	726,00	498,00	1.008,78	19.640,00	1.431,00
	10.688,83	233,80	189,18	295,05	726,00	498,00	1.001,88	19.690,00	1.431,00
	10.688,83	233,80	189,18	295,05	726,00	506,00	1.001,88	19.690,00	1.475,10
	10.688,83	233,80	181,13	289,28	711,00	506,00	1.001,88	19.690,00	1.475,10
	10.705,66	229,95	181,13	289,28	711,00	506,00	1.001,88	19.760,00	1.475,10
	10.705,66	229,95	181,13	289,28	711,00	491,00	994,98	19.760,00	1.390,05
	10.705,66	229,95	181,48	291,55	711,00	491,00	994,98	19.760,00	1.390,05
	10.705,66	232,40	181,48	291,55	719,00	491,00	994,98	19.650,00	1.390,05

	10.705,66	232,40	181,48	291,55	719,00	491,00	1.007,40	19.650,00	1.423,80
	10.705,66	232,40	180,43	291,55	719,00	497,00	1.007,40	19.650,00	1.423,80
	10.705,66	233,63	180,43	287,18	717,00	497,00	1.007,40	19.650,00	1.423,80
	10.688,83	233,63	180,43	287,18	717,00	497,00	1.000,50	19.720,00	1.423,80
	10.688,83	233,63	180,43	287,18	717,00	499,00	1.000,50	19.720,00	1.334,25
	10.688,83	233,63	176,93	284,73	722,00	499,00	1.000,50	19.720,00	1.334,25
	10.719,12	230,48	176,93	284,73	722,00	499,00	1.000,50	19.690,00	1.334,25
	10.719,12	230,48	176,93	284,73	722,00	491,00	997,74	19.690,00	1.284,30
	10.719,12	230,48	182,18	290,33	722,00	491,00	997,74	19.690,00	1.284,30
	10.719,12	233,98	182,18	290,33	720,00	491,00	997,74	19.660,00	1.284,30
	10.705,66	233,98	182,18	290,33	720,00	491,00	1.003,26	19.660,00	1.347,75
	10.705,66	233,98	184,45	290,33	720,00	501,00	1.003,26	19.660,00	1.347,75
	10.705,66	233,10	184,45	289,98	720,00	501,00	1.003,26	19.660,00	1.347,75
	10.705,66	233,10	184,45	289,98	720,00	501,00	994,98	19.650,00	1.347,75
	10.705,66	233,10	184,45	289,98	720,00	502,00	994,98	19.650,00	1.318,50
	10.705,66	233,10	185,15	288,05	718,00	502,00	994,98	19.650,00	1.318,50
	10.702,29	230,65	185,15	288,05	718,00	502,00	994,98	19.650,00	1.318,50
	10.702,29	230,65	185,15	288,05	718,00	507,00	989,46	19.650,00	1.128,60
	10.702,29	230,65	184,28	285,78	718,00	507,00	989,46	19.650,00	1.128,60
	10.702,29	231,88	184,28	285,78	705,00	507,00	989,46	19.650,00	1.128,60
	10.698,92	231,88	184,28	285,78	705,00	507,00	989,46	19.650,00	1.442,25
	10.698,92	231,88	179,90	285,78	705,00	501,00	989,46	19.650,00	1.442,25
	10.698,92	228,55	179,90	289,98	716,00	501,00	989,46	19.650,00	1.442,25
	10.705,66	228,55	179,90	289,98	716,00	501,00	993,60	19.670,00	1.442,25
	10.705,66	228,55	179,90	289,98	716,00	498,00	993,60	19.670,00	1.372,05
	10.705,66	228,55	180,25	290,33	693,00	498,00	993,60	19.670,00	1.372,05
	10.675,37	229,25	180,25	290,33	693,00	498,00	993,60	19.640,00	1.372,05
	10.675,37	229,25	180,25	290,33	693,00	505,00	990,84	19.640,00	1.395,90
média	10.694,85	232,60	182,73	289,29	715,86	501,95	1.001,32	19.735,94	1.341,79
desvio padrão	12,07601132	1,994222459	3,24099203	2,753255478	8,669489199	4,852508322	6,082832238	50,6356229	83,3265573

Apêndice B

Quadro 1B-Perda de Carga Água (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
Agua5	303,10	110,00	15,10	0,91	110,00	41,80	2,01
Agua75	452,60	110,00	31,90	2,69	110,00	95,90	3,91
Agua100	602,40	102,00	53,40	4,50	102,00	147,20	4,74
Agua125	749,10	96,00	78,00	2,73	96,00	226,90	3,66
Agua150	907,60	110,00	109,20	4,32	110,00	322,90	9,27
Agua175	1.050,40	105,00	141,00	4,50	105,00	433,40	9,78
Agua200	1.203,20	108,00	180,00	5,06	108,00	567,30	10,83
Agua220	1.319,40	104,00	205,10	5,39	104,00	663,50	9,56

Quadro 2B-Perda de Carga Água(mm água)- 5 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
Agua5	303,10	110,00	17,50	0,47	110,00	48,00	2,01
Agua75	452,60	110,00	33,60	0,37	110,00	94,20	1,32
Agua100	602,40	102,00	54,30	0,85	102,00	160,50	2,40
Agua125	749,10	96,00	80,40	1,43	96,00	242,70	3,34
Agua150	907,60	110,00	115,30	2,51	110,00	347,10	4,25
Agua175	1.050,40	105,00	147,60	1,89	105,00	453,20	4,71
Agua200	1.203,20	108,00	187,90	2,42	108,00	582,10	4,51
Agua220	1.319,40	104,00	216,00	9,27	104,00	676,90	6,14

Quadro 3B-Perda de Carga Água (mm água)- 5 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
Agua5	303,10	110,00	15,80	2,44	110,00	40,50	1,11
Agua75	452,60	110,00	33,50	4,28	110,00	96,00	2,16
Agua100	602,40	102,00	55,40	4,55	102,00	166,60	3,97
Agua125	749,10	96,00	81,30	4,90	96,00	252,40	3,48
Agua150	907,60	110,00	115,60	4,77	110,00	361,90	3,97
Agua175	1.050,40	105,00	151,50	4,32	105,00	474,80	5,26
Agua200	1.203,20	108,00	192,30	3,47	108,00	609,70	4,74
Agua220	1.319,40	104,00	222,40	3,07	104,00	713,20	4,72

Quadro 4B-Perda de Carga Água (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
AG5045	301,90	106,00	14,20	1,20	106,00	42,20	2,74
AG7545	453,10	111,00	31,00	2,48	111,00	81,30	3,96
AG10045	601,70	114,00	50,40	2,09	114,00	139,30	4,85
AG12545	751,70	111,00	75,40	2,16	111,00	223,10	4,13
AG15045	902,40	110,00	104,40	2,54	110,00	323,60	5,76
AG17545	1.050,70	113,00	136,80	3,23	113,00	436,00	6,35
AG20045	1.200,40	106,00	172,20	3,47	106,00	552,50	7,06
AG22045	1.317,40	111,00	204,20	3,32	111,00	658,30	7,65

Quadro 5B-Perda de Carga Água (mm água)- 45 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
AG5045	301,90	106,00	16,00	0,30	106,00	50,10	0,68
AG7545	453,10	111,00	31,40	0,52	111,00	101,50	0,67
AG10045	601,70	114,00	50,40	0,74	114,00	163,60	1,84
AG12545	751,70	111,00	74,10	0,91	111,00	240,10	1,09
AG15045	902,40	110,00	108,60	1,13	110,00	331,90	1,44
AG17545	1.050,70	113,00	134,20	1,31	113,00	440,60	1,57
AG20045	1.200,40	106,00	171,40	1,77	106,00	557,40	1,60
AG22045	1.317,40	111,00	201,60	2,55	111,00	662,50	1,75

Quadro 6B-Perda de Carga Água (mm água)- 45 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
AG5045	301,90	106,00	14,00	1,79	106,00	42,70	0,92
AG7545	453,10	111,00	29,50	2,85	111,00	94,70	0,76
AG10045	601,70	114,00	50,40	3,39	114,00	163,70	1,36
AG12545	751,70	111,00	76,70	3,58	111,00	250,10	1,52
AG15045	902,40	110,00	107,70	3,77	110,00	352,50	2,11
AG17545	1.050,70	113,00	144,40	4,57	113,00	468,40	2,76
AG20045	1.200,40	106,00	182,50	4,77	106,00	595,90	2,58
AG22045	1.317,40	111,00	218,70	3,53	111,00	711,60	2,05

Quadro 7B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)

Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar555	629,90	138,00	63,20	1,85	138,00	203,20	6,96
6ar555	709,10	141,00	77,20	1,57	141,00	249,00	8,91
5ar555	800,10	143,00	93,20	2,11	143,00	300,00	8,88
4ar555	921,00	141,00	121,30	2,12	141,00	387,20	9,30
3ar555	1.078,80	138,00	153,60	2,19	138,00	479,00	11,16
2ar555	1.187,50	138,00	188,60	2,27	138,00	585,20	11,59
1ar555	1.320,00	138,00	237,10	2,93	138,00	739,00	13,41

Quadro 8B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)- 5,5 graus

Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar555	629,90	138,00	61,10	1,14	138,00	151,90	1,56
6ar555	709,10	141,00	76,20	1,18	141,00	215,70	1,57
5ar555	800,10	143,00	94,70	1,18	143,00	266,90	2,15
4ar555	921,00	141,00	127,70	1,06	141,00	356,40	2,30
3ar555	1.078,80	138,00	164,70	1,27	138,00	454,00	2,82
2ar555	1.187,50	138,00	205,50	1,71	138,00	563,90	3,37
1ar555	1.320,00	138,00	258,80	1,65	138,00	718,30	3,14

Quadro 9B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)- 5,5 graus

Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar555	629,90	138,00	72,80	1,71	138,00	244,60	2,45
6ar555	709,10	141,00	85,50	1,48	141,00	290,40	2,30
5ar555	800,10	143,00	100,20	1,72	143,00	340,40	2,89
4ar555	921,00	141,00	126,20	2,05	141,00	433,10	3,46
3ar555	1.078,80	138,00	154,70	1,30	138,00	534,30	2,22
2ar555	1.187,50	138,00	186,30	1,44	138,00	650,40	4,05
1ar555	1.320,00	138,00	232,70	1,59	138,00	818,90	5,28

Quadro 10B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar511	655,30	139,00	71,50	1,15	139,00	221,30	5,19
6ar511	754,80	138,00	88,10	1,29	138,00	277,00	6,98
5ar511	902,90	139,00	116,30	1,56	139,00	369,70	7,19
4ar511	1.030,90	140,00	150,10	1,96	140,00	466,40	7,64
3ar511	1.113,20	139,00	175,00	1,94	139,00	537,30	8,71
2ar511	1.251,40	138,00	214,80	2,13	138,00	657,60	9,21
1ar511	1.368,70	138,00	255,10	2,03	138,00	789,80	8,26

Quadro 11B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)- 11 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar511	655,30	139,00	58,70	1,18	139,00	157,70	1,73
6ar511	754,80	138,00	76,70	1,15	138,00	210,50	1,83
5ar511	902,90	139,00	110,10	0,96	139,00	300,40	1,81
4ar511	1.030,90	140,00	147,00	1,37	140,00	403,30	2,42
3ar511	1.113,20	139,00	174,00	1,17	139,00	476,50	3,17
2ar511	1.251,40	138,00	216,90	1,28	138,00	595,90	3,03
1ar511	1.368,70	138,00	263,40	1,70	138,00	728,10	3,06

Quadro 12B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)- 11 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar511	655,30	139,00	90,00	1,61	139,00	301,50	3,82
6ar511	754,80	138,00	105,30	1,38	138,00	356,20	3,85
5ar511	902,90	139,00	132,00	1,03	139,00	448,70	3,98
4ar511	1.030,90	140,00	162,50	1,42	140,00	545,70	5,16
3ar511	1.113,20	139,00	184,10	1,37	139,00	634,90	4,97
2ar511	1.251,40	138,00	220,90	1,44	138,00	765,90	5,46
1ar511	1.368,70	138,00	260,80	1,44	138,00	909,10	6,28

Quadro 13B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar522	610,20	143,00	61,70	-	143,00	196,40	-
6ar522	768,40	142,00	86,70	1,15	142,00	277,20	5,84
5ar522	911,80	139,00	117,10	1,83	139,00	375,50	8,19
4ar522	987,90	140,00	140,00	1,74	140,00	440,40	7,95
3ar522	1.102,80	138,00	166,30	2,20	138,00	514,80	8,41
2ar522	1.196,50	142,00	193,30	2,07	142,00	596,90	9,24
1ar522	1.344,60	140,00	233,60	2,20	140,00	725,90	10,22

Quadro 14B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)- 22,5 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar522	610,20	143,00	29,30	-	143,00	71,20	-
6ar522	768,40	142,00	56,20	1,64	142,00	147,80	1,66
5ar522	911,80	139,00	91,50	1,92	139,00	244,50	3,18
4ar522	987,90	140,00	119,30	1,87	140,00	316,80	3,21
3ar522	1.102,80	138,00	149,90	1,46	138,00	393,80	2,37
2ar522	1.196,50	142,00	181,00	2,00	142,00	478,00	2,92
1ar522	1.344,60	140,00	227,10	1,66	140,00	610,80	3,39

Quadro 15B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)- 22,5 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar522	610,20	143,00	105,50	-	143,00	348,00	-
6ar522	768,40	142,00	125,60	2,45	142,00	422,80	4,14
5ar522	911,80	139,00	152,90	2,61	139,00	519,70	3,03
4ar522	987,90	140,00	172,60	2,22	140,00	590,30	4,24
3ar522	1.102,80	138,00	194,70	2,31	138,00	669,40	4,26
2ar522	1.196,50	142,00	218,80	1,75	142,00	758,80	3,58
1ar522	1.344,60	140,00	259,60	1,91	140,00	905,10	4,80

Quadro 16B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar534	696,40	140,00	72,90	0,93	140,00	233,20	5,76
6ar534	811,00	137,00	89,90	1,24	137,00	294,90	6,23
5ar534	909,40	138,00	110,30	1,72	138,00	356,40	6,86
4ar534	991,90	139,00	133,80	1,47	139,00	420,80	7,25
3ar534	1.104,30	141,00	158,20	1,75	141,00	492,20	10,00
2ar534	1.204,20	139,00	185,10	2,08	139,00	569,50	9,65
1ar534	1.343,70	139,00	226,40	2,49	139,00	701,40	9,53

Quadro 17B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)- 34 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar534	696,40	140,00	24,60	2,87	140,00	60,70	2,95
6ar534	811,00	137,00	44,60	2,82	137,00	113,60	3,22
5ar534	909,40	138,00	69,60	2,93	138,00	177,50	3,99
4ar534	991,90	139,00	92,40	3,21	139,00	244,60	4,21
3ar534	1.104,30	141,00	118,80	3,65	141,00	317,40	4,41
2ar534	1.204,20	139,00	145,20	3,50	139,00	397,60	3,95
1ar534	1.343,70	139,00	190,20	2,29	139,00	532,60	4,35

Quadro 18B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)- 34 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar534	696,40	140,00	131,10	2,98	140,00	432,50	5,60
6ar534	811,00	137,00	144,50	3,41	137,00	488,60	4,50
5ar534	909,40	138,00	160,70	2,92	138,00	548,30	4,61
4ar534	991,90	139,00	181,30	2,57	139,00	621,10	4,76
3ar534	1.104,30	141,00	203,80	2,87	141,00	702,00	6,53
2ar534	1.204,20	139,00	226,20	2,02	139,00	785,40	5,90
1ar534	1.343,70	139,00	268,00	2,66	139,00	931,60	4,92

Quadro 19B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar545	712,30	139,00	75,50	1,25	139,00	237,30	5,19
6ar545	770,90	142,00	85,10	1,52	142,00	270,40	5,59
5ar545	886,20	142,00	106,10	1,75	142,00	338,60	7,80
4ar545	973,50	141,00	129,50	2,06	141,00	404,90	6,81
3ar545	1.108,90	142,00	169,00	1,69	142,00	521,00	6,58
2ar545	1.236,80	139,00	197,00	1,74	139,00	604,10	7,83
1ar545	1.341,80	133,00	232,60	1,99	133,00	715,90	8,67

Quadro 20B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)- 45 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar545	712,30	139,00	13,90	3,23	139,00	20,50	4,95
6ar545	770,90	142,00	26,00	3,19	142,00	50,30	4,75
5ar545	886,20	142,00	50,20	4,29	142,00	117,10	5,03
4ar545	973,50	141,00	75,00	3,54	141,00	189,40	3,97
3ar545	1.108,90	142,00	117,20	2,96	142,00	305,00	5,29
2ar545	1.236,80	139,00	145,00	3,91	139,00	389,00	4,34
1ar545	1.341,80	133,00	182,70	3,24	133,00	502,00	4,85

Quadro 21B-Perda de Carga Água+Areia(5%) (mm água)- 45 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar545	712,30	139,00	154,50	10,47	139,00	500,20	9,55
6ar545	770,90	142,00	163,00	9,90	142,00	532,30	10,17
5ar545	886,20	142,00	182,30	13,08	142,00	599,10	9,70
4ar545	973,50	141,00	196,70	12,99	141,00	668,90	9,78
3ar545	1.108,90	142,00	229,10	12,02	142,00	790,10	12,32
2ar545	1.236,80	139,00	252,70	11,81	139,00	881,00	10,84
1ar545	1.341,80	133,00	289,30	2,75	133,00	1.001,30	6,08

Quadro 22B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1055	658,40	139,00	76,40	1,52	139,00	240,30	8,17
6ar1055	728,80	138,00	90,30	1,66	138,00	289,60	6,88
5ar1055	871,40	139,00	116,30	1,50	139,00	367,80	9,67
4ar1055	978,20	140,00	135,60	1,94	140,00	426,70	10,72
3ar1055	1.042,40	138,00	158,00	2,06	138,00	488,80	11,08
2ar1055	1.159,50	138,00	188,90	3,12	138,00	586,40	12,10
1ar1055	1.326,10	130,00	227,70	2,39	130,00	697,60	12,87

Quadro 23B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)- 5,5 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1055	658,40	139,00	64,30	1,36	139,00	173,80	2,95
6ar1055	728,80	138,00	80,30	1,28	138,00	219,80	2,66
5ar1055	871,40	139,00	110,00	1,25	139,00	299,90	2,32
4ar1055	978,20	140,00	134,20	1,40	140,00	364,80	2,93
3ar1055	1.042,40	138,00	158,30	1,44	138,00	429,20	2,40
2ar1055	1.159,50	138,00	196,90	1,32	138,00	535,10	2,96
1ar1055	1.326,10	130,00	240,10	1,87	130,00	655,90	4,50

Quadro 24B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)- 5,5 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1055	658,40	139,00	92,70	1,98	139,00	315,10	5,21
6ar1055	728,80	138,00	105,50	1,75	138,00	360,00	6,02
5ar1055	871,40	139,00	129,00	1,74	139,00	444,90	6,33
4ar1055	978,20	140,00	145,50	1,95	140,00	501,30	6,77
3ar1055	1.042,40	138,00	165,50	1,58	138,00	574,40	4,46
2ar1055	1.159,50	138,00	195,50	1,97	138,00	680,60	5,27
1ar1055	1.326,10	130,00	231,10	1,83	130,00	808,90	6,96

Quadro 25B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1011	688,00	141,00	79,70	1,35	141,00	255,90	6,43
6ar1011	779,90	140,00	97,70	4,10	140,00	308,60	8,02
5ar1011	903,80	138,00	123,50	1,80	138,00	393,70	7,57
4ar1011	973,20	137,00	142,60	1,77	137,00	449,80	8,05
3ar1011	1.105,10	136,00	169,10	1,96	136,00	533,50	8,86
2ar1011	1.221,70	134,00	206,20	2,61	134,00	636,70	10,00
1ar1011	1.353,90	133,00	250,20	2,60	133,00	776,10	9,66

Quadro 26B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)- 11 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1011	688,00	141,00	50,50	1,07	141,00	131,90	2,87
6ar1011	779,90	140,00	66,20	1,31	140,00	180,30	2,11
5ar1011	903,80	138,00	98,50	1,14	138,00	263,60	2,56
4ar1011	973,20	137,00	122,30	1,78	137,00	323,50	4,14
3ar1011	1.105,10	136,00	152,00	1,78	136,00	406,20	3,71
2ar1011	1.221,70	134,00	196,00	2,07	134,00	528,50	4,85
1ar1011	1.353,90	133,00	244,30	2,30	133,00	664,50	4,79

Quadro 27B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)- 11 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1011	688,00	141,00	116,10	4,25	141,00	399,00	6,67
6ar1011	779,90	140,00	130,50	4,44	140,00	451,40	7,38
5ar1011	903,80	138,00	155,80	4,36	138,00	535,70	7,21
4ar1011	973,20	137,00	173,10	3,12	137,00	599,20	7,89
3ar1011	1.105,10	136,00	196,10	3,84	136,00	683,30	7,43
2ar1011	1.221,70	134,00	227,50	3,46	134,00	795,10	7,40
1ar1011	1.353,90	133,00	271,10	3,21	133,00	951,90	8,53

Quadro 28B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)

Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1022	668,70	140,00	78,90	2,18	140,00	251,00	7,55
6ar1022	790,60	140,00	97,90	1,68	140,00	311,20	7,28
5ar1022	882,10	138,00	118,40	1,65	138,00	376,00	8,35
4ar1022	998,20	139,00	142,60	1,84	139,00	449,40	7,04
3ar1022	1.074,30	140,00	167,70	2,21	140,00	522,70	8,24
2ar1022	1.213,80	141,00	209,60	2,36	141,00	644,20	8,47
1ar1022	1.338,40	136,00	251,00	2,01	136,00	766,70	10,60

Quadro 29B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)- 22,5 graus

Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1022	668,70	140,00	15,90	2,14	140,00	28,90	3,64
6ar1022	790,60	140,00	37,60	1,54	140,00	88,50	3,03
5ar1022	882,10	138,00	60,70	1,56	138,00	150,00	4,47
4ar1022	998,20	139,00	87,50	1,60	139,00	220,80	3,96
3ar1022	1.074,30	140,00	117,10	1,59	140,00	301,60	3,59
2ar1022	1.213,80	141,00	160,80	1,76	141,00	423,60	4,02
1ar1022	1.338,40	136,00	208,80	1,85	136,00	558,60	4,02

Quadro 30B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)- 22,5 graus

Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1022	668,70	140,00	153,80	4,14	140,00	516,80	6,35
6ar1022	790,60	140,00	167,60	4,50	140,00	568,80	6,32
5ar1022	882,10	138,00	185,90	3,62	138,00	633,40	7,27
4ar1022	998,20	139,00	206,30	3,71	139,00	705,80	7,43
3ar1022	1.074,30	140,00	226,60	3,14	140,00	777,20	6,58
2ar1022	1.213,80	141,00	261,90	3,03	141,00	907,20	6,80
1ar1022	1.338,40	136,00	299,90	2,74	136,00	1.046,80	7,94

Quadro 31B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
6ar1034	841,90	134,00	108,80	1,64	134,00	344,50	6,93
7ar1034	864,40	137,00	114,50	1,77	137,00	360,70	6,45
5ar1034	1.027,90	138,00	155,40	3,12	138,00	486,30	9,75
4ar1034	1.137,30	139,00	195,50	1,99	139,00	600,20	9,43
3ar1034	1.248,20	134,00	226,10	2,57	134,00	689,30	9,22
2ar1034	1.361,60	136,00	264,80	1,68	136,00	801,30	9,59
1ar1034	1.445,50	136,00	301,10	2,98	136,00	915,30	9,09

Quadro 32B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)- 34 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
6ar1034	841,90	134,00	18,70	1,81	134,00	32,90	3,94
7ar1034	864,40	137,00	24,60	1,65	137,00	49,30	4,45
5ar1034	1.027,90	138,00	69,80	2,48	138,00	172,20	7,09
4ar1034	1.137,30	139,00	113,70	2,01	139,00	294,80	4,34
3ar1034	1.248,20	134,00	147,30	1,82	134,00	393,00	3,83
2ar1034	1.361,60	136,00	188,40	1,67	136,00	507,40	4,28
1ar1034	1.445,50	136,00	229,10	2,30	136,00	629,20	4,66

Quadro 33B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)- 34 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
6ar1034	841,90	134,00	207,60	3,79	134,00	699,10	7,36
7ar1034	864,40	137,00	212,80	3,75	137,00	720,40	7,17
5ar1034	1.027,90	138,00	247,40	4,43	138,00	841,70	11,33
4ar1034	1.137,30	139,00	279,60	3,46	139,00	958,20	7,67
3ar1034	1.248,20	134,00	308,20	3,69	134,00	1.060,10	8,52
2ar1034	1.361,60	136,00	345,10	2,71	136,00	1.186,20	8,33
1ar1034	1.445,50	136,00	382,70	3,09	136,00	1.322,60	9,56

Quadro 34B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)

Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1045	659,90	146,00	77,00	1,74	146,00	237,80	6,77
6ar1045	771,30	140,00	95,50	1,57	140,00	297,00	6,47
5ar1045	862,00	142,00	115,70	1,47	142,00	359,70	9,10
4ar1045	998,70	138,00	149,70	1,52	138,00	464,20	7,30
3ar1045	1.095,50	139,00	172,70	1,92	139,00	533,70	7,14
2ar1045	1.199,10	136,00	206,00	1,95	136,00	627,00	7,22
1ar1045	1.270,90	133,00	235,50	1,85	133,00	713,30	7,90

Quadro 35B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)- 45 graus

Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1045	659,90	146,00	-	-	146,00	-	-
6ar1045	771,30	140,00	-	-	140,00	-	-
5ar1045	862,00	142,00	-	-	142,00	-	-
4ar1045	998,70	138,00	36,30	2,86	138,00	64,30	6,84
3ar1045	1.095,50	139,00	65,90	3,87	139,00	144,20	6,04
2ar1045	1.199,10	136,00	99,80	2,47	136,00	246,60	5,72
1ar1045	1.270,90	133,00	138,10	2,05	133,00	335,40	14,59

Quadro 36B-Perda de Carga Água+Areia(10%) (mm água)- 45 graus

Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1045	659,90	146,00	212,30	6,85	146,00	709,10	7,90
6ar1045	771,30	140,00	227,40	6,06	140,00	764,70	7,51
5ar1045	862,00	142,00	242,80	3,60	142,00	819,40	8,60
4ar1045	998,70	138,00	270,40	4,89	138,00	918,20	7,98
3ar1045	1.095,50	139,00	290,50	4,28	139,00	997,30	7,87
2ar1045	1.199,10	136,00	318,90	3,90	136,00	1.099,60	8,65
1ar1045	1.270,90	133,00	345,90	2,93	133,00	1.209,60	6,67

Quadro 37B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1555	595,30	145,00	75,60	1,40	145,00	224,10	5,62
6ar1555	707,80	141,00	95,90	2,30	141,00	290,20	8,30
5ar1555	786,60	140,00	112,30	1,87	140,00	340,60	12,37
4ar1555	891,50	144,00	132,20	1,45	144,00	401,30	6,58
3ar1555	1.038,40	143,00	167,10	1,96	143,00	506,60	8,50
2ar1555	1.159,00	142,00	206,90	2,81	142,00	624,20	8,43
1ar1555	1.281,70	135,00	246,70	2,94	135,00	747,80	8,78

Quadro 38B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)- 5,5 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1555	595,30	145,00	55,90	1,25	145,00	146,50	2,09
6ar1555	707,80	141,00	78,70	2,77	141,00	212,40	2,70
5ar1555	786,60	140,00	96,90	1,90	140,00	262,30	3,43
4ar1555	891,50	144,00	119,80	1,39	144,00	327,60	2,91
3ar1555	1.038,40	143,00	158,80	1,13	143,00	436,30	3,76
2ar1555	1.159,00	142,00	203,70	1,70	142,00	563,20	4,10
1ar1555	1.281,70	135,00	243,70	2,62	135,00	698,50	3,59

Quadro 39B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)- 5,5 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1555	595,30	145,00	97,90	7,29	145,00	336,30	4,98
6ar1555	707,80	141,00	114,20	12,56	141,00	401,80	6,16
5ar1555	786,60	140,00	132,00	6,02	140,00	450,10	5,64
4ar1555	891,50	144,00	150,10	4,45	144,00	515,50	5,70
3ar1555	1.038,40	143,00	180,20	4,50	143,00	635,40	6,00
2ar1555	1.159,00	142,00	214,50	4,20	142,00	760,10	6,30
1ar1555	1.281,70	135,00	247,80	3,35	135,00	904,10	6,85

Quadro 40B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1511	617,40	141,00	79,30	1,81	141,00	247,90	7,95
6ar1511	757,70	138,00	100,60	1,69	138,00	311,90	5,79
5ar1511	865,20	138,00	119,40	1,78	138,00	368,80	8,34
4ar1511	981,80	139,00	144,60	2,14	139,00	447,90	8,46
3ar1511	1.085,80	140,00	166,90	2,06	140,00	519,90	6,83
2ar1511	1.196,30	141,00	201,70	2,49	141,00	619,20	7,17
1ar1511	1.309,50	138,00	239,20	2,58	138,00	734,10	9,19

Quadro 41B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)- 11 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1511	617,40	141,00	28,80	1,61	141,00	68,50	3,26
6ar1511	757,70	138,00	50,80	2,27	138,00	134,50	2,47
5ar1511	865,20	138,00	72,30	1,85	138,00	192,20	3,17
4ar1511	981,80	139,00	102,50	1,79	139,00	270,20	3,31
3ar1511	1.085,80	140,00	129,30	1,50	140,00	347,90	4,16
2ar1511	1.196,30	141,00	172,30	2,04	141,00	458,80	4,92
1ar1511	1.309,50	138,00	216,30	2,52	138,00	591,10	4,18

Quadro 42B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)- 11 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1511	617,40	141,00	137,20	5,72	141,00	467,40	7,93
6ar1511	757,70	138,00	151,80	7,29	138,00	524,70	7,26
5ar1511	865,20	138,00	169,50	6,81	138,00	581,20	8,34
4ar1511	981,80	139,00	191,10	5,89	139,00	660,50	8,74
3ar1511	1.085,80	140,00	213,20	4,91	140,00	736,20	7,15
2ar1511	1.196,30	141,00	249,50	4,00	141,00	852,40	6,93
1ar1511	1.309,50	138,00	286,30	4,49	138,00	990,10	8,72

Quadro 43B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1522	609,80	141,00	76,90	1,40	141,00	232,00	5,00
6ar1522	694,50	140,00	90,50	1,81	140,00	276,50	6,33
5ar1522	841,40	137,00	118,00	1,32	137,00	362,50	5,14
4ar1522	895,90	138,00	133,20	2,45	138,00	409,80	9,12
3ar1522	1.035,10	136,00	165,90	4,00	136,00	507,20	11,72
2ar1522	1.213,00	133,00	219,00	1,76	133,00	668,00	8,06
1ar1522	1.311,30	135,00	244,90	4,31	135,00	745,00	13,51

Quadro 44B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)- 22,5 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1522	609,80	141,00	-	-	141,00	-	-
6ar1522	694,50	140,00	-	-	140,00	-	-
5ar1522	841,40	137,00	27,60	1,47	137,00	50,20	6,98
4ar1522	895,90	138,00	45,40	1,76	138,00	95,60	5,29
3ar1522	1.035,10	136,00	84,20	3,12	136,00	197,60	8,83
2ar1522	1.213,00	133,00	147,10	2,53	133,00	368,70	5,80
1ar1522	1.311,30	135,00	178,60	2,83	135,00	455,40	11,16

Quadro 45B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)- 22,5 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1522	609,80	141,00	184,10	6,93	141,00	621,00	8,09
6ar1522	694,50	140,00	193,50	7,48	140,00	653,50	6,24
5ar1522	841,40	137,00	214,90	6,06	137,00	732,80	6,90
4ar1522	895,90	138,00	228,60	6,27	138,00	779,40	7,76
3ar1522	1.035,10	136,00	256,60	5,80	136,00	876,60	11,32
2ar1522	1.213,00	133,00	301,30	5,35	133,00	1.050,20	8,51
1ar1522	1.311,30	135,00	325,10	5,24	135,00	1.136,70	10,48

Quadro 46B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1534	625,80	141,00	79,90	2,01	141,00	246,60	7,26
6ar1534	773,40	141,00	103,10	1,80	141,00	321,20	7,66
5ar1534	915,50	139,00	132,60	1,85	139,00	409,10	7,24
4ar1534	1.040,60	138,00	161,30	2,09	138,00	496,10	9,40
3ar1534	1.152,60	138,00	186,00	2,01	138,00	571,00	9,19
2ar1534	1.214,70	141,00	205,90	2,87	141,00	627,70	9,94
1ar1534	1.303,60	137,00	236,90	2,92	137,00	711,30	15,35

Quadro 47B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)- 34 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1534	625,80	141,00	-	-	141,00	-	-
6ar1534	773,40	141,00	-	-	141,00	-	-
5ar1534	915,50	139,00	-	-	139,00	-	-
4ar1534	1.040,60	138,00	25,50	3,51	138,00	49,50	8,27
3ar1534	1.152,60	138,00	52,90	2,38	138,00	120,30	6,25
2ar1534	1.214,70	141,00	74,50	2,86	141,00	183,80	9,21
1ar1534	1.303,60	137,00	108,80	3,69	137,00	284,80	11,18

Quadro 48B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)- 34 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1534	625,80	141,00	239,60	6,57	141,00	803,80	8,87
6ar1534	773,40	141,00	254,30	5,15	141,00	857,50	11,79
5ar1534	915,50	139,00	274,70	5,15	139,00	933,10	12,14
4ar1534	1.040,60	138,00	296,10	5,22	138,00	1.019,00	12,04
3ar1534	1.152,60	138,00	319,90	4,79	138,00	1.095,00	10,23
2ar1534	1.214,70	141,00	336,40	4,92	141,00	1.150,80	12,33
1ar1534	1.303,60	137,00	354,40	4,47	137,00	1.245,10	13,97

Quadro 49B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)							
Horizontal							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1545	633,40	142,00	79,40	1,73	142,00	244,00	8,77
6ar1545	682,90	142,00	89,50	1,84	142,00	279,40	7,74
5ar1545	822,90	142,00	114,40	3,86	142,00	354,10	14,64
4ar1545	956,00	140,00	138,70	1,84	140,00	427,20	11,63
3ar1545	1.063,20	142,00	173,10	2,00	142,00	526,40	7,99
2ar1545	1.222,40	139,00	212,20	1,96	139,00	644,60	9,36
1ar1545	1.306,70	137,00	244,90	2,26	137,00	746,40	9,61

Quadro 50B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)- 45 graus							
Descendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1545	633,40	142,00	-	-	142,00	-	-
6ar1545	682,90	142,00	-	-	142,00	-	-
5ar1545	822,90	142,00	-	-	142,00	-	-
4ar1545	956,00	140,00	-	-	140,00	-	-
3ar1545	1.063,20	142,00	-	0,46	142,00	-	-
2ar1545	1.222,40	139,00	40,20	4,26	139,00	80,70	11,85
1ar1545	1.306,70	137,00	74,90	3,72	137,00	186,50	10,98

Quadro 51B-Perda de Carga Água+Areia(15%) (mm água)- 45 graus							
Ascendente							
Batelada	Q (l/min)	1m			3m		
		Núm Ptos	Média	Desv. Pad	Núm Ptos	Média	Desv. Pad
7ar1545	633,40	142,00	284,10	5,94	142,00	937,50	14,03
6ar1545	682,90	142,00	288,60	7,98	142,00	962,60	17,78
5ar1545	822,90	142,00	306,60	9,47	142,00	1.029,10	19,61
4ar1545	956,00	140,00	323,60	7,36	140,00	1.095,60	14,66
3ar1545	1.063,20	142,00	351,60	7,04	142,00	1.194,50	14,38
2ar1545	1.222,40	139,00	388,50	5,18	139,00	1.327,40	13,94
1ar1545	1.306,70	137,00	414,30	5,56	137,00	1.432,30	11,49

Apêndice C

Quadro 1C-Perda de Carga Água X velocidade-5 graus													
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal			descendente			ascendente			Ja (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	
Agua5	1,1499	0,0151	0,0418	0,0139	0,0145	0,0175	0,0480	0,0160	0,0168	0,0158	0,0405	0,0135	0,0147
Agua75	1,7171	0,0319	0,0959	0,0320	0,0319	0,0336	0,0942	0,0314	0,0325	0,0335	0,0960	0,0320	0,0328
Agua100	2,2854	0,0534	0,1472	0,0491	0,0512	0,0543	0,1605	0,0535	0,0539	0,0554	0,1666	0,0555	0,0555
Agua125	2,8419	0,0780	0,2269	0,0756	0,0768	0,0804	0,2427	0,0809	0,0807	0,0813	0,2524	0,0841	0,0827
Agua150	3,4432	0,1092	0,3229	0,1076	0,1084	0,1153	0,3471	0,1157	0,1155	0,1156	0,3619	0,1206	0,1181
Agua175	3,9850	0,1410	0,4334	0,1445	0,1427	0,1476	0,4532	0,1511	0,1493	0,1515	0,4748	0,1583	0,1549
Agua200	4,5647	0,1800	0,5673	0,1891	0,1846	0,1879	0,5821	0,1940	0,1910	0,1923	0,6097	0,2032	0,1978
Agua220	5,0055	0,2051	0,6635	0,2212	0,2131	0,216	0,6769	0,2256	0,2208	0,2224	0,7132	0,2377	0,2301

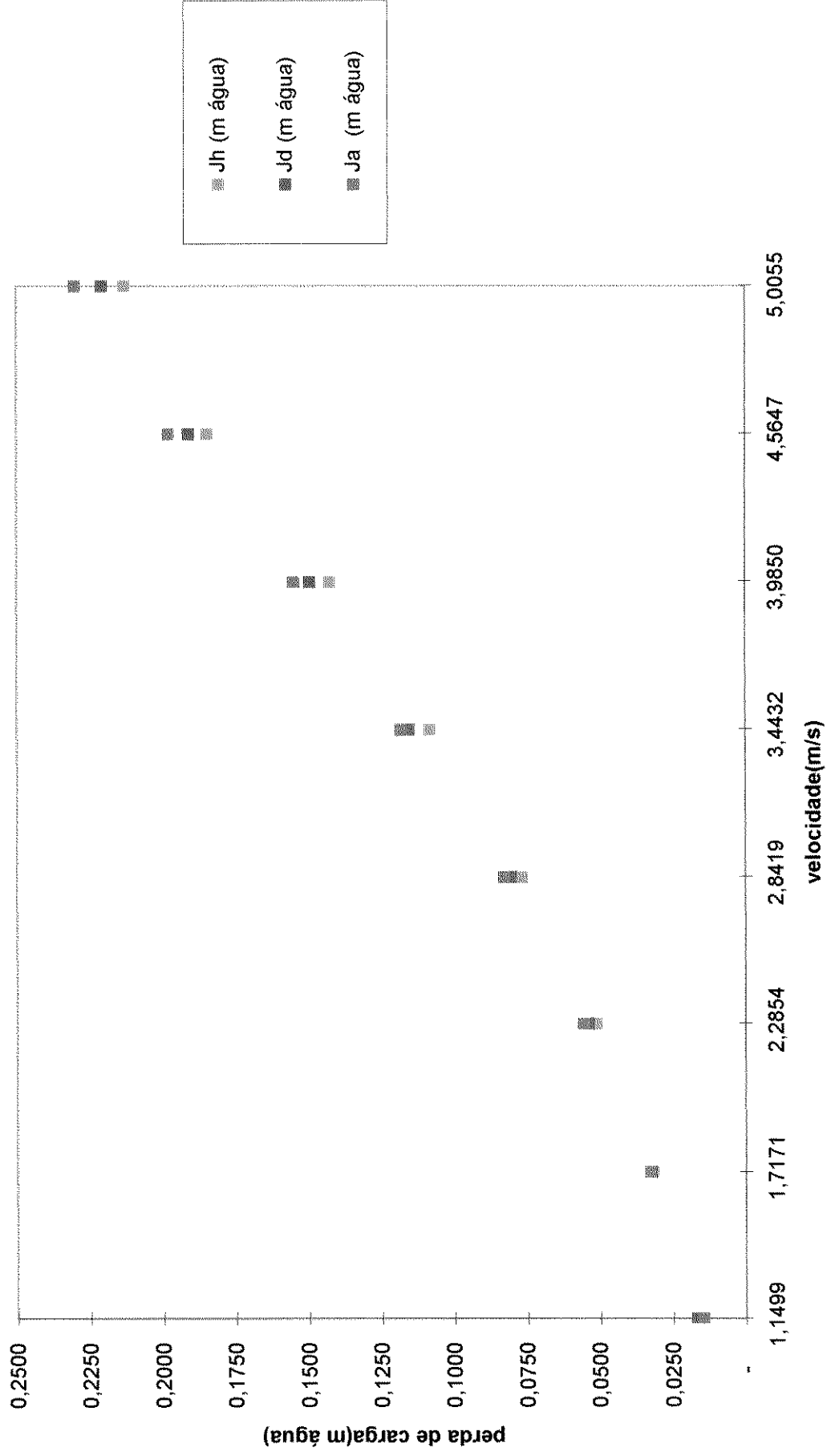


Fig. 1C- Perda deCarga-Água x Velocidade-5 graus

Quadro 2C-Perda de Carga Água X velocidade-45 graus													
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal			descendente				ascendente				Ja (m água)
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	
AG5045	1,1453	0,0142	0,0422	0,0141	0,0141	0,0160	0,0501	0,0167	0,0164	0,0140	0,0427	0,0142	0,0141
AG7545	1,7190	0,0310	0,0813	0,0271	0,0291	0,0314	0,1015	0,0338	0,0326	0,0295	0,0947	0,0316	0,0305
AG10045	2,2827	0,0504	0,1393	0,0464	0,0484	0,0504	0,1636	0,0545	0,0525	0,0504	0,1637	0,0546	0,0525
AG12545	2,8518	0,0754	0,2231	0,0744	0,0749	0,0741	0,2401	0,0800	0,0771	0,0767	0,2501	0,0834	0,0800
AG15045	3,4235	0,1044	0,3236	0,1079	0,1061	0,1086	0,3319	0,1106	0,1096	0,1077	0,3525	0,1175	0,1126
AG17545	3,9861	0,1368	0,4360	0,1453	0,1411	0,1342	0,4406	0,1469	0,1405	0,1444	0,4684	0,1561	0,1503
AG20045	4,5541	0,1722	0,5525	0,1842	0,1782	0,1714	0,5574	0,1858	0,1786	0,1825	0,5959	0,1986	0,1906
AG22045	4,9979	0,2042	0,6583	0,2194	0,2118	0,2016	0,6625	0,2208	0,2112	0,2187	0,7116	0,2372	0,2280

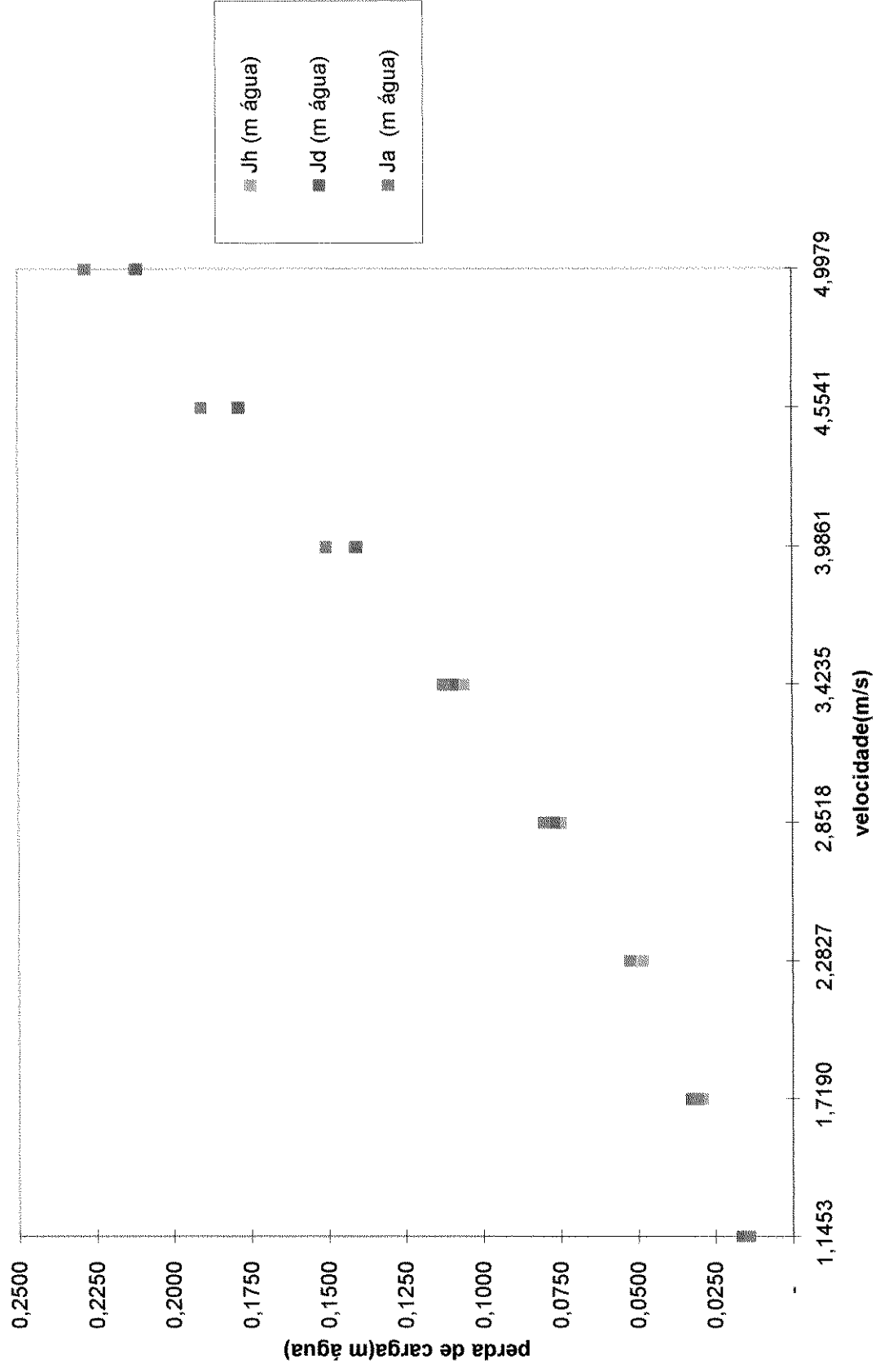


Fig. 2C- Perda de Carga-Água x Velocidade-45 graus

Quadro 3C-Perda de Carga Água +Areia(5%) X velocidade-5,5 graus													
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal				descendente				ascendente			
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)
7ar555	2,3897	0,0632	0,2032	0,0677	0,0655	0,0611	0,1519	0,0506	0,0559	0,0728	0,2446	0,0815	0,0772
6ar555	2,6902	0,0772	0,2490	0,0830	0,0801	0,0762	0,2157	0,0719	0,0741	0,0855	0,2904	0,0968	0,0912
5ar555	3,0354	0,0932	0,3000	0,1000	0,0966	0,0947	0,2669	0,0890	0,0918	0,1002	0,3404	0,1135	0,1068
4ar555	3,4941	0,1213	0,3872	0,1291	0,1252	0,1277	0,3564	0,1188	0,1233	0,1262	0,4331	0,1444	0,1353
3ar555	4,0927	0,1536	0,4790	0,1597	0,1566	0,1647	0,4540	0,1513	0,1580	0,1547	0,5343	0,1781	0,1664
2ar555	4,5051	0,1886	0,5852	0,1951	0,1918	0,2055	0,5639	0,1880	0,1967	0,1863	0,6504	0,2168	0,2016
1ar555	5,0078	0,2371	0,7390	0,2463	0,2417	0,2588	0,7183	0,2394	0,2491	0,2327	0,8189	0,2730	0,2528

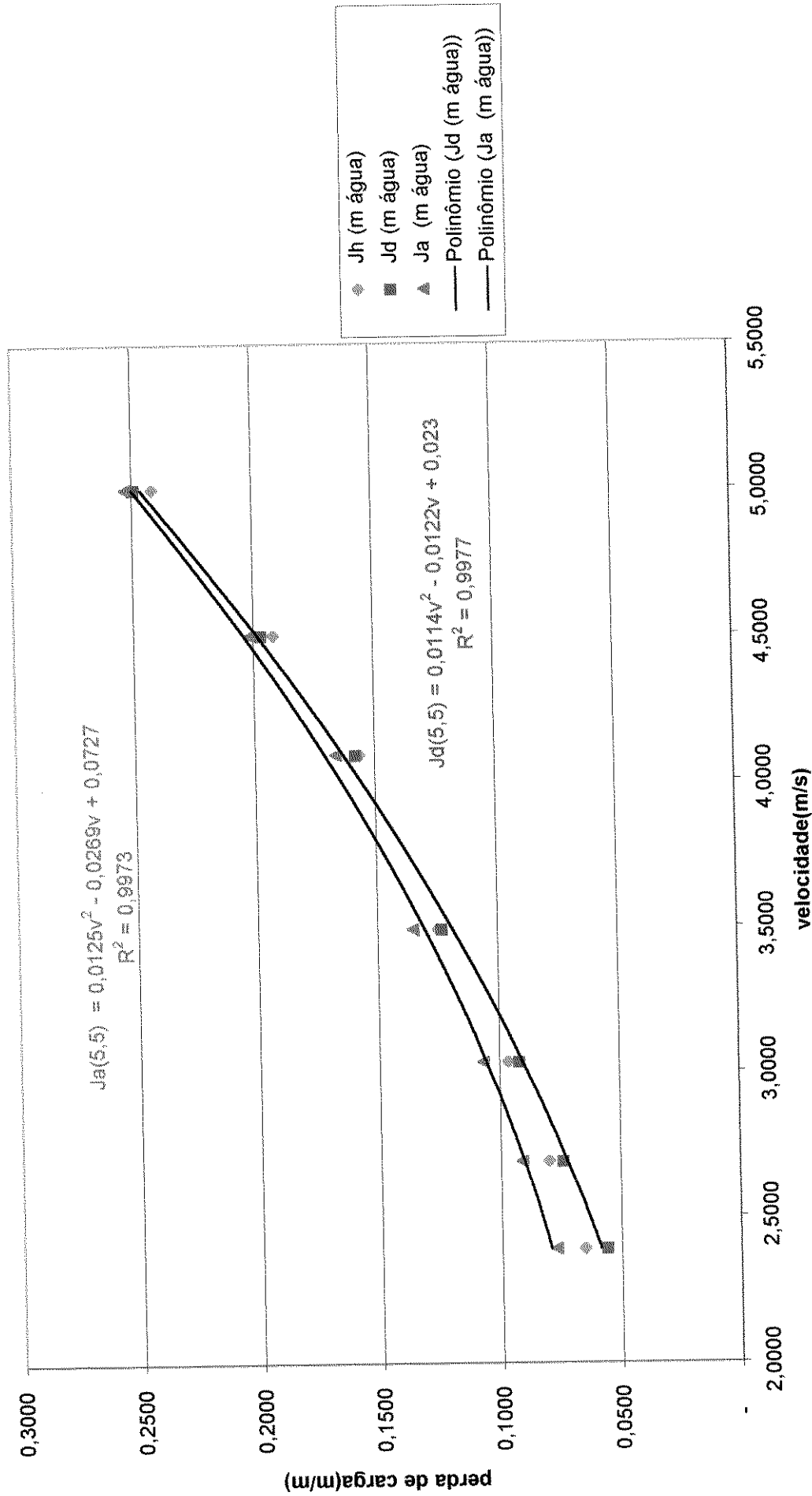


Fig. 3C- Perda de Carga-Água+Areia(5%) X Velocidade-5,5 graus

Quadro 4C-Perda de Carga Água +Areia(5%) X velocidade-11 graus													
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal			descendente			ascendente					
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)
7ar511	2,4861	0,0715	0,2213	0,0738	0,0726	0,0587	0,1577	0,0526	0,0556	0,0900	0,3015	0,1005	0,0953
6ar511	2,8635	0,0881	0,2770	0,0923	0,0902	0,0767	0,2105	0,0702	0,0734	0,1053	0,3562	0,1187	0,1120
5ar511	3,4254	0,1163	0,3697	0,1232	0,1198	0,1101	0,3004	0,1001	0,1051	0,1320	0,4487	0,1496	0,1408
4ar511	3,9110	0,1501	0,4664	0,1555	0,1528	0,1470	0,4033	0,1344	0,1407	0,1625	0,5457	0,1819	0,1722
3ar511	4,2232	0,1750	0,5373	0,1791	0,1771	0,1740	0,4765	0,1588	0,1664	0,1841	0,6349	0,2116	0,1979
2ar511	4,7475	0,2148	0,6576	0,2192	0,2170	0,2169	0,5959	0,1986	0,2078	0,2209	0,7659	0,2553	0,2381
1ar511	5,1925	0,2551	0,7898	0,2633	0,2592	0,2634	0,7281	0,2427	0,2531	0,2608	0,9091	0,3030	0,2819

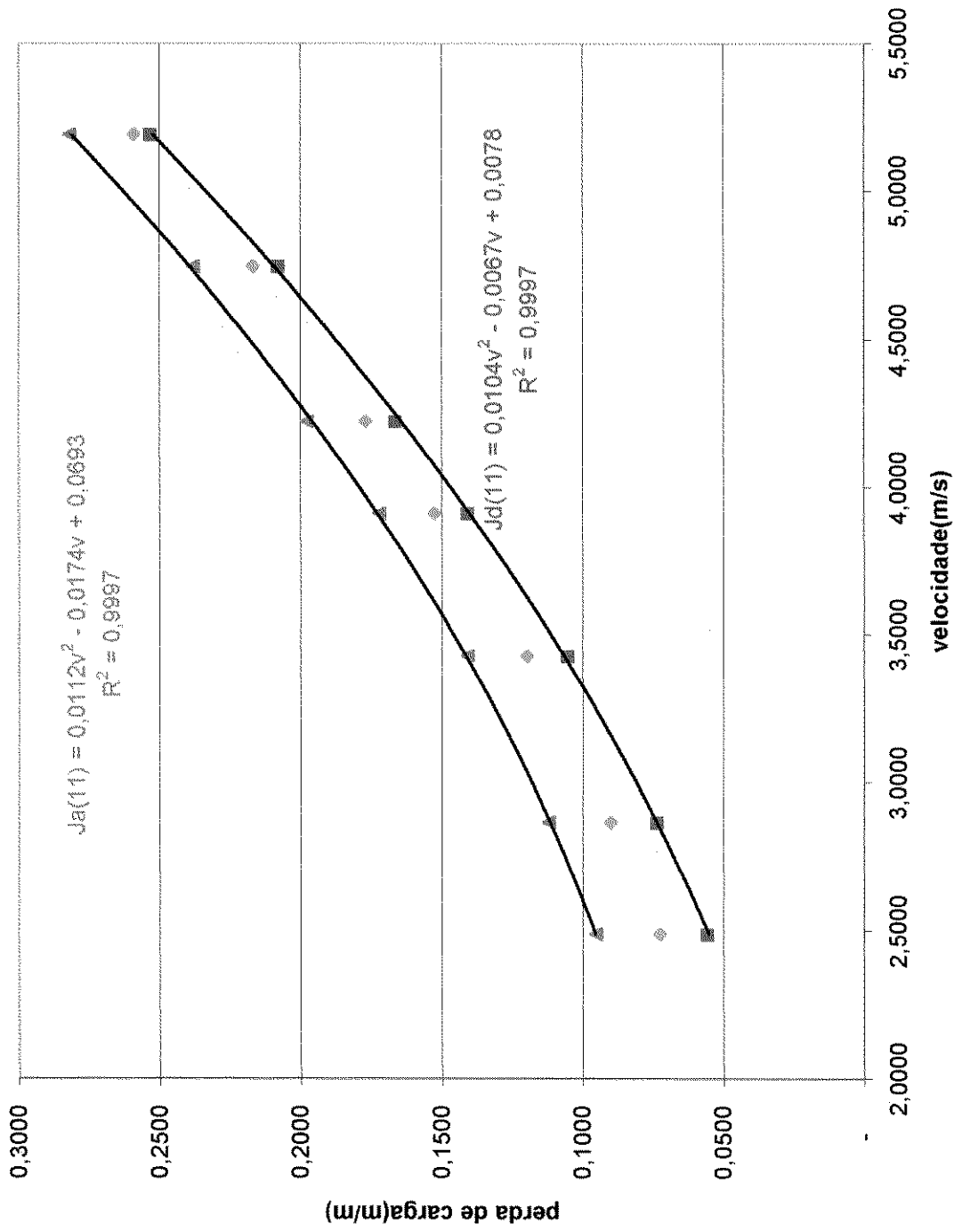


Fig. 4C- Perda de Carga Água+Areia(5%) X Velocidade-11 graus

Quadro 5C-Perda de Carga Água +Areia(5%) X velocidade-22,5 graus														
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal			descendente			ascendente			Ja (m água)			
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)		3m (m água)	3m/3 (m água)	
7ar522	2,3150	0,0617	0,1964	0,0655	0,0636	0,0293	0,0712	0,0237	0,0265	0,1055	0,3480	0,1160	0,1108	
6ar522	2,9151	0,0867	0,2772	0,0924	0,0896	0,0562	0,1478	0,0493	0,0527	0,1256	0,4228	0,1409	0,1333	
5ar522	3,4592	0,1171	0,3755	0,1252	0,1211	0,0915	0,2445	0,0815	0,0865	0,1529	0,5197	0,1732	0,1631	
4ar522	3,7479	0,1400	0,4404	0,1468	0,1434	0,1193	0,3168	0,1056	0,1125	0,1726	0,5903	0,1968	0,1847	
3ar522	4,1838	0,1663	0,5148	0,1716	0,1690	0,1499	0,3938	0,1313	0,1406	0,1947	0,6694	0,2231	0,2089	
2ar522	4,5393	0,1933	0,5969	0,1990	0,1961	0,1810	0,4780	0,1593	0,1702	0,2188	0,7588	0,2529	0,2359	
1ar522	5,1011	0,2336	0,7259	0,2420	0,2378	0,2271	0,6108	0,2036	0,2154	0,2596	0,9051	0,3017	0,2807	

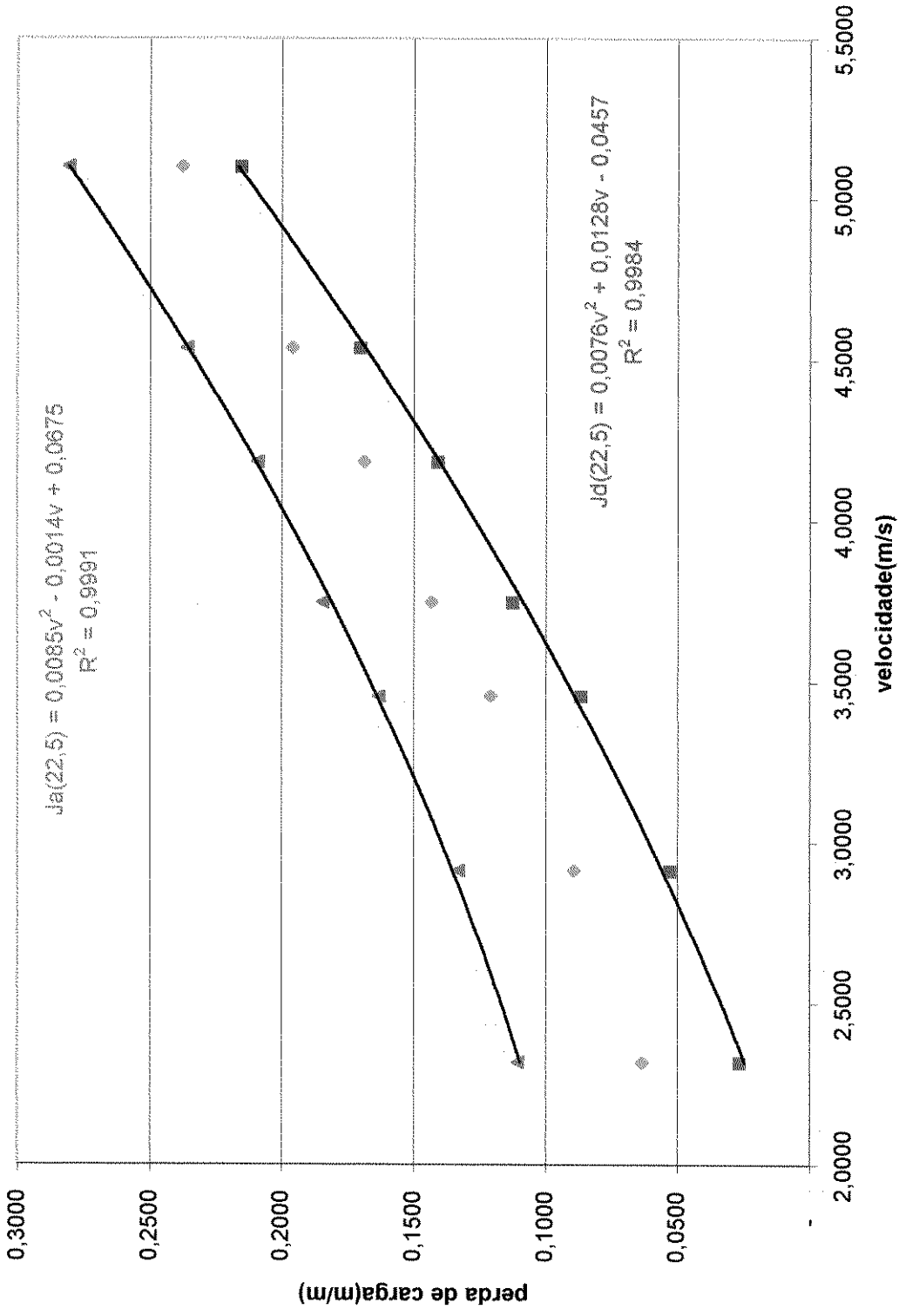


Fig. 5C- Perda de Carga Água+Areia(5%) X Velocidade-22,5 graus

Quadro 6C-Perda de Carga Água +Areia(5%) X velocidade-34 graus														
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal			descendente				ascendente					
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)	
7ar534	2,6420	0,0729	0,2332	0,0777	0,0753	0,0246	0,0607	0,0202	0,0224	0,1311	0,4325	0,1442	0,1376	
6ar534	3,0768	0,0899	0,2949	0,0983	0,0941	0,0446	0,1136	0,0379	0,0412	0,1445	0,4886	0,1629	0,1537	
5ar534	3,4501	0,1103	0,3564	0,1188	0,1146	0,0696	0,1775	0,0592	0,0644	0,1607	0,5483	0,1828	0,1717	
4ar534	3,7631	0,1338	0,4208	0,1403	0,1370	0,0924	0,2446	0,0815	0,0870	0,1813	0,6211	0,2070	0,1942	
3ar534	4,1895	0,1582	0,4922	0,1641	0,1611	0,1188	0,3174	0,1058	0,1123	0,2038	0,7020	0,2340	0,2189	
2ar534	4,5685	0,1851	0,5695	0,1898	0,1875	0,1452	0,3976	0,1325	0,1389	0,2262	0,7854	0,2618	0,2440	
1ar534	5,0977	0,2264	0,7014	0,2338	0,2301	0,1902	0,5326	0,1775	0,1839	0,2680	0,9316	0,3105	0,2893	

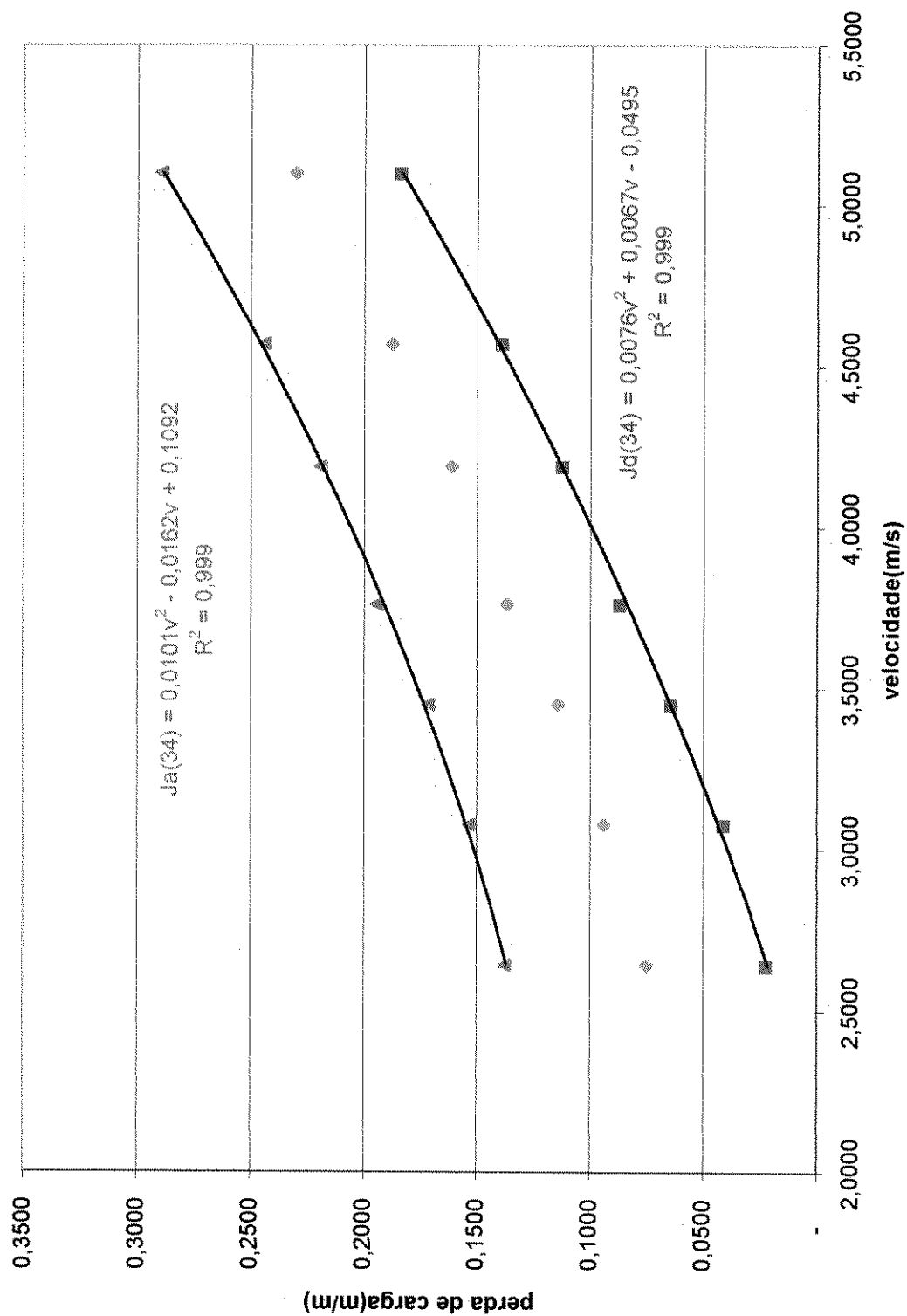


Fig. 6C- Perda de Carga Água+Areia(5%) X Velocidade-34 graus

Quadro 7C-Perda de Carga Água +Areia(5%) X velocidade-45 graus														
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal				descendente				ascendente				Ja (m água)
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)	
7ar545	2,7023	0,0755	0,2373	0,0791	0,0773	0,0139	0,0205	0,0068	0,0104	0,1545	0,5002	0,1667	0,1606	
6ar545	2,9246	0,0851	0,2704	0,0901	0,0876	0,0260	0,0503	0,0168	0,0214	0,1630	0,5323	0,1774	0,1702	
5ar545	3,3620	0,1061	0,3386	0,1129	0,1095	0,0502	0,1171	0,0390	0,0446	0,1823	0,5991	0,1997	0,1910	
4ar545	3,6932	0,1295	0,4049	0,1350	0,1322	0,0750	0,1894	0,0631	0,0691	0,1967	0,6689	0,2230	0,2098	
3ar545	4,2069	0,1690	0,5210	0,1737	0,1713	0,1172	0,3050	0,1017	0,1094	0,2291	0,7901	0,2634	0,2462	
2ar545	4,6921	0,1970	0,6041	0,2014	0,1992	0,1450	0,3890	0,1297	0,1373	0,2527	0,8810	0,2937	0,2732	
1ar545	5,0905	0,2326	0,7159	0,2386	0,2356	0,1827	0,5020	0,1673	0,1750	0,2893	1,0013	0,3338	0,3115	

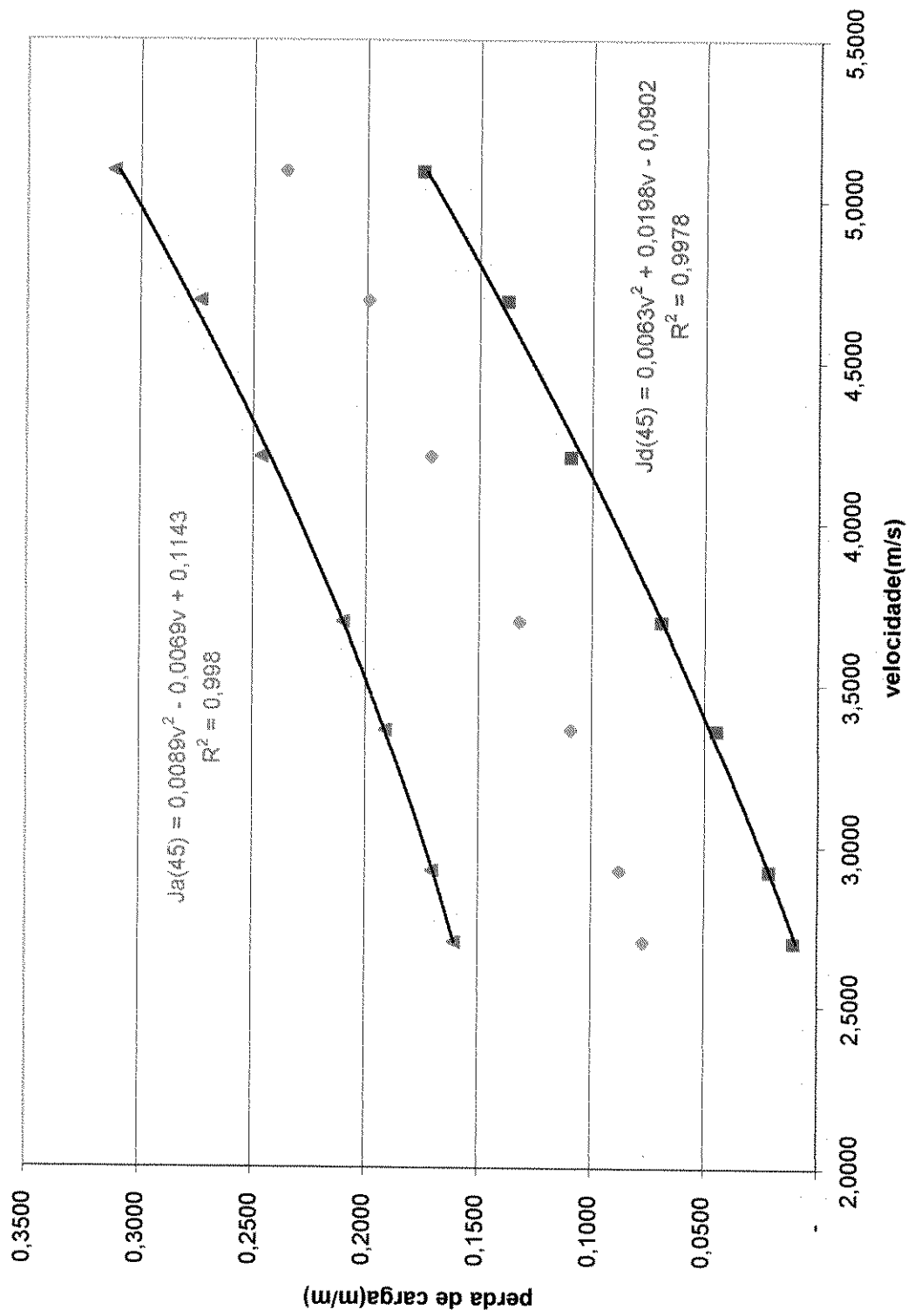


Fig. 7C- Perda de Carga Água+Areia(5%) X Velocidade-45 graus

Quadro 8C-Perda de Carga Água +Areia(10%) X velocidade-5,5 graus														
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal			descendente			ascendente						Ja (m água)
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)	
7ar1055	2,4978	0,0764	0,2403	0,0801	0,0783	0,0643	0,1738	0,0579	0,0611	0,0927	0,3151	0,1050	0,1050	0,0989
6ar1055	2,7649	0,0903	0,2896	0,0965	0,0934	0,0803	0,2198	0,0733	0,0768	0,1055	0,3600	0,1200	0,1200	0,1128
5ar1055	3,3059	0,1163	0,3678	0,1226	0,1195	0,1100	0,2999	0,1000	0,1050	0,1290	0,4449	0,1483	0,1483	0,1387
4ar1055	3,7111	0,1356	0,4267	0,1422	0,1389	0,1342	0,3648	0,1216	0,1279	0,1455	0,5013	0,1671	0,1671	0,1563
3ar1055	3,9546	0,1580	0,4888	0,1629	0,1605	0,1583	0,4292	0,1431	0,1507	0,1655	0,5744	0,1915	0,1915	0,1785
2ar1055	4,3989	0,1889	0,5864	0,1955	0,1922	0,1969	0,5351	0,1784	0,1876	0,1955	0,6806	0,2269	0,2269	0,2112
1ar1055	5,0309	0,2277	0,6976	0,2325	0,2301	0,2401	0,6559	0,2186	0,2294	0,2311	0,8089	0,2696	0,2696	0,2504

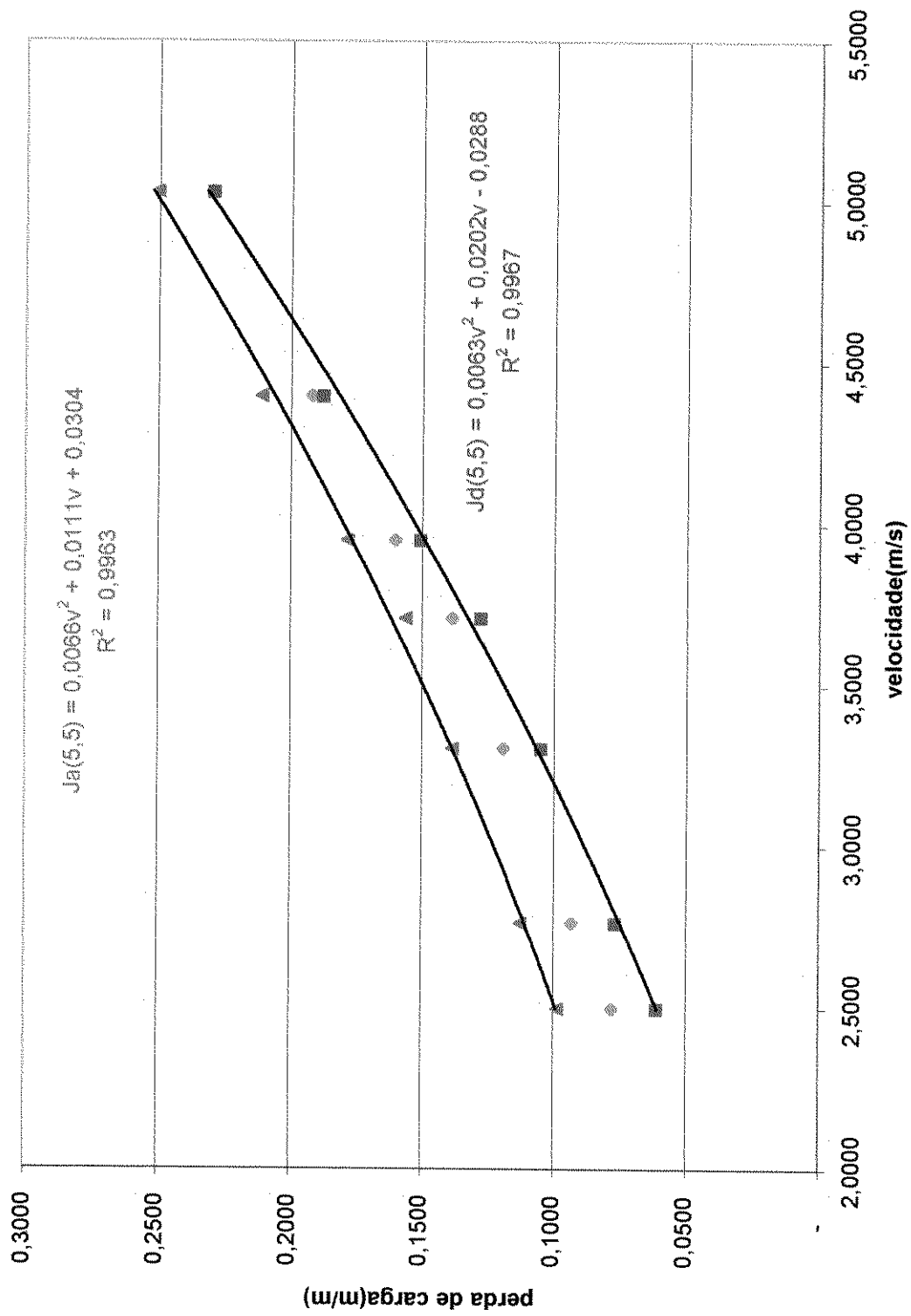


Fig. 8C- Perda de Carga Água+Areia(10%) X Velocidade-5,5 graus

Quadro 9C-Perda de Carga Água +Areia(10%) X velocidade-11 graus														
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal			descendente					ascendente				
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)	
7ar1011	2,6101	0,0797	02559	0,0853	0,0825	0,0505	0,1319	0,0440	0,0472	0,1161	0,3990	0,1330	0,1246	
6ar1011	2,9588	0,0977	03086	0,1029	0,1003	0,0662	0,1803	0,0601	0,0632	0,1305	0,4514	0,1505	0,1405	
5ar1011	3,4288	0,1235	03937	0,1312	0,1274	0,0985	0,2636	0,0879	0,0932	0,1558	0,5357	0,1786	0,1672	
4ar1011	3,6921	0,1426	04498	0,1499	0,1463	0,1223	0,3235	0,1078	0,1151	0,1731	0,5992	0,1997	0,1864	
3ar1011	4,1925	0,1691	05335	0,1778	0,1735	0,1520	0,4062	0,1354	0,1437	0,1961	0,6833	0,2278	0,2119	
2ar1011	4,6349	0,2062	06367	0,2122	0,2092	0,1960	0,5285	0,1762	0,1861	0,2275	0,7951	0,2650	0,2463	
1ar1011	5,1364	0,2502	07761	0,2587	0,2545	0,2443	0,6645	0,2215	0,2329	0,2711	0,9519	0,3173	0,2942	

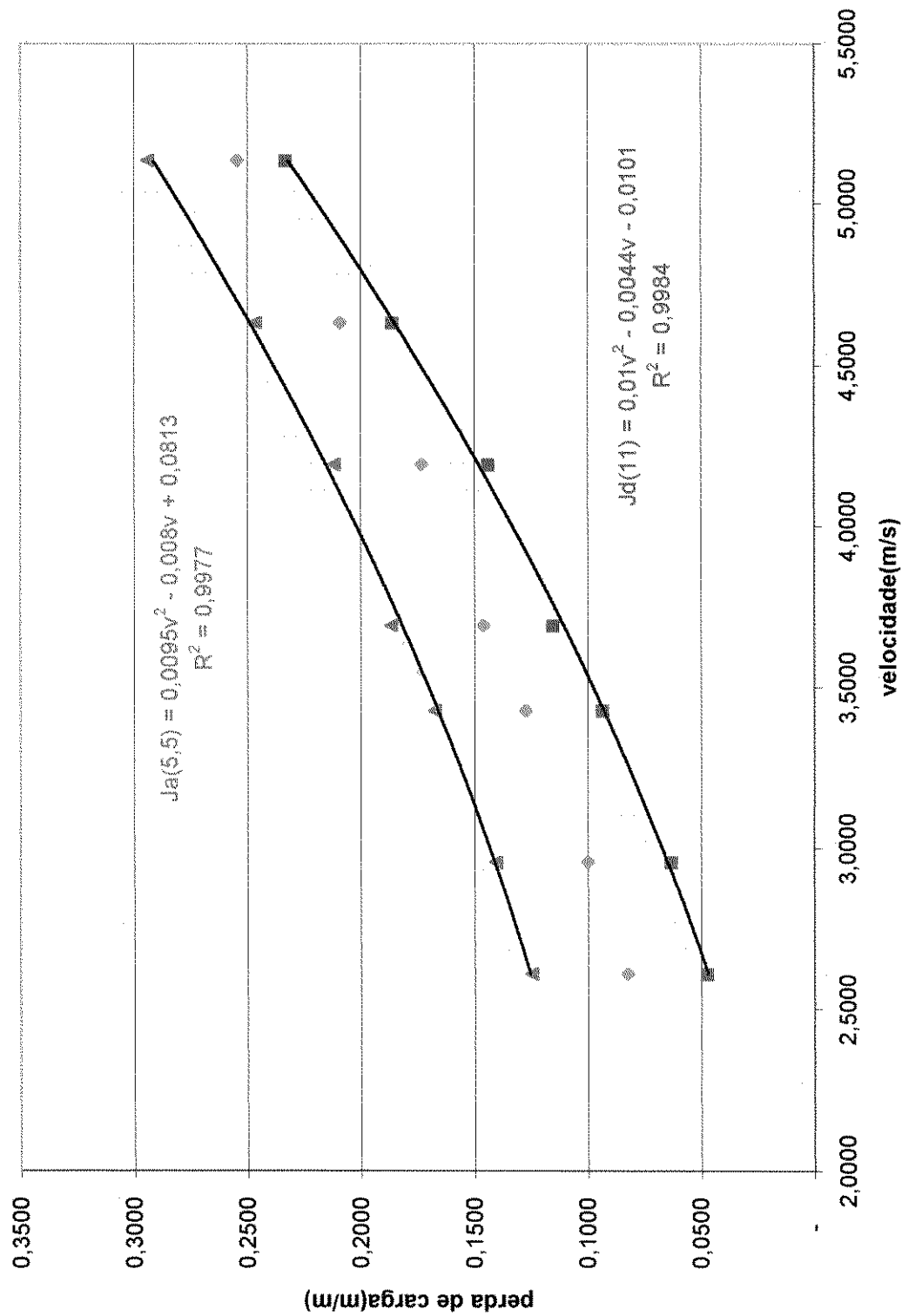


Fig. 9C- Perda de Carga Água+Areia(10%) X Velocidade-11 graus

Quadro 10C-Perda de Carga Água + Areia(10%) X velocidade-22,5 graus														
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal				descendente				ascendente				Ja (m água)
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)	
7ar1022	2,5369	0,0789	0,2510	0,0837	0,0813	0,0159	0,0289	0,0096	0,0128	0,1538	0,5168	0,1723	0,1630	
6ar1022	2,9994	0,0979	0,3112	0,1037	0,1008	0,0376	0,0885	0,0295	0,0336	0,1676	0,5688	0,1896	0,1786	
5ar1022	3,3465	0,1184	0,3760	0,1253	0,1219	0,0607	0,1500	0,0500	0,0554	0,1859	0,6334	0,2111	0,1985	
4ar1022	3,7870	0,1426	0,4494	0,1498	0,1462	0,0875	0,2208	0,0736	0,0806	0,2063	0,7058	0,2353	0,2208	
3ar1022	4,0757	0,1677	0,5227	0,1742	0,1710	0,1171	0,3016	0,1005	0,1088	0,2266	0,7772	0,2591	0,2428	
2ar1022	4,6049	0,2096	0,6442	0,2147	0,2122	0,1608	0,4236	0,1412	0,1510	0,2619	0,9072	0,3024	0,2822	
1ar1022	5,0776	0,2510	0,7667	0,2556	0,2533	0,2088	0,5586	0,1862	0,1975	0,2999	1,0468	0,3489	0,3244	

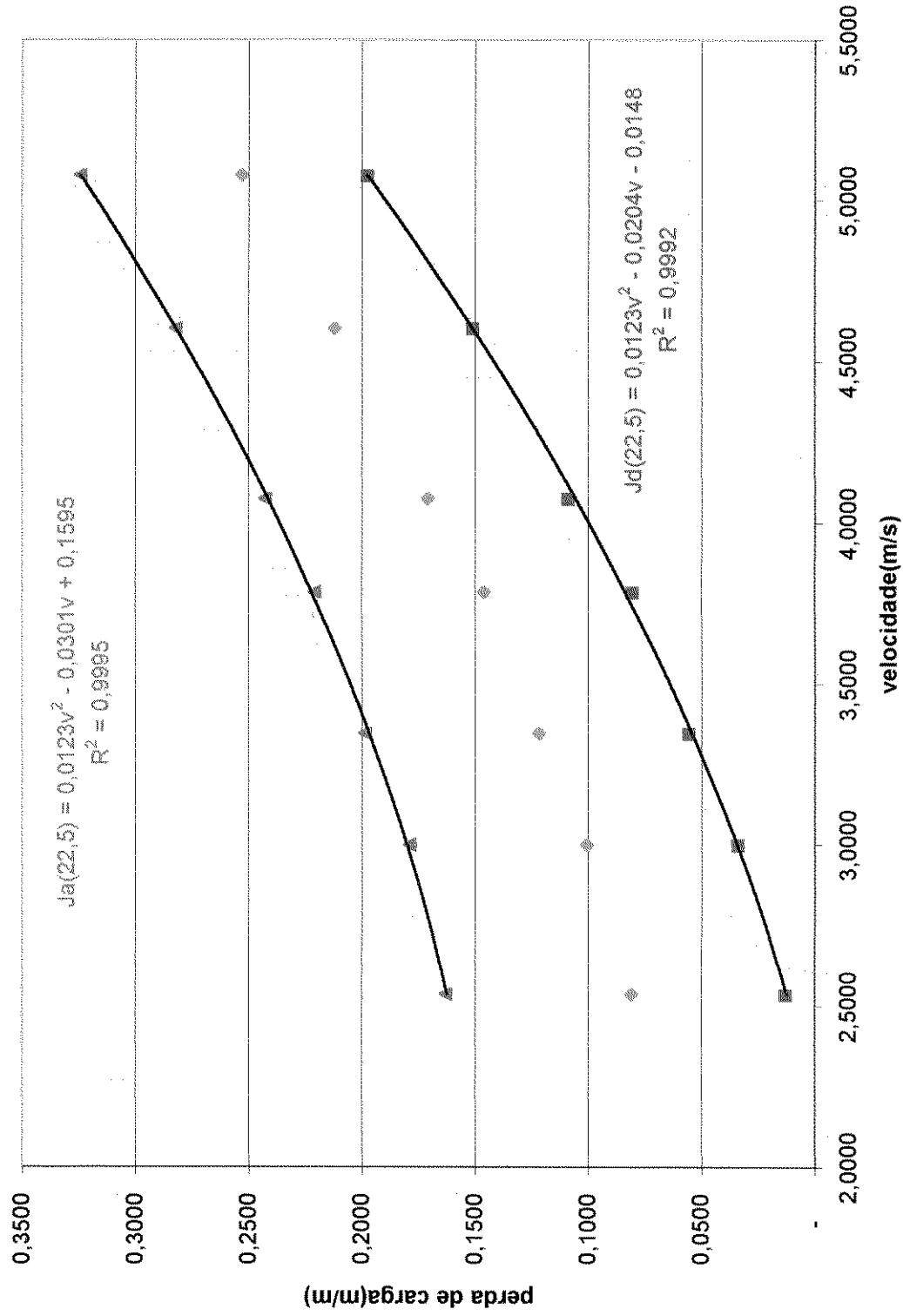


Fig. 10C- Perda de Carga Água+Areia(10%) X Velocidade-22,5 graus

Quadro 11C-Perda de Carga Água +Areia(10%) X velocidade-34 graus													
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal			descendente			ascendente					
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)
6ar1034	3,1940	0,1088	0,3445	0,1148	0,1118	0,0187	0,0329	0,0110	0,0148	0,2076	0,6991	0,2330	0,2203
7ar1034	3,2793	0,1145	0,3607	0,1202	0,1174	0,0246	0,0493	0,0164	0,0205	0,2128	0,7204	0,2401	0,2265
5ar1034	3,8996	0,1554	0,4863	0,1621	0,1588	0,0698	0,1722	0,0574	0,0636	0,2474	0,8417	0,2806	0,2640
4ar1034	4,3147	0,1955	0,6002	0,2001	0,1978	0,1137	0,2948	0,0983	0,1060	0,2796	0,9582	0,3194	0,2995
3ar1034	4,7354	0,2261	0,6893	0,2298	0,2279	0,1473	0,3930	0,1310	0,1392	0,3082	1,0601	0,3534	0,3308
2ar1034	5,1656	0,2648	0,8013	0,2671	0,2660	0,1884	0,5074	0,1691	0,1788	0,3451	1,1862	0,3954	0,3703
1ar1034	5,4839	0,3011	0,9153	0,3051	0,3031	0,2291	0,6292	0,2097	0,2194	0,3827	1,3226	0,4409	0,4118

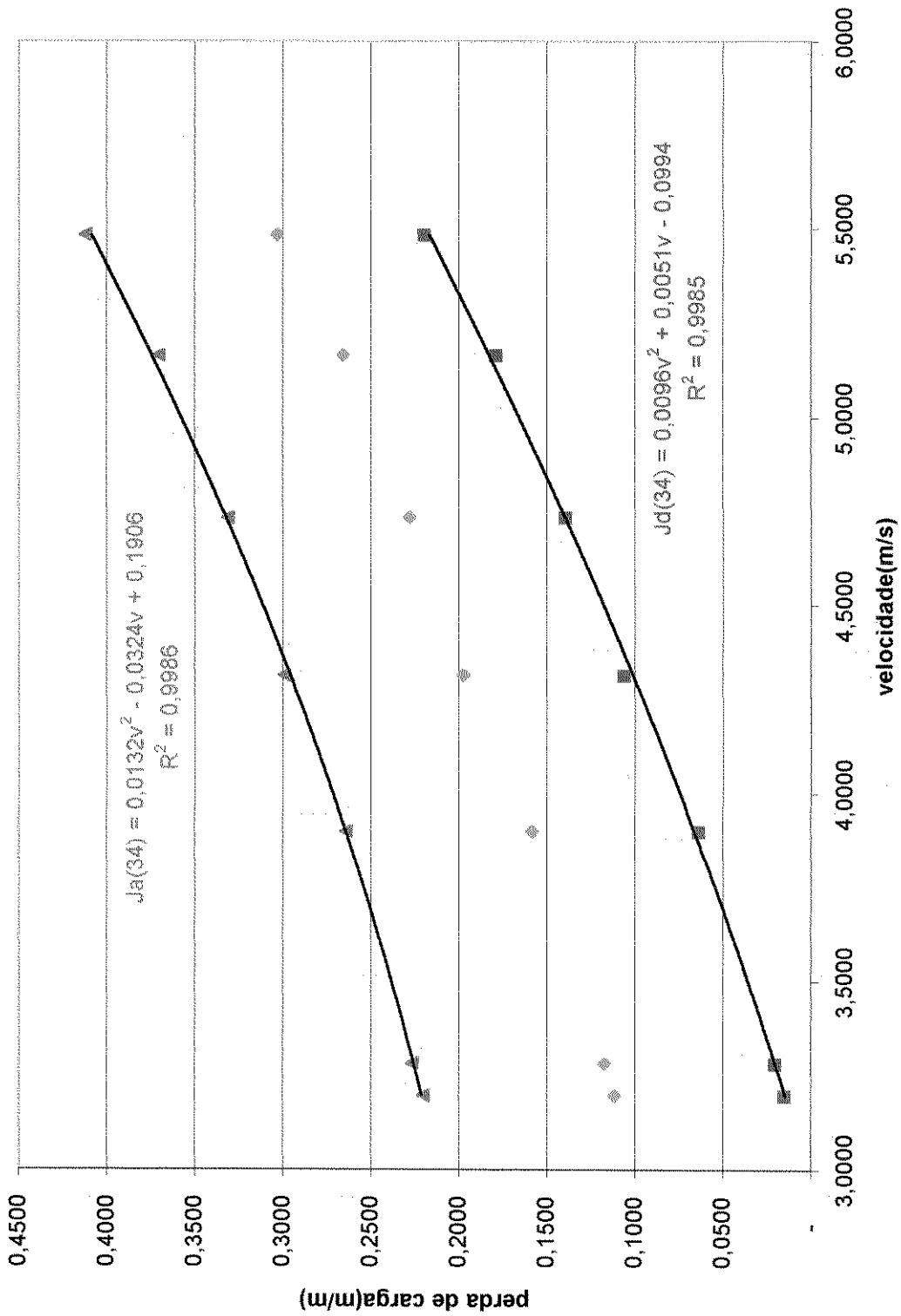


Fig. 11C- Perda de Carga Água +Areia(10%) X Velocidade-34 graus

Quadro 12C-Perda de Carga Água +Areia(10%) X velocidade-45 graus														
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal			descendente			ascendente						Ja (m água)
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)	
7ar1045	2,5035	0,0770	0,2378	0,0793	0,0781					0,2123	0,7091	0,2364	0,2243	
6ar1045	2,9261	0,0955	0,2970	0,0990	0,0973					0,2274	0,7647	0,2549	0,2412	
5ar1045	3,2702	0,1157	0,3597	0,1199	0,1178	-	-	-	-	0,2428	0,8194	0,2731	0,2580	
4ar1045	3,7888	0,1497	0,4642	0,1547	0,1522	0,0363	0,0643	0,0214	0,0289	0,2704	0,9182	0,3061	0,2882	
3ar1045	4,1561	0,1727	0,5337	0,1779	0,1753	0,0659	0,1442	0,0481	0,0570	0,2905	0,9973	0,3324	0,3115	
2ar1045	4,5491	0,2060	0,6270	0,2090	0,2075	0,0998	0,2466	0,0822	0,0910	0,3189	1,0996	0,3665	0,3427	
1ar1045	4,8215	0,2355	0,7133	0,2378	0,2366	0,1381	0,3354	0,1118	0,1250	0,3459	1,2096	0,4032	0,3746	

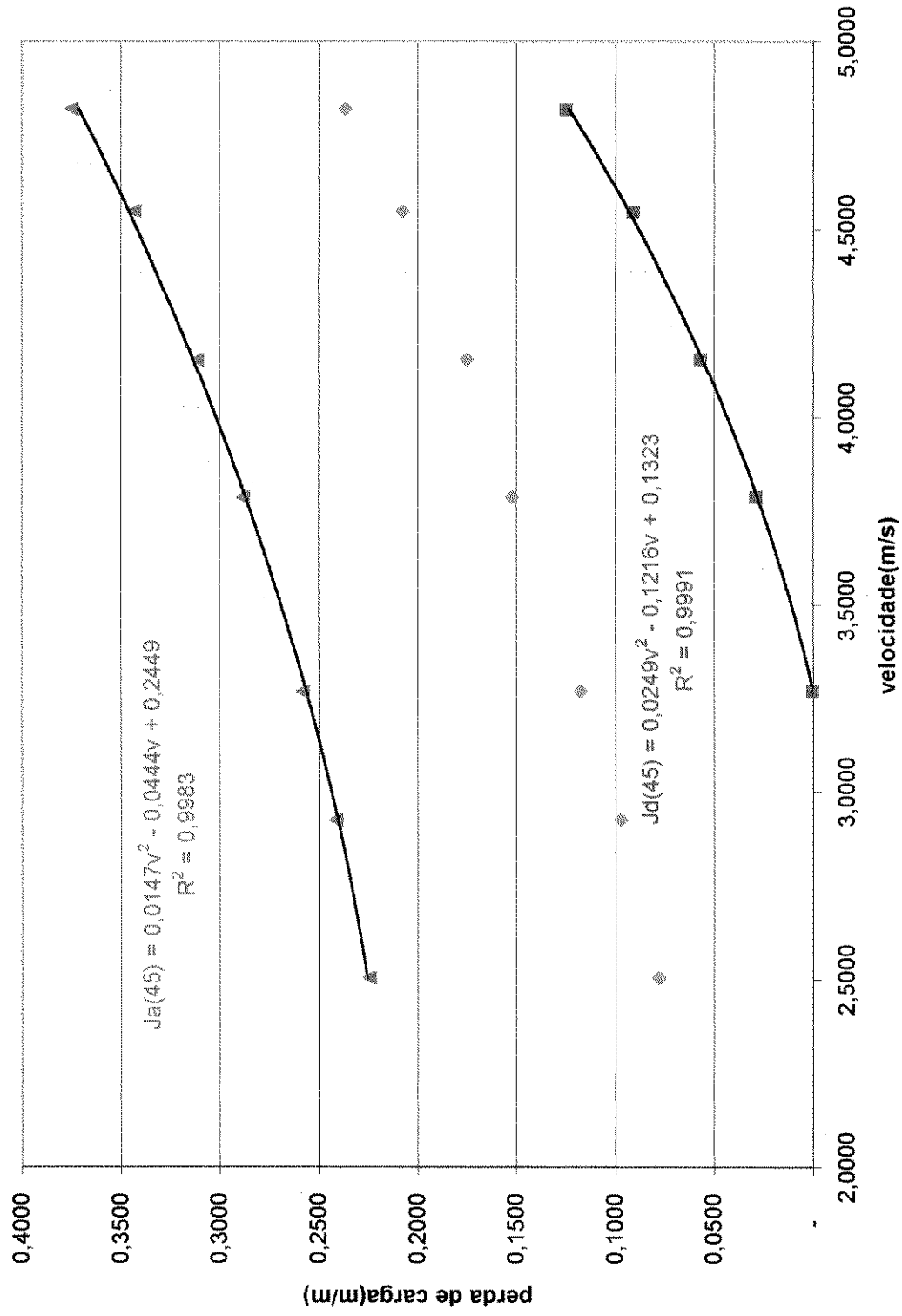


Fig. 12C- Perda de Carga Água+Areia(10%) X Velocidade-45 graus

Quadro 13C-Perda de Carga Água +Areia(15%) X velocidade-5,5 graus														
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal				descendente				ascendente				Ja (m água)
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)	
7ar1555	2,2584	0,0756	0,2241	0,0747	0,0752	0,0559	0,1465	0,0488	0,0524	0,0979	0,3363	0,1121	0,1050	
6ar1555	2,6852	0,0959	0,2902	0,0967	0,0963	0,0787	0,2124	0,0708	0,0748	0,1142	0,4018	0,1339	0,1241	
5ar1555	2,9842	0,1123	0,3406	0,1135	0,1129	0,0969	0,2623	0,0874	0,0922	0,1320	0,4501	0,1500	0,1410	
4ar1555	3,3822	0,1322	0,4013	0,1338	0,1330	0,1198	0,3276	0,1092	0,1145	0,1501	0,5155	0,1718	0,1610	
3ar1555	3,9395	0,1671	0,5066	0,1689	0,1680	0,1588	0,4363	0,1454	0,1521	0,1802	0,6354	0,2118	0,1960	
2ar1555	4,3970	0,2069	0,6242	0,2081	0,2075	0,2037	0,5632	0,1877	0,1957	0,2145	0,7601	0,2534	0,2339	
1ar1555	4,8625	0,2467	0,7478	0,2493	0,2480	0,2437	0,6985	0,2328	0,2383	0,2478	0,9041	0,3014	0,2746	

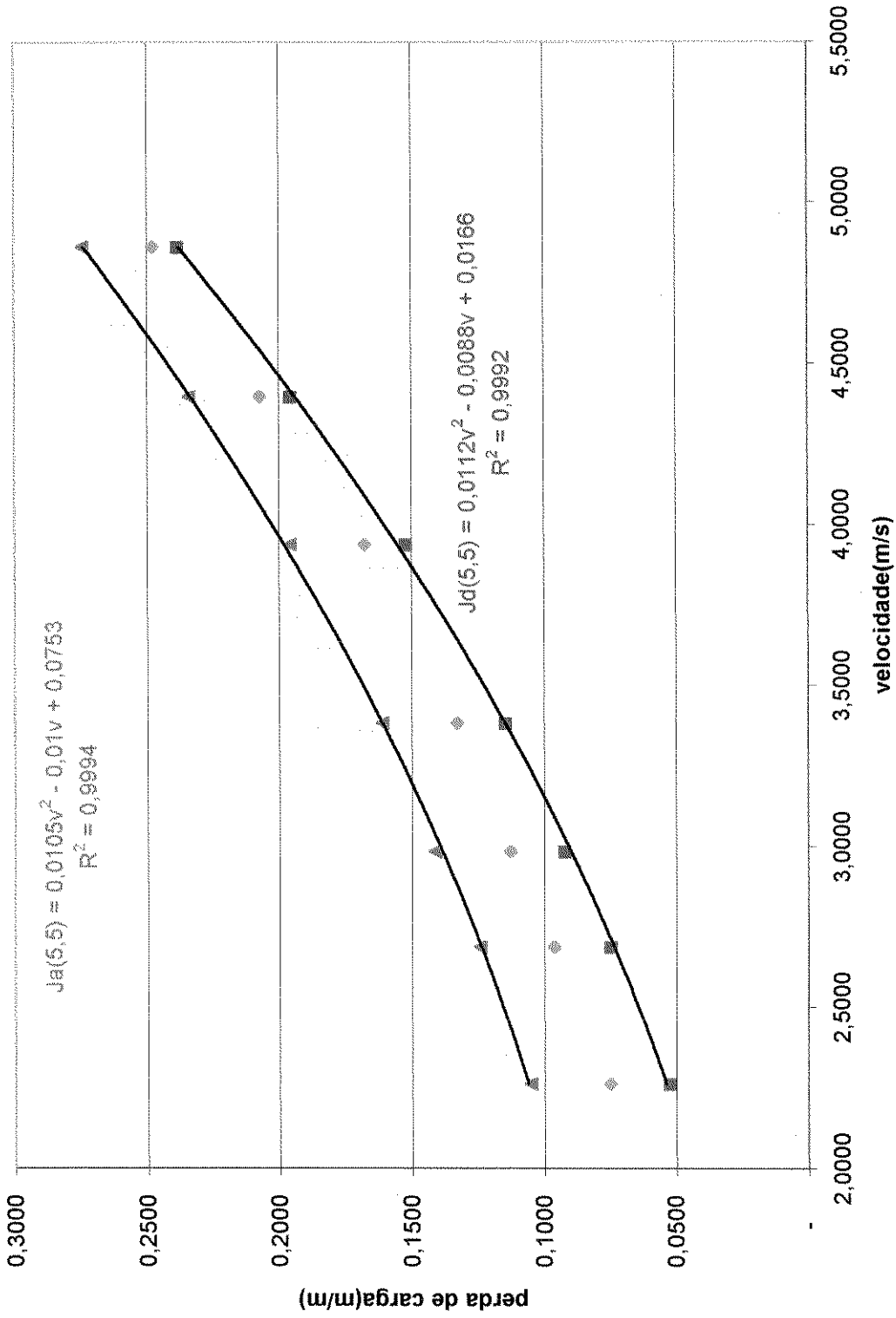


Fig. 13C- Perda de Carga Água+Areia(15%) X Velocidade-5,5 graus

Quadro 14C-Perda de Carga Água +Areia(15%) X velocidade-11 graus														
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal				descendente				ascendente				
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)	
7ar1511	2,3423	0,0793	0,2479	0,0826	0,0810	0,0288	0,0685	0,0228	0,0258	0,1372	0,4674	0,1558	0,1465	
6ar1511	2,8745	0,1006	0,3119	0,1040	0,1023	0,0508	0,1345	0,0448	0,0478	0,1518	0,5247	0,1749	0,1634	
5ar1511	3,2824	0,1194	0,3688	0,1229	0,1212	0,0723	0,1922	0,0641	0,0682	0,1695	0,5812	0,1937	0,1816	
4ar1511	3,7247	0,1446	0,4479	0,1493	0,1470	0,1025	0,2702	0,0901	0,0963	0,1911	0,6605	0,2202	0,2056	
3ar1511	4,1193	0,1669	0,5199	0,1733	0,1701	0,1293	0,3479	0,1160	0,1226	0,2132	0,7362	0,2454	0,2293	
2ar1511	4,5385	0,2017	0,6192	0,2064	0,2041	0,1723	0,4588	0,1529	0,1626	0,2495	0,8524	0,2841	0,2668	
1ar1511	4,9680	0,2392	0,7341	0,2447	0,2420	0,2163	0,5911	0,1970	0,2067	0,2863	0,9901	0,3300	0,3082	

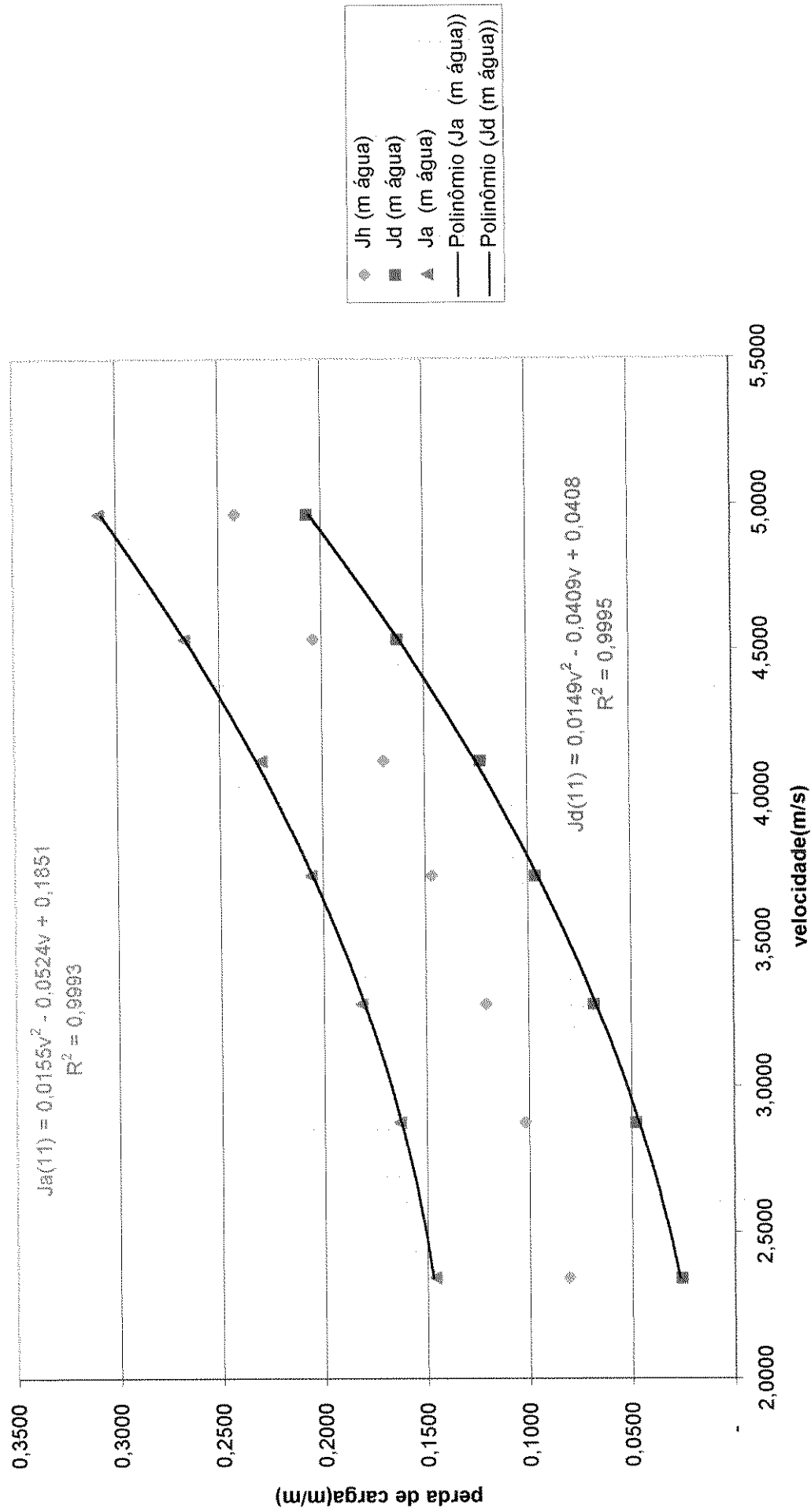


Fig. 14C- Perda de Carga Água+Areia(15%) x Velocidade-11 graus

Quadro 15C-Perda de Carga Água +Areia(15%) X velocidade-22,5 graus													
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal			descendente			ascendente					
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)
7ar1522	2,3134	0,0769	0,2320	0,0773	0,0771	-	-	-	-	0,1841	0,6210	0,2070	0,1956
6ar1522	2,6348	0,0905	0,2765	0,0922	0,0913	-	-	-	-	0,1935	0,6535	0,2178	0,2057
5ar1522	3,1921	0,1180	0,3625	0,1208	0,1194	0,0276	0,0502	0,0167	0,0222	0,2149	0,7328	0,2443	0,2296
4ar1522	3,3988	0,1332	0,4098	0,1366	0,1349	0,0454	0,0956	0,0319	0,0386	0,2286	0,7794	0,2598	0,2442
3ar1522	3,9269	0,1659	0,5072	0,1691	0,1675	0,0842	0,1976	0,0659	0,0750	0,2566	0,8766	0,2922	0,2744
2ar1522	4,6019	0,2190	0,6680	0,2227	0,2208	0,1471	0,3687	0,1229	0,1350	0,3013	1,0502	0,3501	0,3257
1ar1522	4,9748	0,2449	0,7450	0,2483	0,2466	0,1786	0,4554	0,1518	0,1652	0,3251	1,1367	0,3789	0,3520

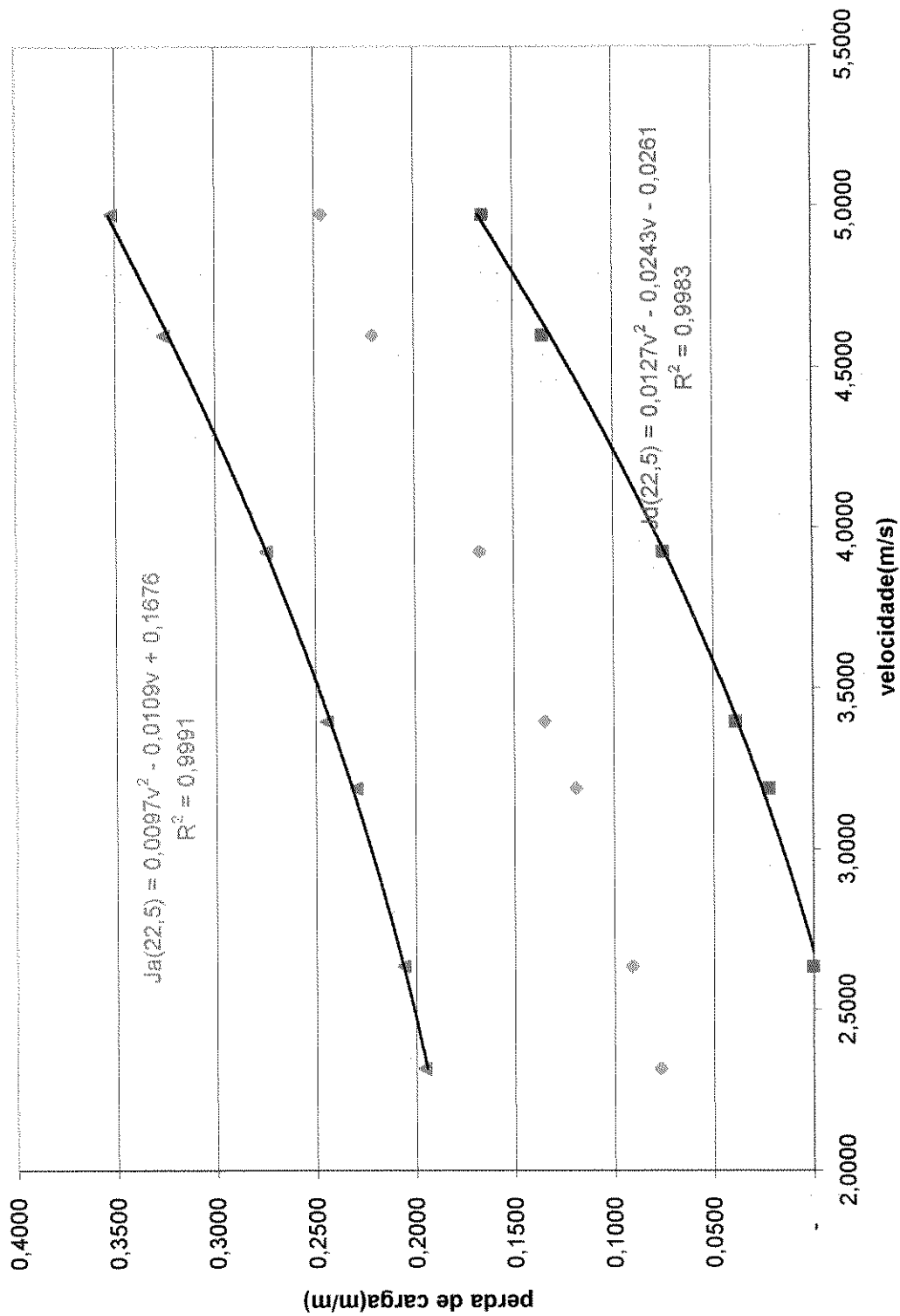


Fig. 15C- Perda de Carga Água+Areia(15%) X Velocidade-22,5 graus

Quadro 16C-Perda de Carga Água +Areia(15%) X velocidade-34 graus														
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal			descendente			ascendente						
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)	
7ar1534	2,3741	0,0799	0,2466	0,0822	0,0811					0,2396	0,8038	0,2679	0,2538	
6ar1534	2,9341	0,1031	0,3212	0,1071	0,1051					0,2543	0,8575	0,2858	0,2701	
5ar1534	3,4732	0,1326	0,4091	0,1364	0,1345	-	-	-	-	0,2747	0,9331	0,3110	0,2929	
4ar1534	3,9478	0,1613	0,4961	0,1654	0,1633	0,0255	0,0495	0,0165	0,0210	0,2961	1,0190	0,3397	0,3179	
3ar1534	4,3727	0,1860	0,5710	0,1903	0,1882	0,0529	0,1203	0,0401	0,0465	0,3199	1,0950	0,3650	0,3425	
2ar1534	4,6083	0,2059	0,6277	0,2092	0,2076	0,0745	0,1838	0,0613	0,0679	0,3364	1,1508	0,3836	0,3600	
1ar1534	4,9456	0,2369	0,7113	0,2371	0,2370	0,1088	0,2848	0,0949	0,1019	0,3544	1,2451	0,4150	0,3847	

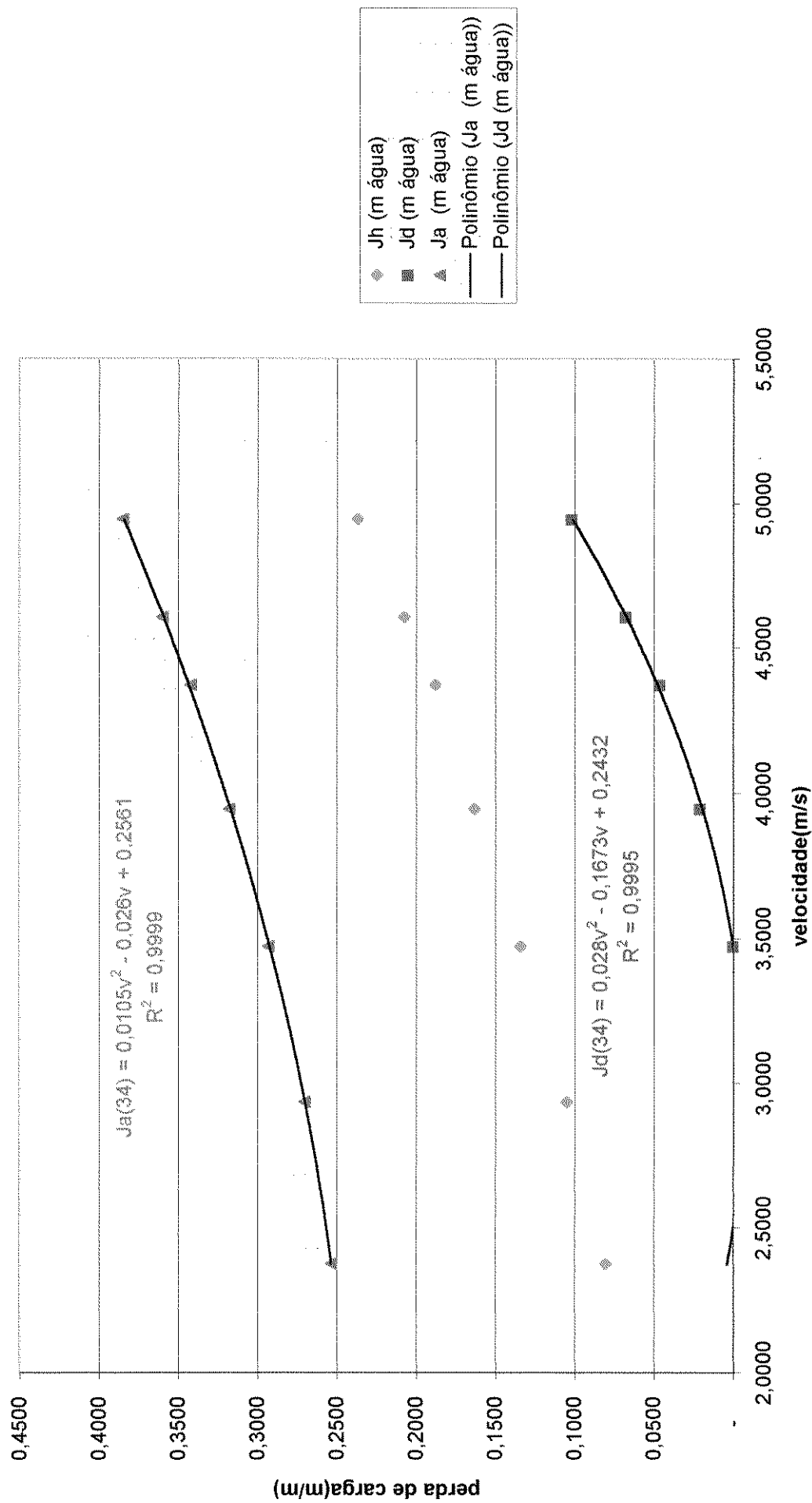


Fig. 16C- Perda de Carga Água+Areia(15%) X Velocidade-34 graus

Quadro 17C-Perda de Carga Água + Areia(15%) X velocidade-45 graus

Quadro 17C-Perda de Carga Água +Areia(15%) X velocidade-45 graus														
ensaio	velocidade (m/s)	horizontal				descendente				ascendente				
		1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jh (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Jd (m água)	1m (m água)	3m (m água)	3m/3 (m água)	Ja (m água)	
7ar1545	2,4030	0,0794	0,2440	0,0813	0,0804					0,2841	0,9375	0,3125	0,2983	
6ar1545	2,5908	0,0895	0,2794	0,0931	0,0913					0,2886	0,9626	0,3209	0,3047	
5ar1545	3,1219	0,1144	0,3541	0,1180	0,1162					0,3066	1,0291	0,3430	0,3248	
4ar1545	3,6269	0,1387	0,4272	0,1424	0,1406					0,3236	1,0956	0,3652	0,3444	
3ar1545	4,0335	0,1731	0,5264	0,1755	0,1743	-	-	-	-	0,3516	1,1945	0,3982	0,3749	
2ar1545	4,6375	0,2122	0,6446	0,2149	0,2135	0,0402	0,0807	0,0269	0,0336	0,3885	1,3274	0,4425	0,4155	
1ar1545	4,9573	0,2449	0,7464	0,2488	0,2469	0,0749	0,1865	0,0622	0,0685	0,4143	1,4323	0,4774	0,4459	

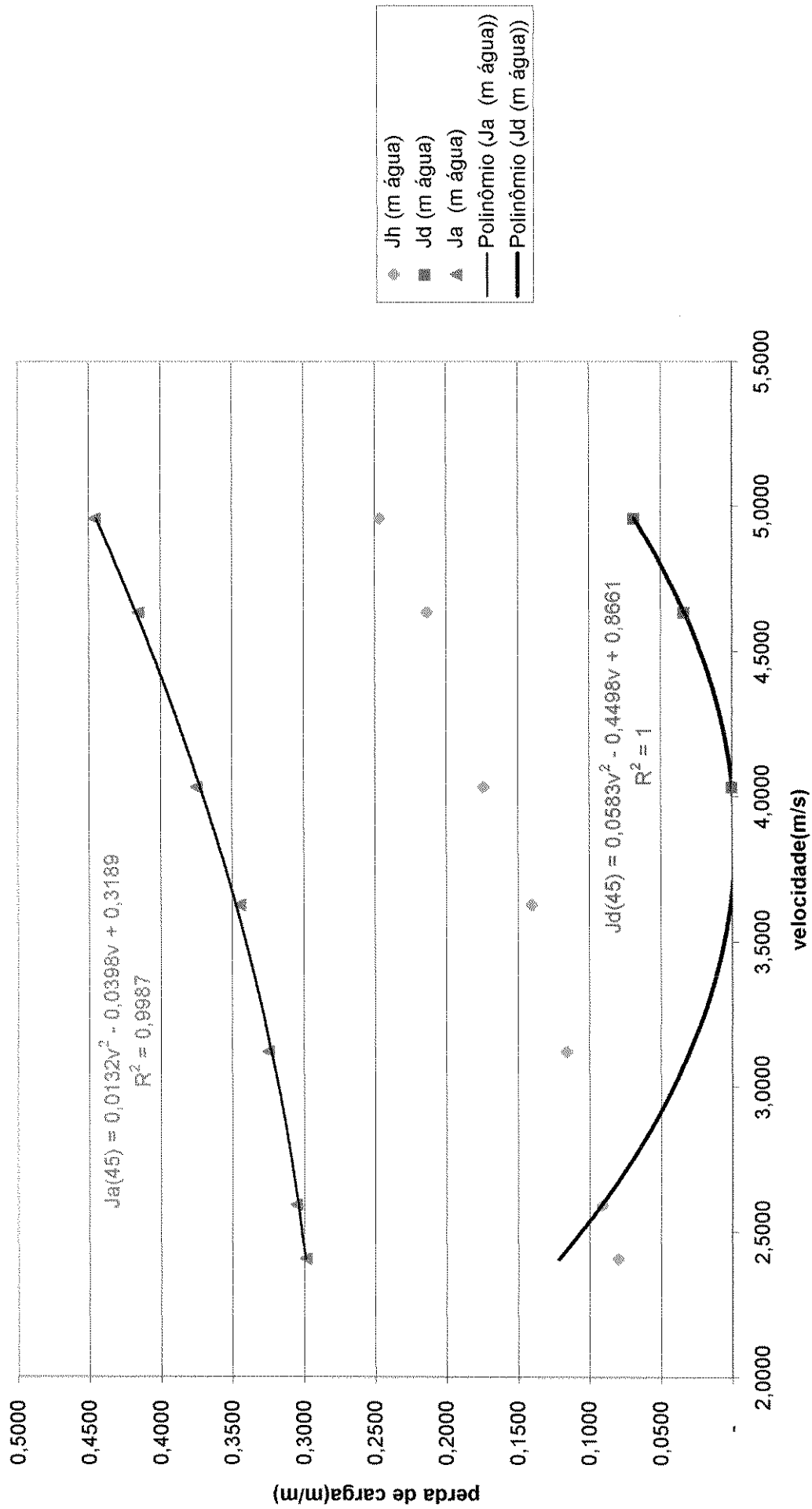


Fig. 17C- Perda de Carga Água+Areia(15%) X Velocidade-45 graus

Quadro 18C-Coef das Curvas de Ajuste (Ja(5%) x Vel) x Ângulos (escoamento ascendente)			
ângulos (rad)	a	b	c
0,0960	0,0125	-0,0269	0,0727
0,1920	0,0112	-0,0174	0,0693
0,3927	0,0085	-0,0014	0,0675
0,5934	0,0101	-0,0162	0,1092
0,7854	0,0089	-0,0069	0,1143

Quadro 19C-Coef das Curvas de Ajuste (Ja(10%) x Vel) x Ângulos (escoamento ascendente)			
ângulos (rad)	a	b	c
0,0960	0,0066	0,0111	0,0304
0,1920	0,0095	-0,0080	0,0813
0,3927	0,0123	-0,0301	0,1595
0,5934	0,0132	-0,0324	0,1906
0,7854	0,0147	-0,0444	0,2449

Quadro 20C-Coef das Curvas de Ajuste(Ja (15%) x Vel) x Ângulos (escoamento ascendente)			
ângulos (rad)	a	b	c
0,0960	0,0105	-0,0100	0,0753
0,1920	0,0155	-0,0524	0,1851
0,3927	0,0097	-0,0109	0,1676
0,5934	0,0105	-0,0260	0,2561
0,7854	0,0132	-0,0398	0,3189

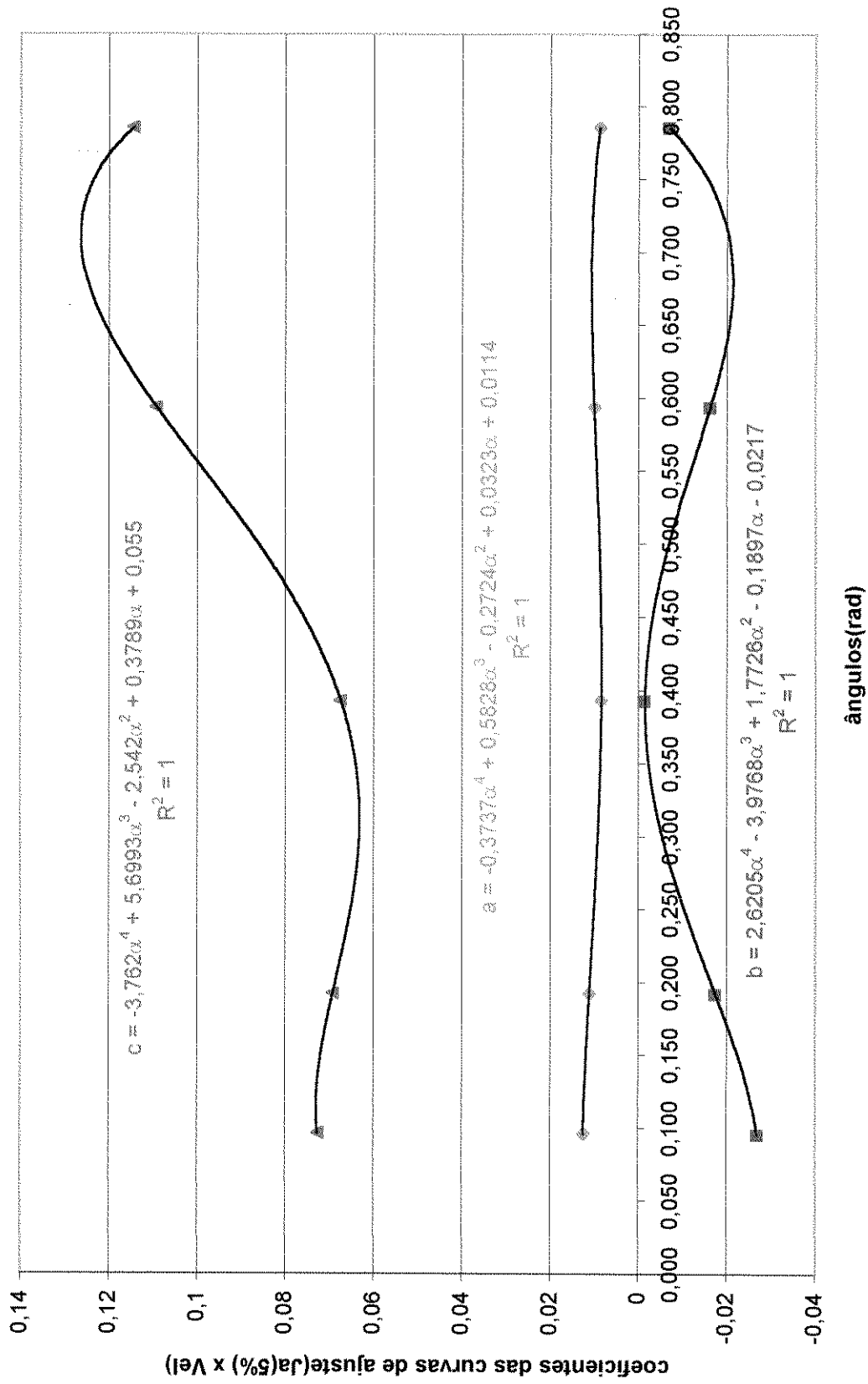


Fig. 18C- Coeficientes das Curvas de Ajuste(Ja(5%) x Vel) x Ângulos-escoamento ascendente

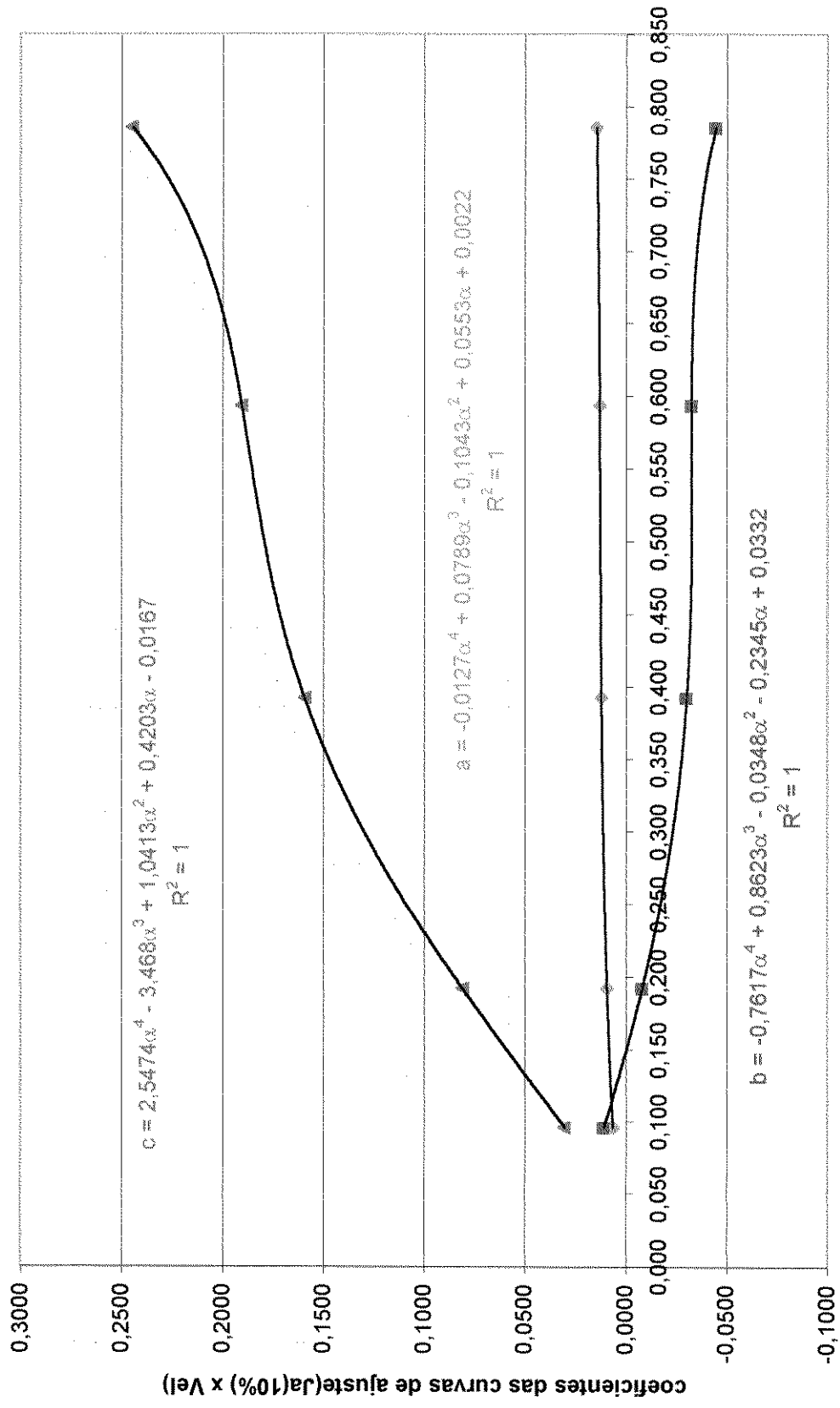


Fig. 19C- Coeficientes das Curvas de Ajuste(Ja(10%) x Vel) x Ângulos-escoamento ascendente

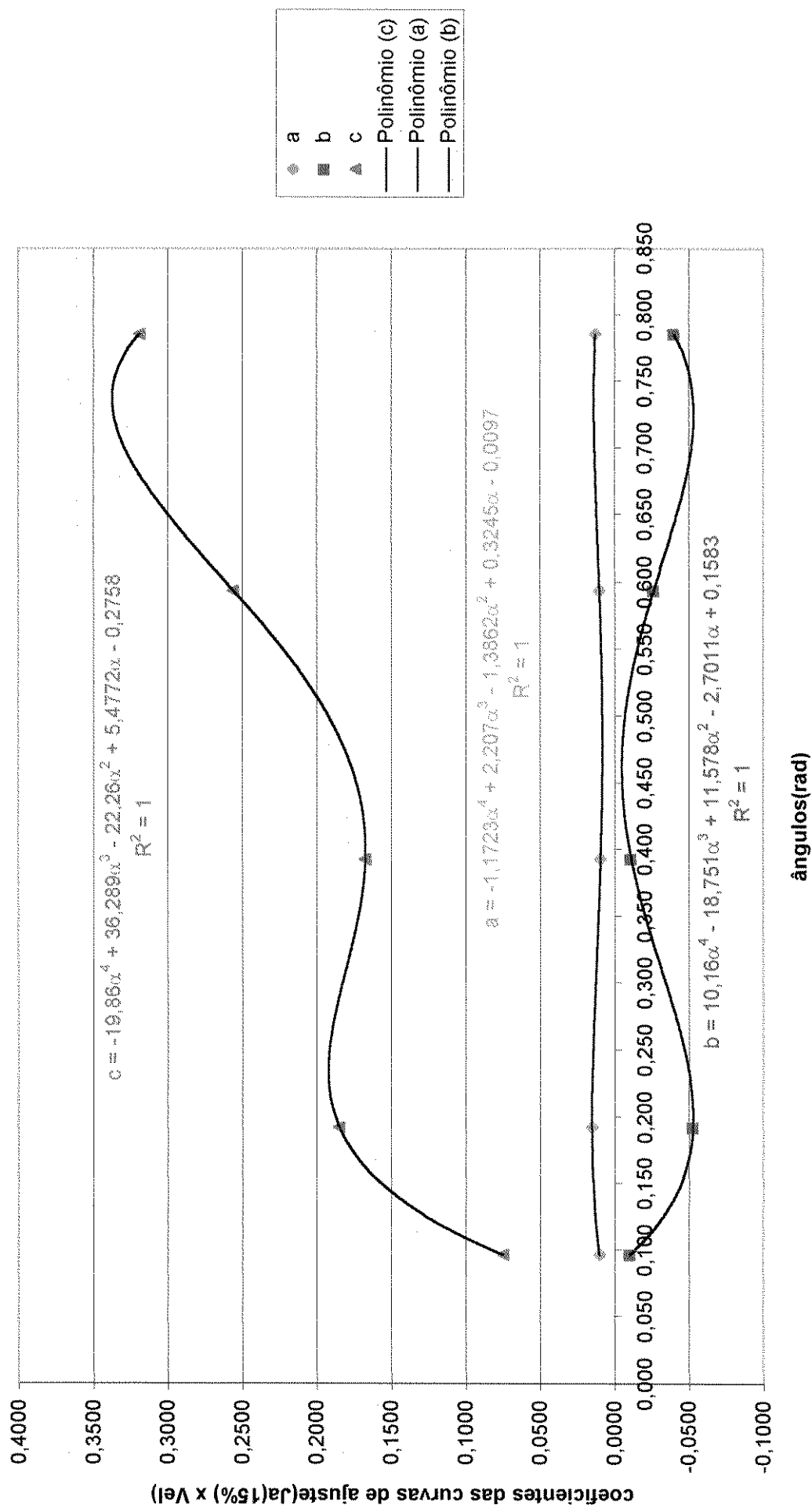


Fig. 20C- Coeficientes das Curvas de Ajuste(Ja(15%) x Vel) x Ângulos-escoamento ascendente

Quadro 21C-Coef das Curvas de Ajuste (Jd(5%) x Vel) x Ângulos (escoamento descendente)			
ângulos (rad)	a	b	c
0,0960	0,0114	-0,0122	0,0230
0,1920	0,0104	-0,0067	0,0078
0,3927	0,0076	0,0128	-0,0457
0,5934	0,0076	0,0067	-0,0495
0,7854	0,0063	0,0198	-0,0902

Quadro 22C-Coef das Curvas de Ajuste (Jd(10%) x Vel) x Ângulos (escoamento descendente)			
ângulos (rad)	a	b	c
0,0960	0,0063	0,0202	-0,0288
0,1920	0,0100	-0,0044	-0,0101
0,3927	0,0123	-0,0204	-0,0148
0,5934	0,0096	0,0051	-0,0994
0,7854	0,0249	-0,1216	0,1323

Quadro 23C-Coef das Curvas de Ajuste (Jd(15%) x Vel) x Ângulos (escoamento descendente)			
ângulos (rad)	a	b	c
0,0960	0,0112	-0,0088	0,0166
0,1920	0,0149	-0,0409	0,0408
0,3927	0,0127	-0,0243	-0,0261
0,5934	0,0280	-0,1673	0,2432
0,7854	0,0583	-0,4498	0,8661

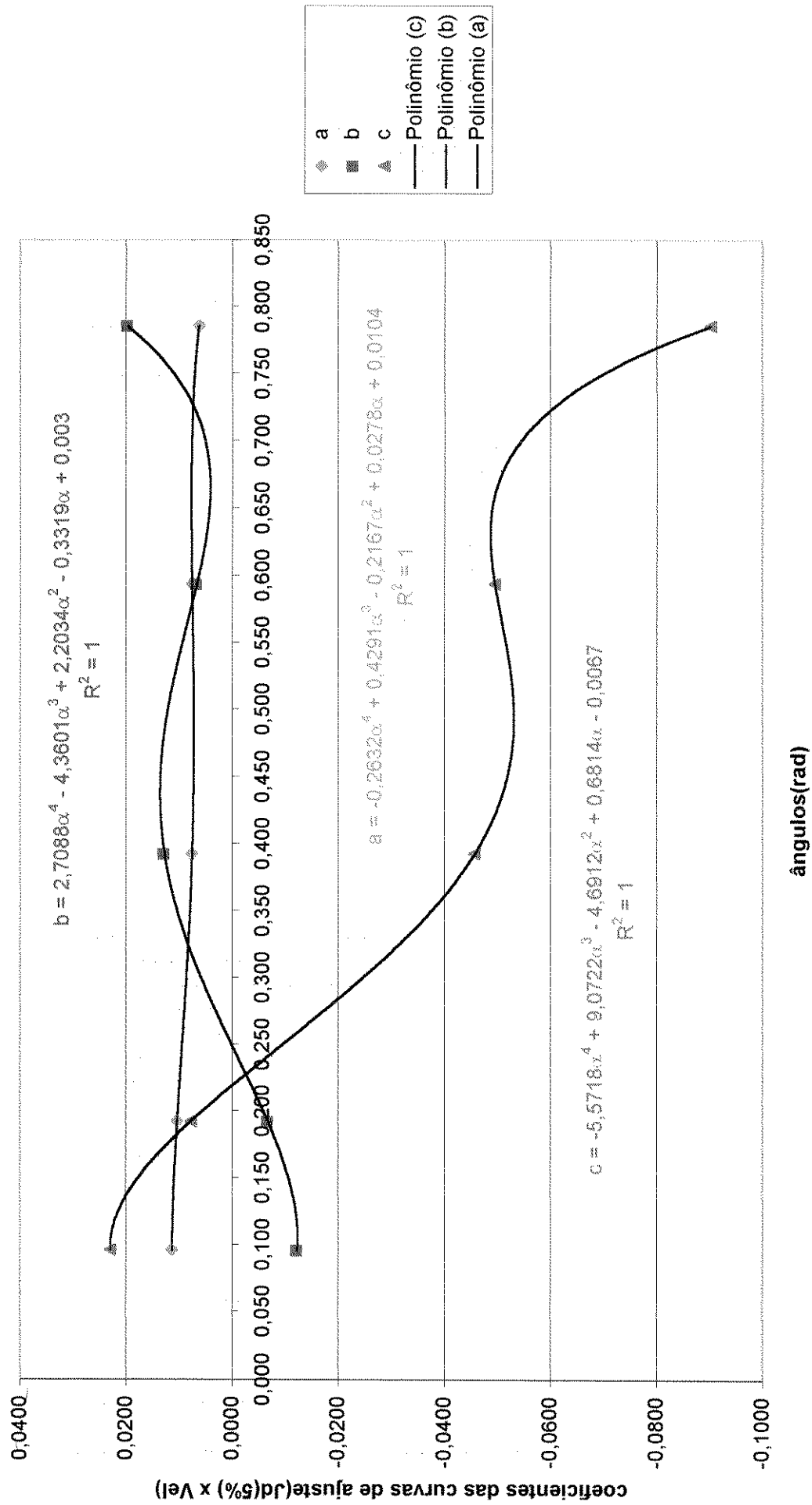


Fig. 21C- Coeficientes das Curvas da Ajuste(Jd(5%) x Vel) x Ângulos-escoamento descendente

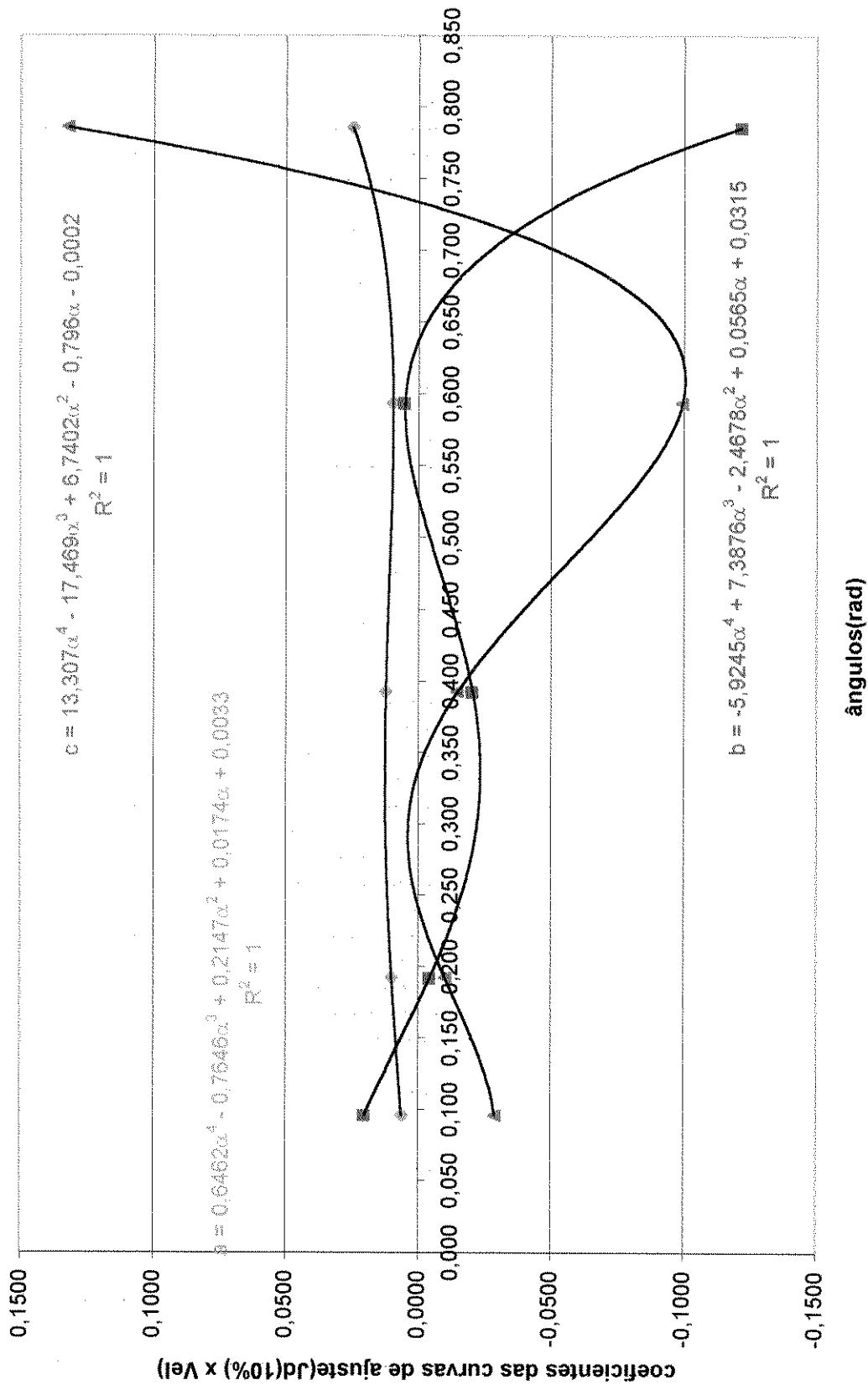


Fig. 22C- Coeficientes das Curvas de Ajuste(Jd(10%) x Vel) x Ângulos-escoamento descendente

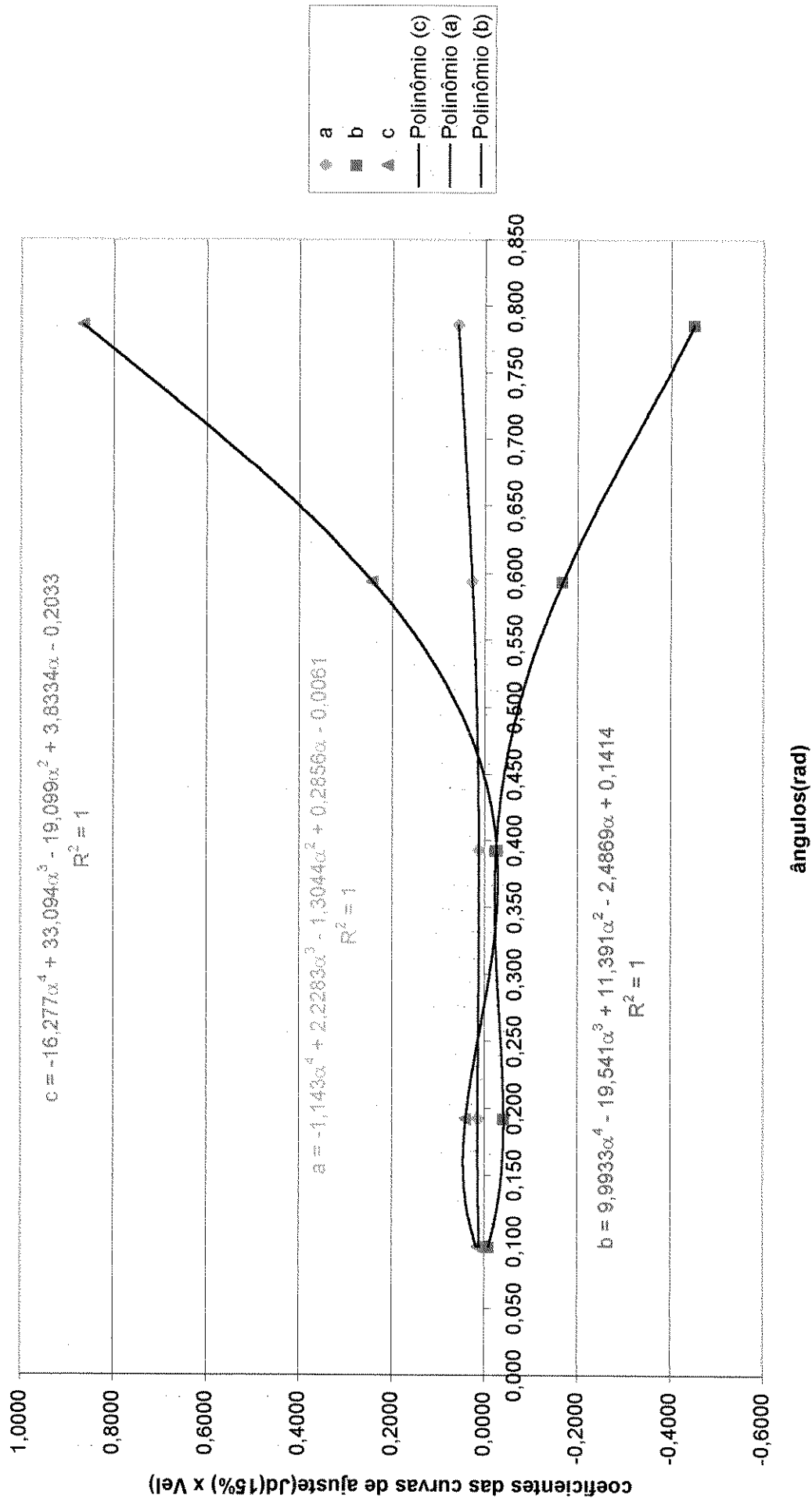


Fig. 23C- Coeficientes das Curvas de Ajuste(Jd(15%) x Vel) x Ângulos-escoamento descendente

Quadro 24C-Coef das Curvas de Ajuste (coef (a) x âng) x concentrações-escoamento ascendente					
concentrações	a1	a2	a3	a4	a5
0,05	-0,3737	0,5828	-0,2724	0,0323	0,0114
0,10	-0,0127	0,0789	-0,1043	0,0553	0,0022
0,15	-1,1723	2,2070	-1,3862	0,3245	-0,0097

Quadro 25C-Coef das Curvas de Ajuste (coef (b) x âng) x Concentrações-escoamento ascendente					
concentrações	b1	b2	b3	b4	b5
0,05	2,6205	-3,9768	1,7726	-0,1897	-0,0217
0,10	-0,7617	0,8623	-0,0348	-0,2345	0,0332
0,15	10,1600	-18,7510	11,5780	-2,7011	0,1583

Quadro 26C-Coef das Curvas de Ajuste (coef (c) x âng) x Concentrações-escoamento ascendente					
concentrações	c1	c2	c3	c4	c5
0,05	-3,7620	5,6993	-2,5420	0,3789	0,0550
0,10	2,5474	-3,4680	1,0413	0,4203	-0,0167
0,15	-19,8600	36,2890	-22,2600	5,4772	-0,2758

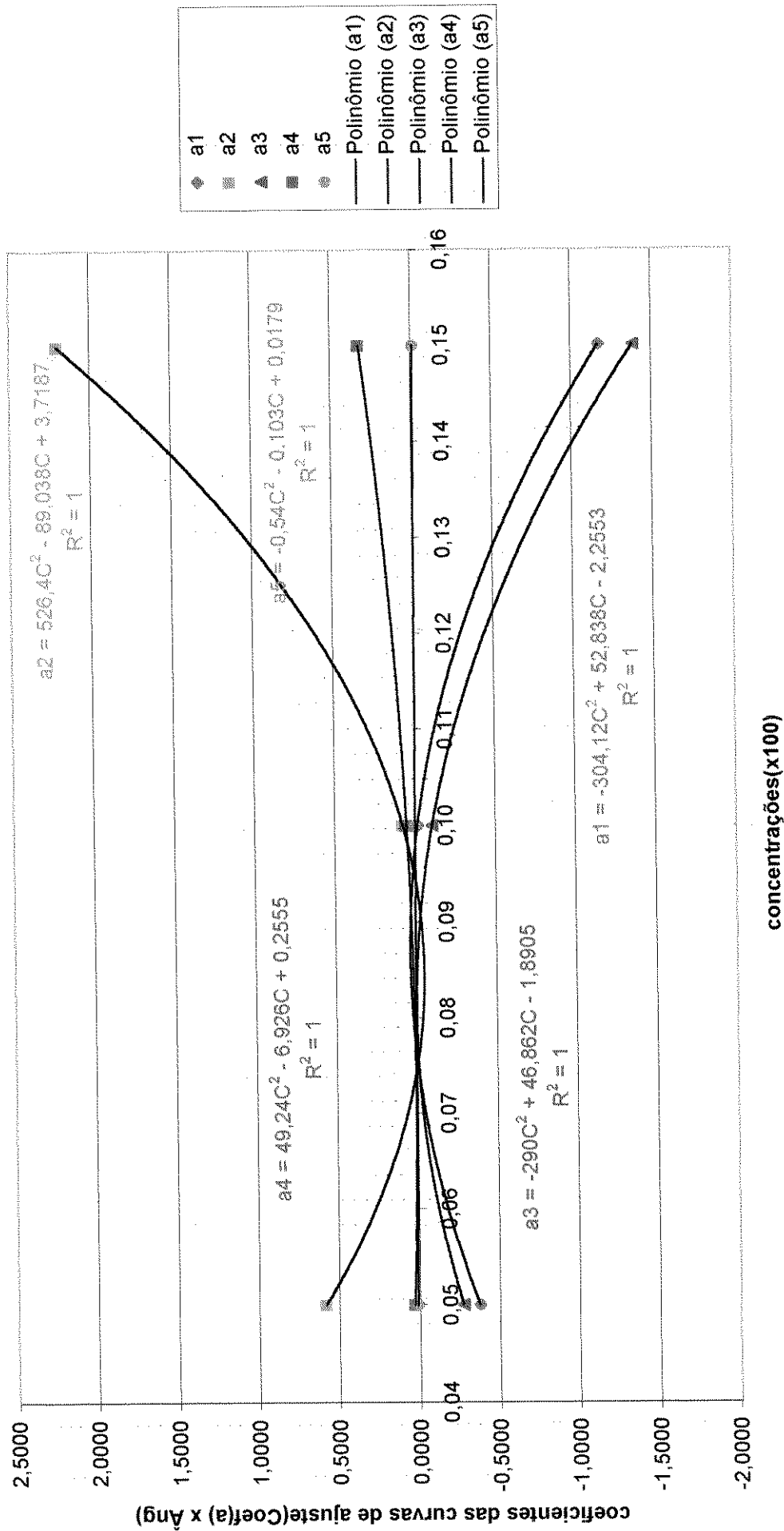


Fig. 24C- Coeficientes das Curvas de Ajuste(Coef(a) x Âng) x Concentrações-escoamento ascendente

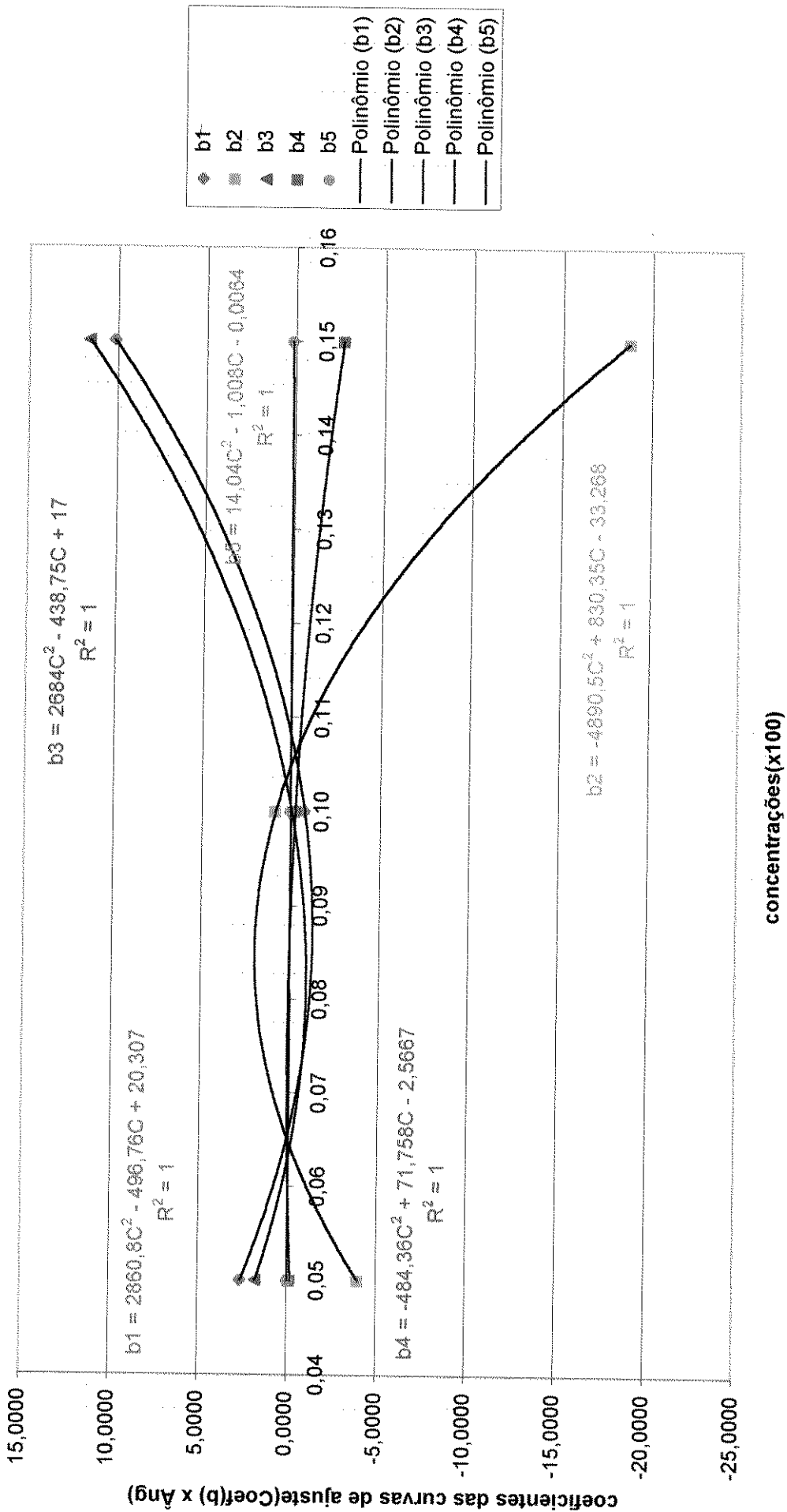


Fig. 25C- Coeficientes das Curvas de Ajuste(Coef(b) x Âng) x Concentrações-escoamento ascendente

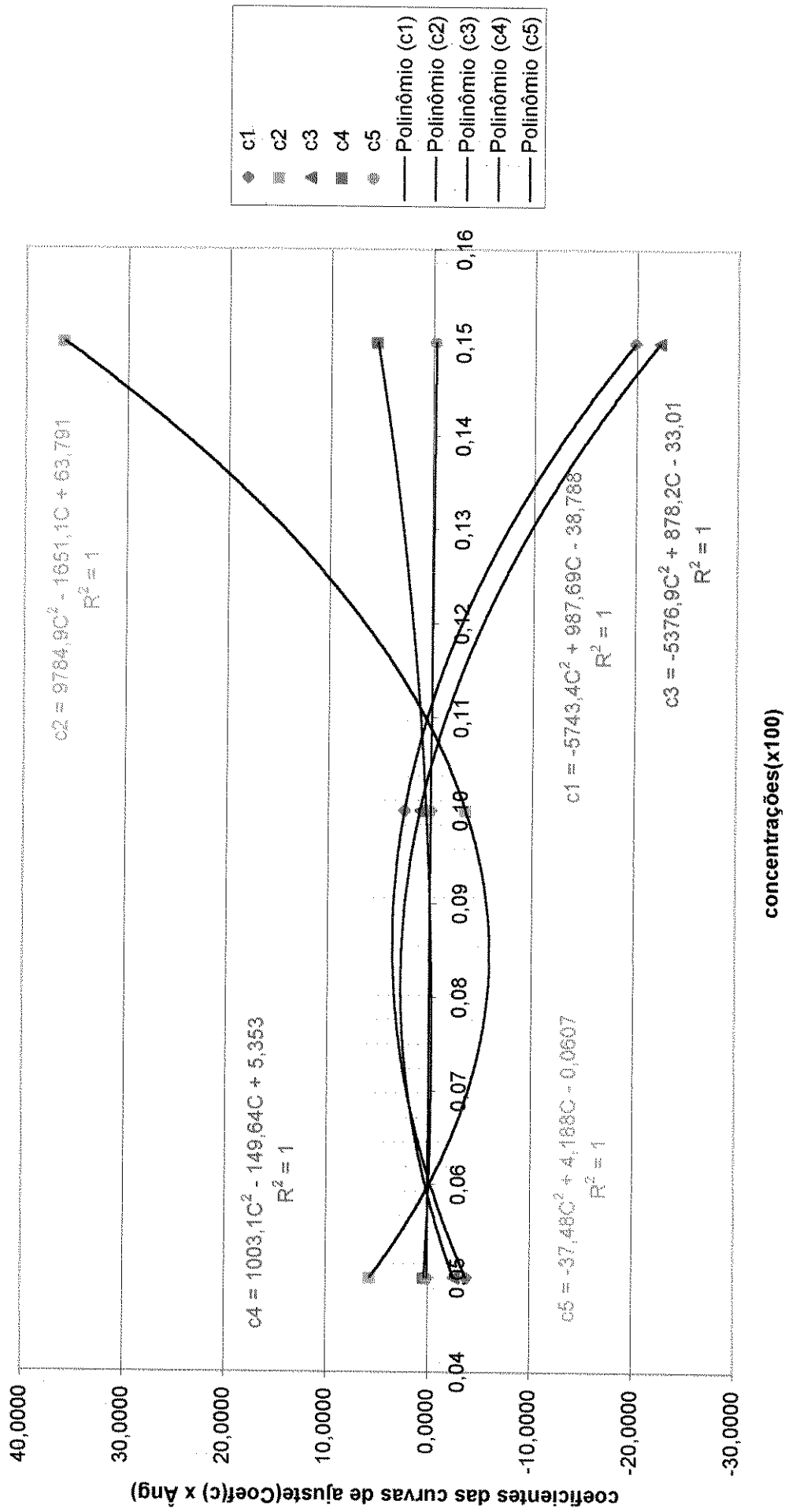


Fig. 26C- Coeficientes das Curvas de Ajuste(Coef(c) x Âng) x Concentrações-escoamento ascendente

Quadro 27C-Coef das Curvas de Ajuste (coef (a) x âng) x Concentrações-escoamento descendente					
concentrações	a1	a2	a3	a4	a5
0,05	-0,2632	0,4291	-0,2167	0,0278	0,0104
0,10	0,6462	-0,7646	0,2147	0,0174	0,0033
0,15	-1,1430	2,2283	-1,3044	0,2856	-0,0061

Quadro 28C-Coef das Curvas de Ajuste (coef (b) x âng) x Concentrações-escoamento descendente					
concentrações	b1	b2	b3	b4	b5
0,05	2,7088	-4,3601	2,2034	-0,3319	0,0030
0,10	-5,9245	7,3876	-2,4678	0,0565	0,0315
0,15	9,9933	-19,5410	11,3910	-2,4869	0,1414

Quadro 29C-Coef das Curvas de Ajuste (coef (c) x âng) x Concentrações-escoamento descendente					
concentrações	c1	c2	c3	c4	c5
0,05	-5,5718	9,0722	-4,6912	0,6814	-0,0067
0,10	13,3070	-17,4690	6,7402	-0,7960	-0,0002
0,15	-16,2770	33,0940	-19,0990	3,8334	-0,2033

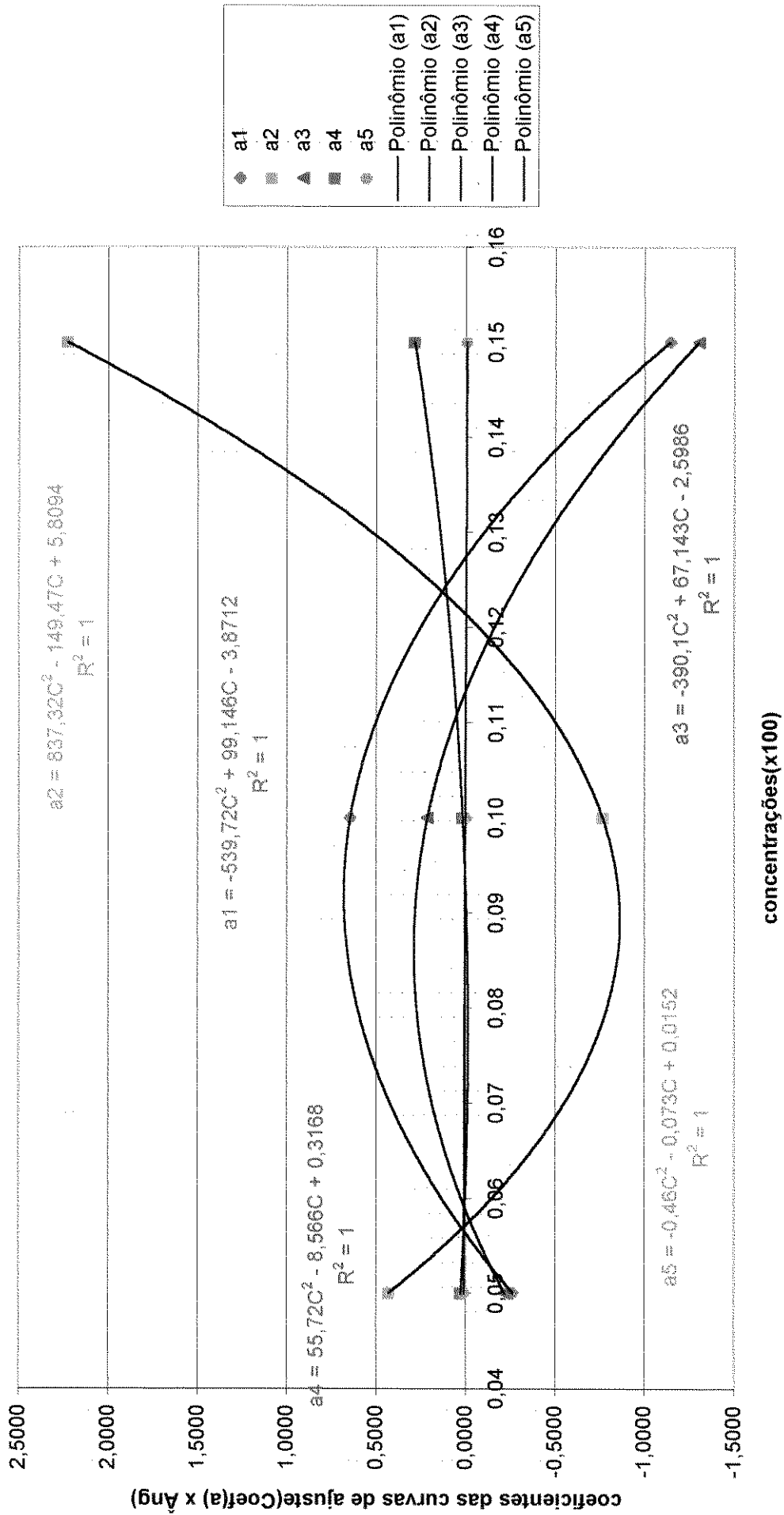


Fig. 27C- Coeficientes das Curvas de Ajuste(Coef(a) x Âng) x Concentrações-escoamento descendente

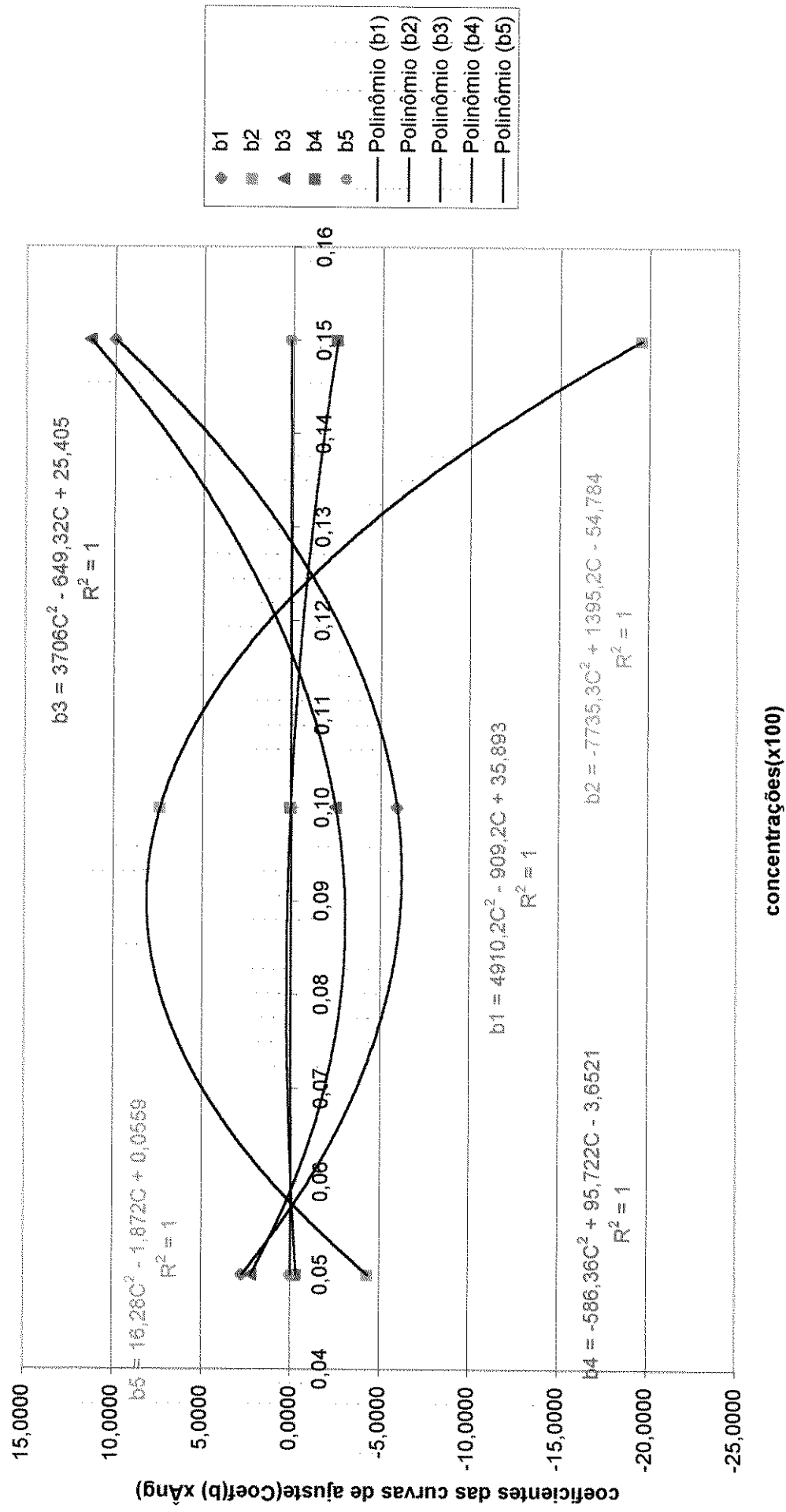


Fig. 28C- Coeficientes das Curvas de Ajuste(Coef(b) x Âng) x Concentrações-escoamento descendente

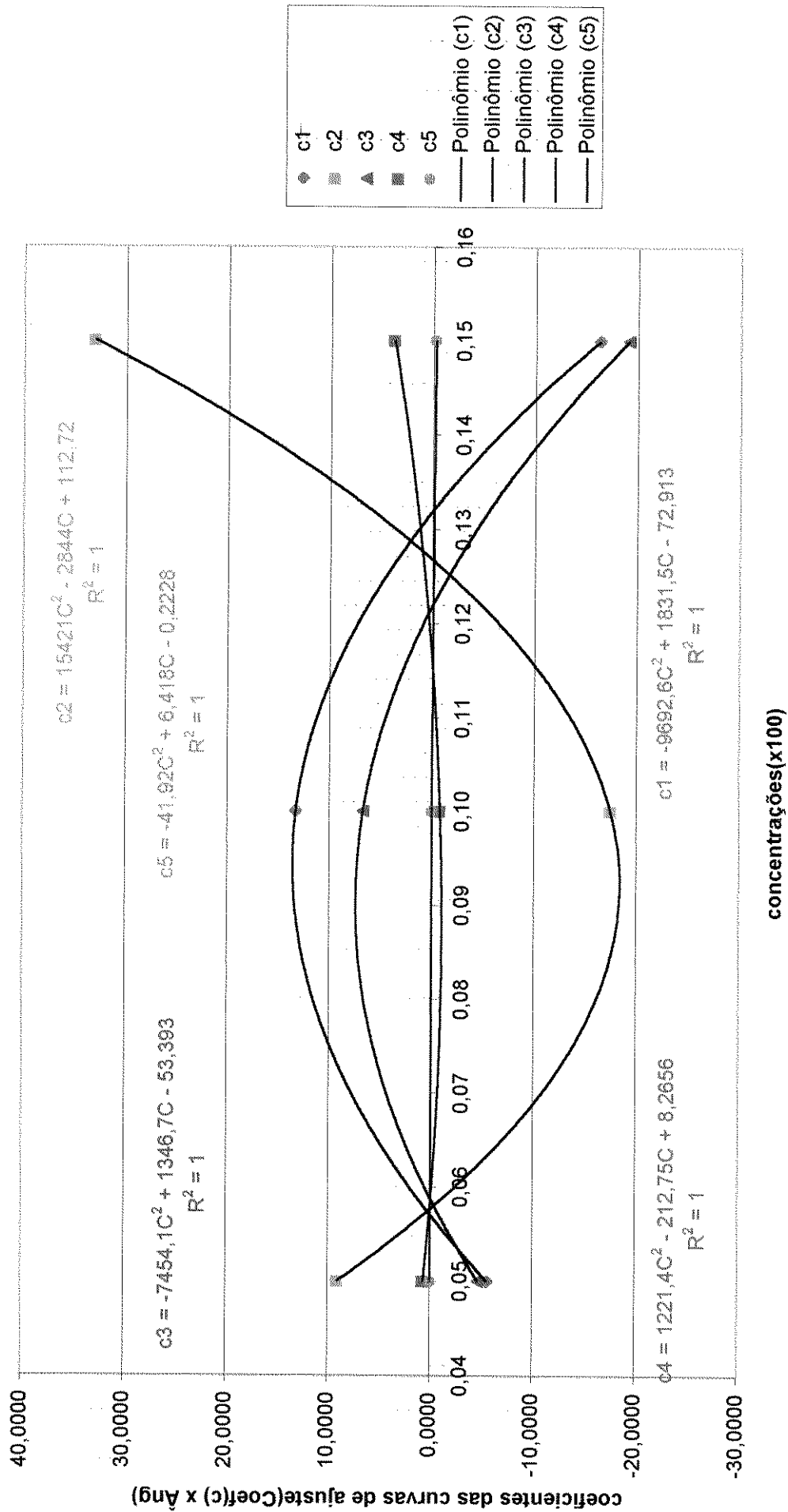


Fig. 29C- Coeficientes das Curvas de Ajuste(Coef(c) x Âng) x Concentrações-escoamento descendente

Quadro 30C-Perda de Carga Água+Areia(5%) x Velocidade com escoamento horizontal	
Velocidade (m/s)	Jh(5%) (m água)
2,3150	0,0636
2,3897	0,0655
2,4861	0,0726
2,6420	0,0753
2,6902	0,0801
2,7023	0,0773
2,8635	0,0902
2,9151	0,0896
2,9246	0,0876
3,0354	0,0966
3,0768	0,0941
3,3620	0,1095
3,4254	0,1198
3,4501	0,1146
3,4592	0,1211
3,4941	0,1252
3,6932	0,1322
3,7479	0,1434
3,7631	0,1370
3,9110	0,1528
4,0927	0,1566
4,1838	0,1690
4,1895	0,1611
4,2069	0,1713
4,2232	0,1771
4,5051	0,1918
4,5393	0,1961
4,5685	0,1875
4,6921	0,1992
4,7475	0,2170
5,0078	0,2417
5,0905	0,2356
5,0977	0,2301
5,1011	0,2378
5,1925	0,2592

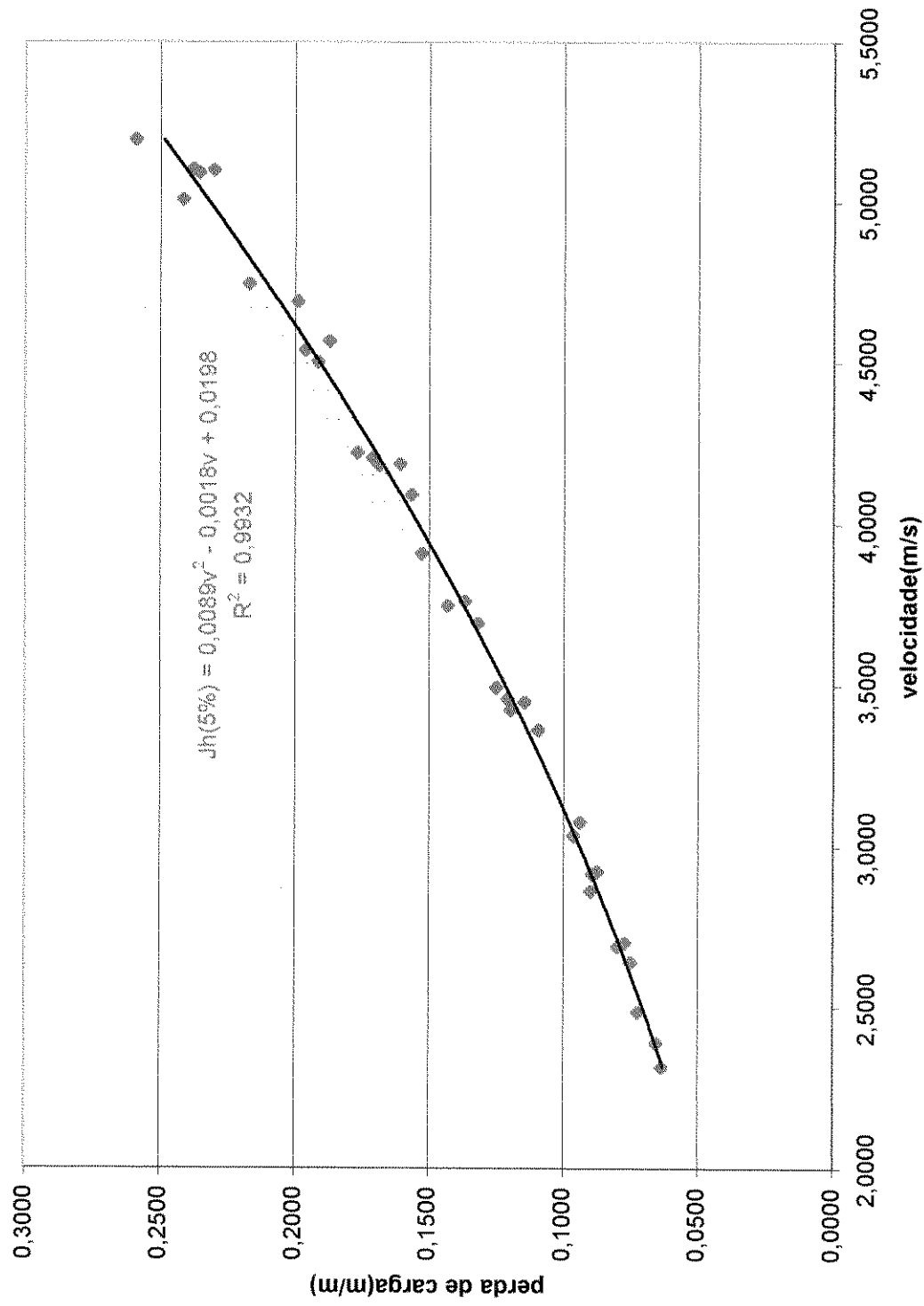


Fig. 30C-Perda da Carga Água + Areia(5%) x Velocidade-escoamento horizontal

Quadro 31C-Perda de Carga Água+Areia(10%) x Velocidade com escoamento horizontal	
Velocidade (m/s)	Jh(10%) (m água)
2,4978	0,0783
2,5035	0,0781
2,5369	0,0813
2,6101	0,0825
2,7649	0,0934
2,9261	0,0973
2,9588	0,1003
2,9994	0,1008
3,1940	0,1118
3,2702	0,1178
3,2793	0,1174
3,3059	0,1195
3,3465	0,1219
3,4288	0,1274
3,6921	0,1463
3,7111	0,1389
3,7870	0,1462
3,7888	0,1522
3,8996	0,1588
3,9546	0,1605
4,0757	0,1710
4,1561	0,1753
4,1925	0,1735
4,3147	0,1978
4,3989	0,1922
4,5491	0,2075
4,6049	0,2122
4,6349	0,2092
4,7354	0,2279
4,8215	0,2366
5,0309	0,2301
5,0776	0,2533
5,1364	0,2545
5,1656	0,2660
5,4839	0,3031

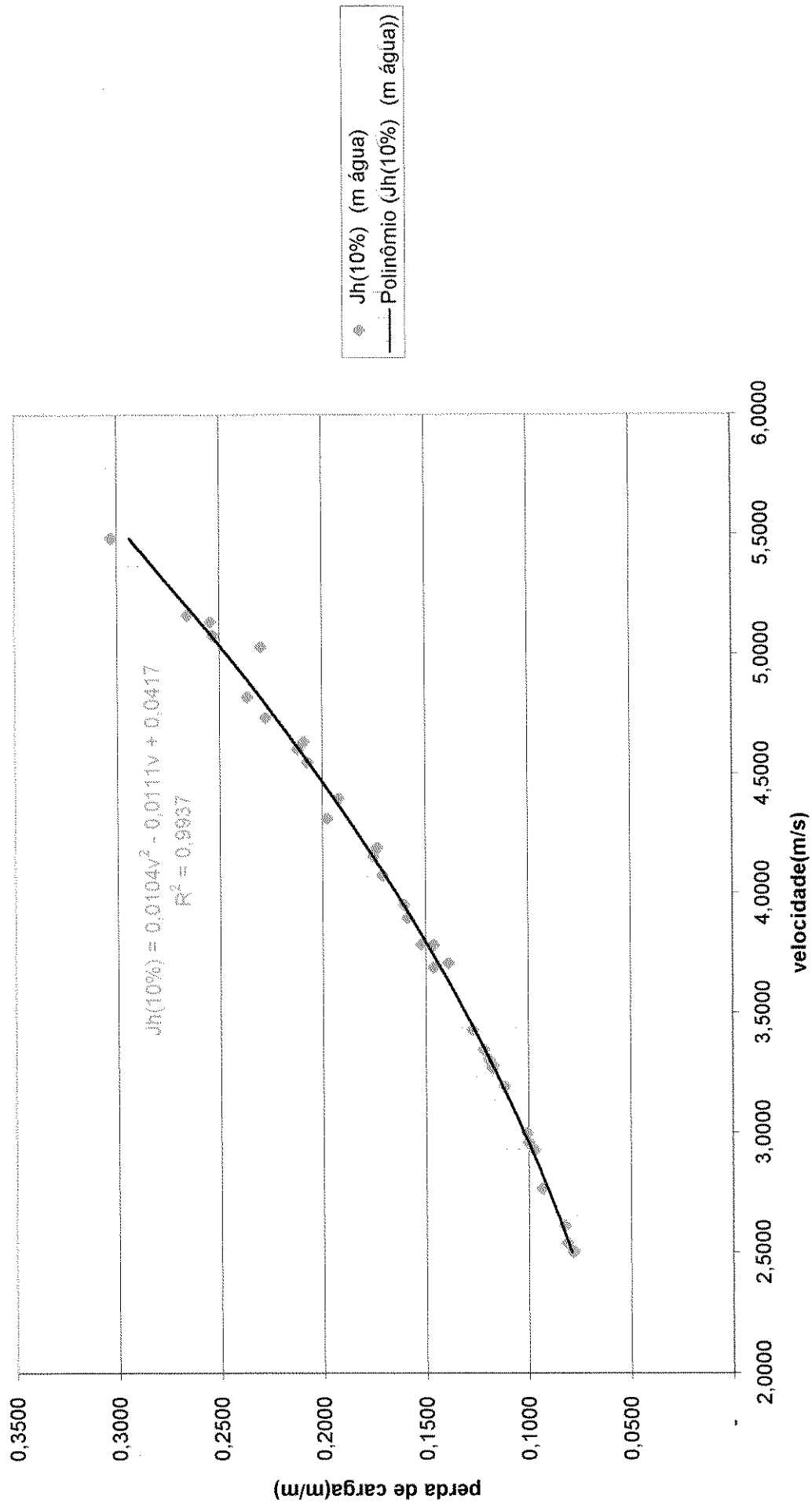


Fig. 31C- Perda de Carga Água+Areia(10%) x Velocidade-escoamento horizontal

Quadro 32C-Perda de Carga Água+Areia(15%) x Velocidade com escoamento horizontal	
Velocidade (m/s)	Jh(15%) (m água)
2,2584	0,0752
2,3134	0,0771
2,3423	0,0810
2,3741	0,0811
2,4030	0,0804
2,5908	0,0913
2,6348	0,0913
2,6852	0,0963
2,8745	0,1023
2,9341	0,1051
2,9842	0,1129
3,1219	0,1162
3,1921	0,1194
3,2824	0,1212
3,3822	0,1330
3,3988	0,1349
3,4732	0,1345
3,6269	0,1406
3,7247	0,1470
3,9269	0,1675
3,9395	0,1680
3,9478	0,1633
4,0335	0,1743
4,1193	0,1701
4,3727	0,1882
4,3970	0,2075
4,5385	0,2041
4,6019	0,2208
4,6083	0,2076
4,6375	0,2135
4,8625	0,2480
4,9456	0,2370
4,9573	0,2469
4,9680	0,2420
4,9748	0,2466

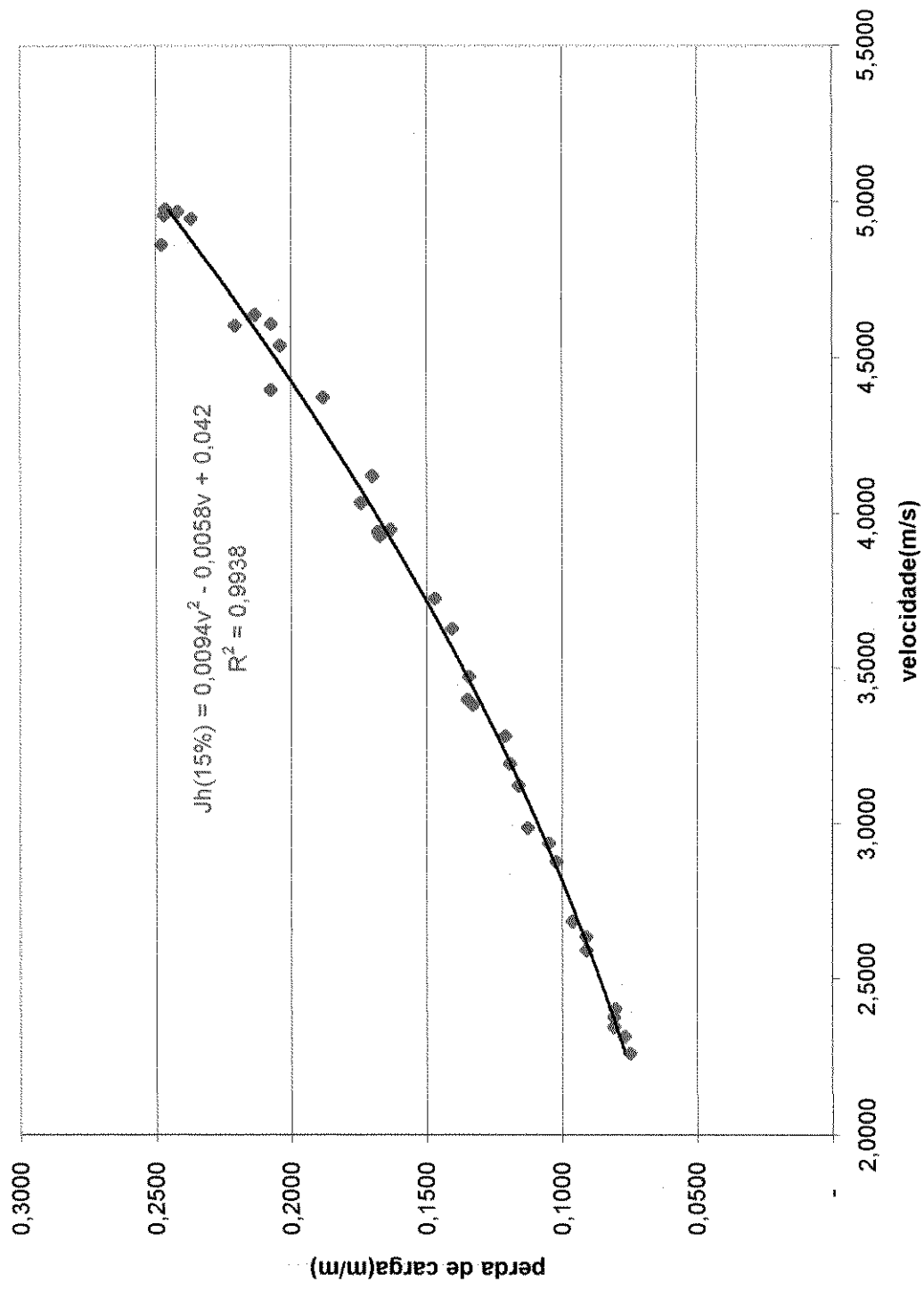


Fig. 32C- Perda de Carga Água+Areia(15%) x Velocidade-escoamento horizontal

Quadro 33C-Coefficientes das Curvas de Ajuste (Jh x Vel) x Concentrações			
escoamento horizontal			
concentrações	a	b	c
0,05	0,0089	-0,0018	0,0198
0,10	0,0104	-0,0111	0,0417
0,15	0,0094	-0,0058	0,0420

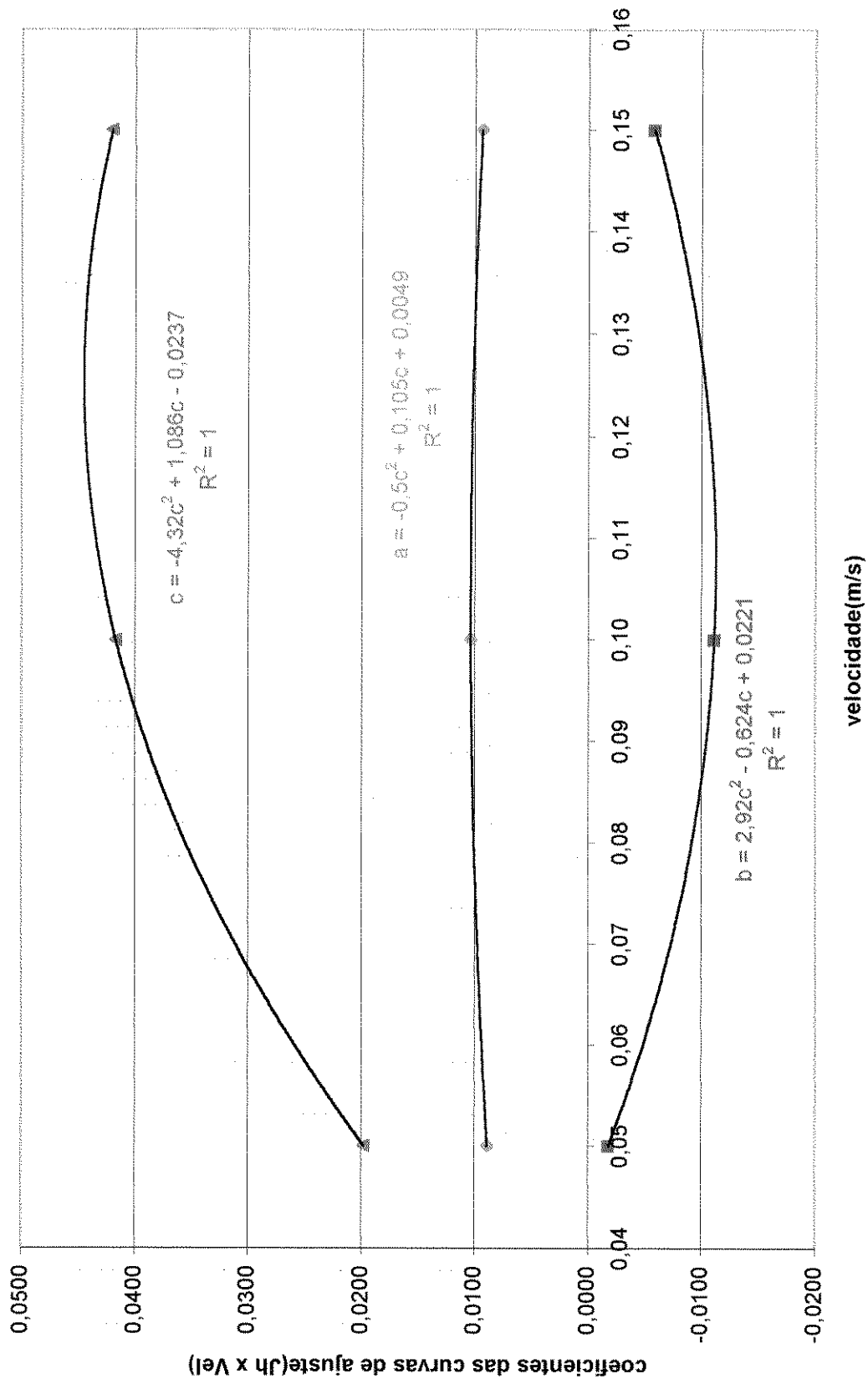


Fig. 33C- Coeficientes das Curvas de Ajuste(Jh x Vel) x Concentrações-escoamento horizontal

Apêndice D

Quadro 1D-Perdas de Carga Água+Areia x Velocidade com escoamento horizontal para todas as concentrações				
Velocidade (m/s)	Jh(5%) (m água)	Jh(10%) (m água)	Jh(15%) (m água)	
2,3150	0,0636			
2,3897	0,0655			
2,4861	0,0726			
2,6420	0,0753			
2,6902	0,0801			
2,7023	0,0773			
2,8635	0,0902			
2,9151	0,0896			
2,9246	0,0876			
3,0354	0,0966			
3,0768	0,0941			
3,3620	0,1095			
3,4254	0,1198			
3,4501	0,1146			
3,4592	0,1211			
3,4941	0,1252			
3,6932	0,1322			
3,7479	0,1434			
3,7631	0,1370			
3,9110	0,1528			
4,0927	0,1566			
4,1838	0,1690			
4,1895	0,1611			
4,2069	0,1713			
4,2232	0,1771			
4,5051	0,1918			
4,5393	0,1961			
4,5685	0,1875			
4,6921	0,1992			
4,7475	0,2170			
5,0078	0,2417			
5,0905	0,2356			
5,0977	0,2301			

5,1011	0,2378								
5,1925	0,2592								
2,4978							0,0783		
2,5035							0,0781		
2,5369							0,0813		
2,6101							0,0825		
2,7649							0,0934		
2,9261							0,0973		
2,9588							0,1003		
2,9994							0,1008		
3,1940							0,1118		
3,2702							0,1178		
3,2793							0,1174		
3,3059							0,1195		
3,3465							0,1219		
3,4288							0,1274		
3,6921							0,1463		
3,7111							0,1389		
3,7870							0,1462		
3,7888							0,1522		
3,8996							0,1588		
3,9546							0,1605		
4,0757							0,1710		
4,1561							0,1753		
4,1925							0,1735		
4,3147							0,1978		
4,3989							0,1922		
4,5491							0,2075		
4,6049							0,2122		
4,6349							0,2092		
4,7354							0,2279		
4,8215							0,2366		
5,0309							0,2301		
5,0776							0,2533		
5,1364							0,2545		
5,1656							0,2660		

5,4839			0,3031		
2,2584					0,0752
2,3134					0,0771
2,3423					0,0810
2,3741					0,0811
2,4030					0,0804
2,5908					0,0913
2,6348					0,0913
2,6852					0,0963
2,8745					0,1023
2,9341					0,1051
2,9842					0,1129
3,1219					0,1162
3,1921					0,1194
3,2824					0,1212
3,3822					0,1330
3,3988					0,1349
3,4732					0,1345
3,6269					0,1406
3,7247					0,1470
3,9269					0,1675
3,9395					0,1680
3,9478					0,1633
4,0335					0,1743
4,1193					0,1701
4,3727					0,1882
4,3970					0,2075
4,5385					0,2041
4,6019					0,2208
4,6083					0,2076
4,6375					0,2135
4,8625					0,2480
4,9456					0,2370
4,9573					0,2469
4,9680					0,2420
4,9748					0,2466

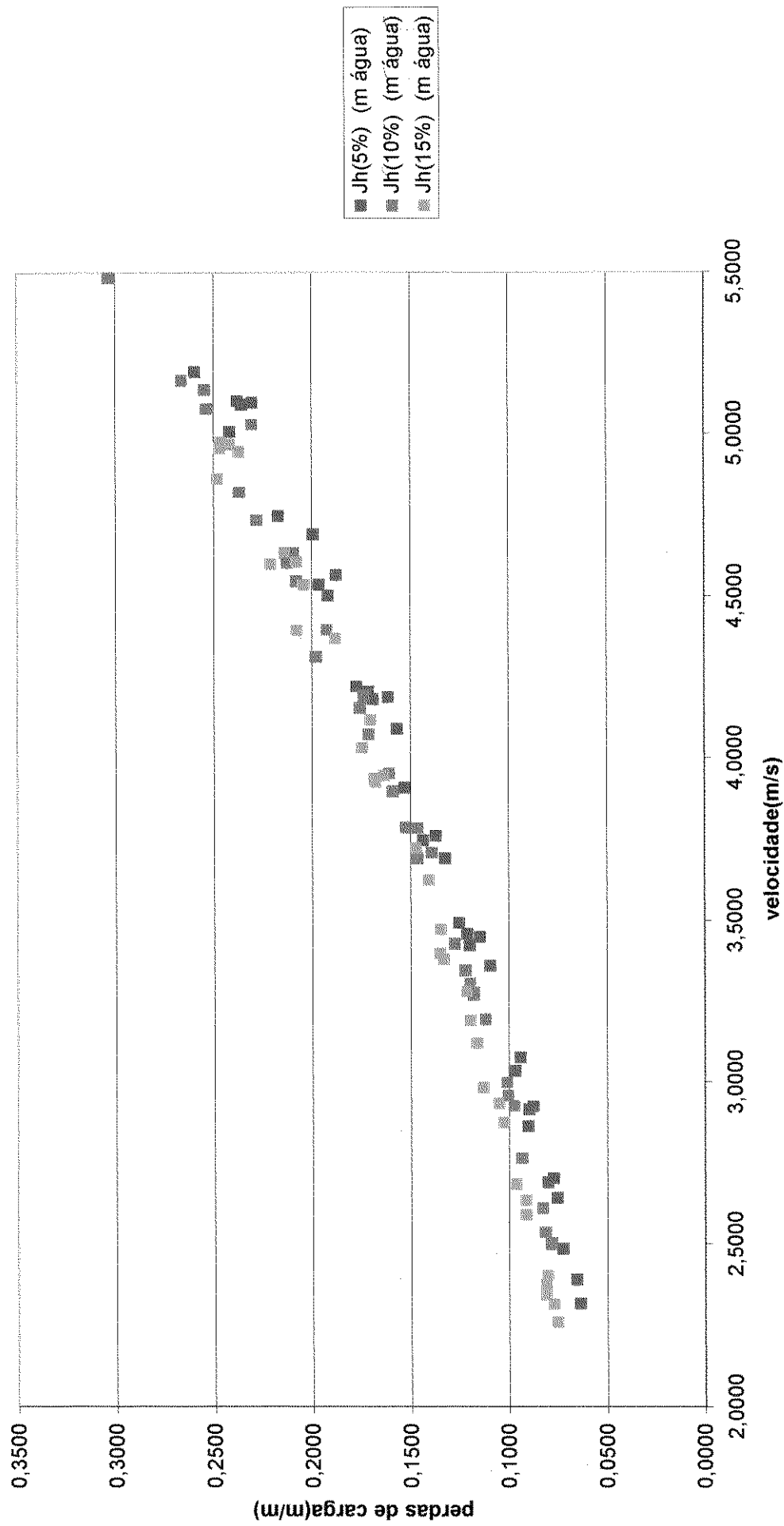


Fig.1D- Perdas de Carga-Água+Areia x Velocidade com escoamento horizontal para todas as concentrações

Quadro 2D-Perdas de Carga Água+Areia(5%) x Velocidade com escoamento ascendente					
velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(11) (m água)	Ja(22,5) (m água)	Ja(34) (m água)	Ja(45) (m água)
2,3897	0,0772				
2,6902	0,0912				
3,0354	0,1068				
3,4941	0,1353				
4,0927	0,1664				
4,5051	0,2016				
5,0078	0,2528				
2,4861		0,0953			
2,8635		0,1120			
3,4254		0,1408			
3,9110		0,1722			
4,2232		0,1979			
4,7475		0,2381			
5,1925		0,2819			
2,3150			0,1108		
2,9151			0,1333		
3,4592			0,1631		
3,7479			0,1847		
4,1838			0,2089		
4,5393			0,2359		
5,1011			0,2807		
2,6420				0,1376	
3,0768				0,1537	
3,4501				0,1717	
3,7631				0,1942	
4,1895				0,2189	
4,5685				0,2440	
5,0977				0,2893	
2,7023					0,1606
2,9246					0,1702
3,3620					0,1910
3,6932					0,2098
4,2069					0,2462
4,6921					0,2732
5,0905					0,3115

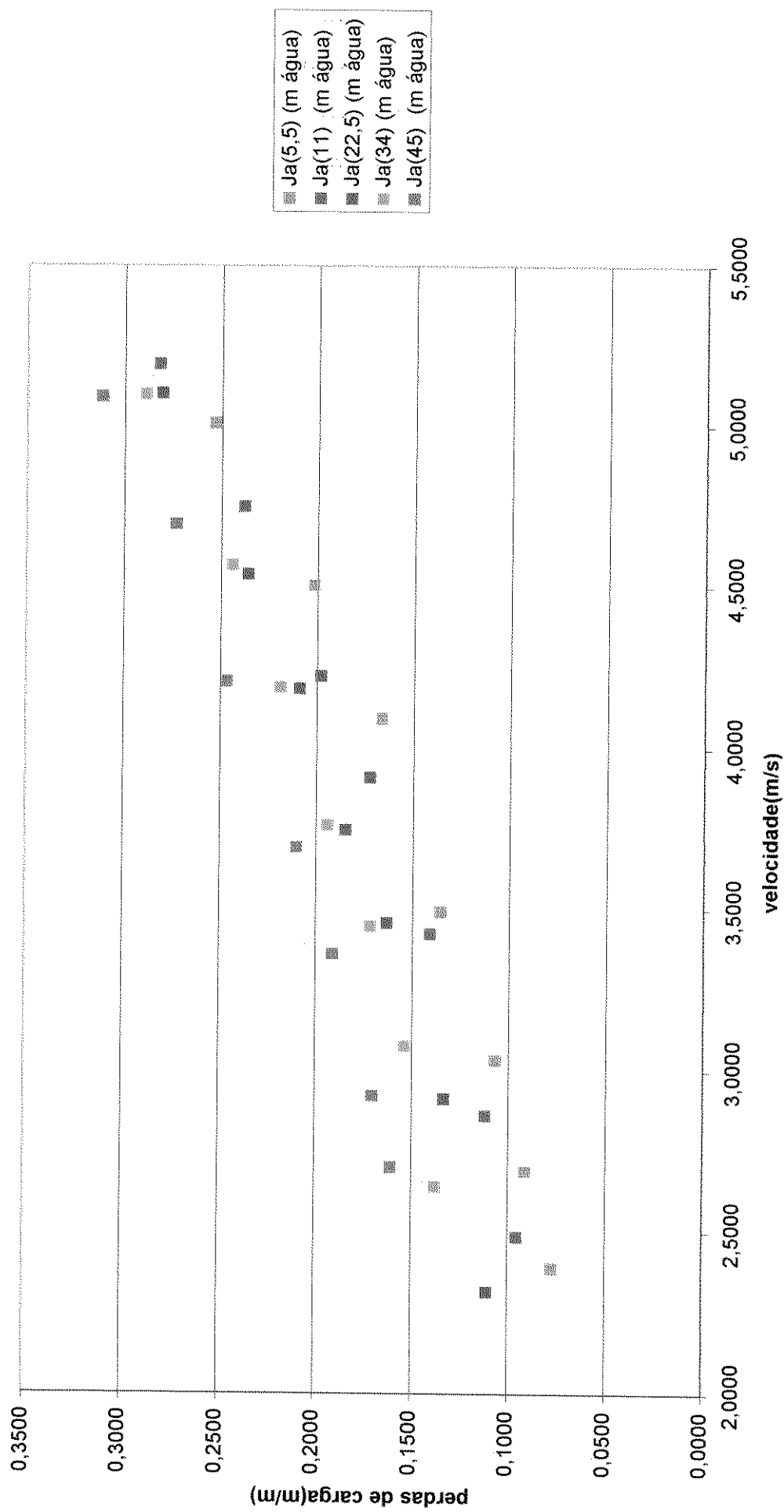


Fig. 2D- Perdas de Carga-Água+Areia(5%) x Velocidade com escoamento ascendente para todos os ângulos

Quadro 3D-Perdas de Carga Água+Areia(10%) x Velocidade com escoamento ascendente					
velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(11) (m água)	Ja(22,5) (m água)	Ja(34) (m água)	Ja(45) (m água)
2,4978	0,0989				
2,7649	0,1128				
3,3059	0,1387				
3,7111	0,1563				
3,9546	0,1785				
4,3989	0,2112				
5,0309	0,2504				
2,6101		0,1246			
2,9588		0,1405			
3,4288		0,1672			
3,6921		0,1864			
4,1925		0,2119			
4,6349		0,2463			
5,1364		0,2942			
2,5369			0,1630		
2,9994			0,1786		
3,3465			0,1985		
3,7870			0,2208		
4,0757			0,2428		
4,6049			0,2822		
5,0776			0,3244		
3,1940				0,2203	
3,2793				0,2265	
3,8996				0,2640	
4,3147				0,2995	
4,7354				0,3308	
5,1656				0,3703	
5,4839				0,4118	
2,5035					0,2243
2,9261					0,2412
3,2702					0,2580
3,7888					0,2882
4,1561					0,3115
4,5491					0,3427
4,8215					0,3746

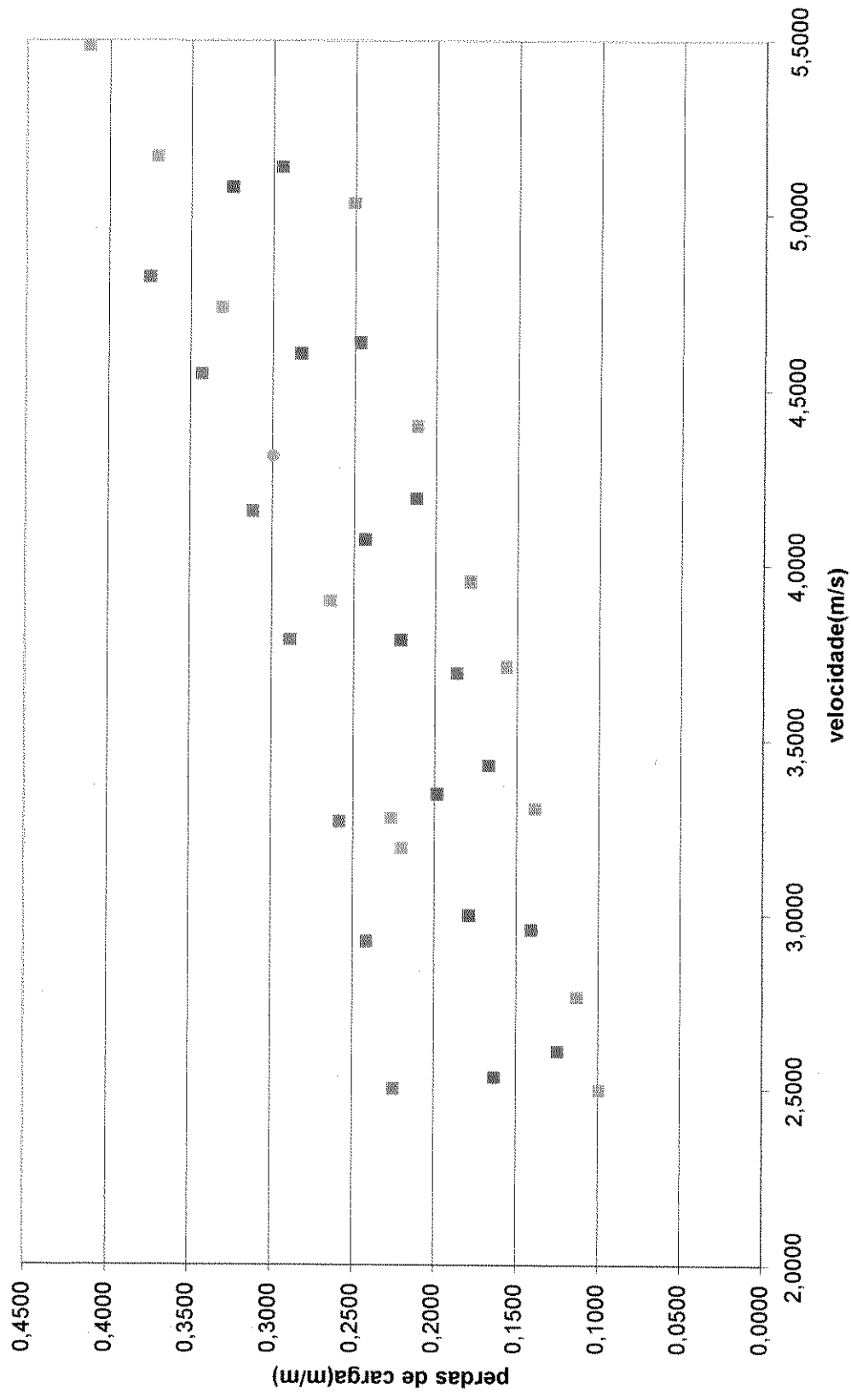


Fig. 3D- Perdas de Carga-Água+Areia(10%) x Velocidade com escoamento ascendente para todos os ângulos

Quadro 4D-Perdas de Carga Água+Areia(15%) x Velocidade com escoamento ascendente					
velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(11) (m água)	Ja(22,5) (m água)	Ja(34) (m água)	Ja(45) (m água)
2,2584	0,1050				
2,6852	0,1241				
2,9842	0,1410				
3,3822	0,1610				
3,9395	0,1960				
4,3970	0,2339				
4,8625	0,2746				
2,3423		0,1465			
2,8745		0,1634			
3,2824		0,1816			
3,7247		0,2056			
4,1193		0,2293			
4,5385		0,2668			
4,9680		0,3082			
2,3134			0,1956		
2,6348			0,2057		
3,1921			0,2296		
3,3988			0,2442		
3,9269			0,2744		
4,6019			0,3257		
4,9748			0,3520		
2,3741				0,2538	
2,9341				0,2701	
3,4732				0,2929	
3,9478				0,3179	
4,3727				0,3425	
4,6083				0,3600	
4,9456				0,3847	
2,4030					0,2983
2,5908					0,3047
3,1219					0,3248
3,6269					0,3444
4,0335					0,3749
4,6375					0,4155
4,9573					0,4459

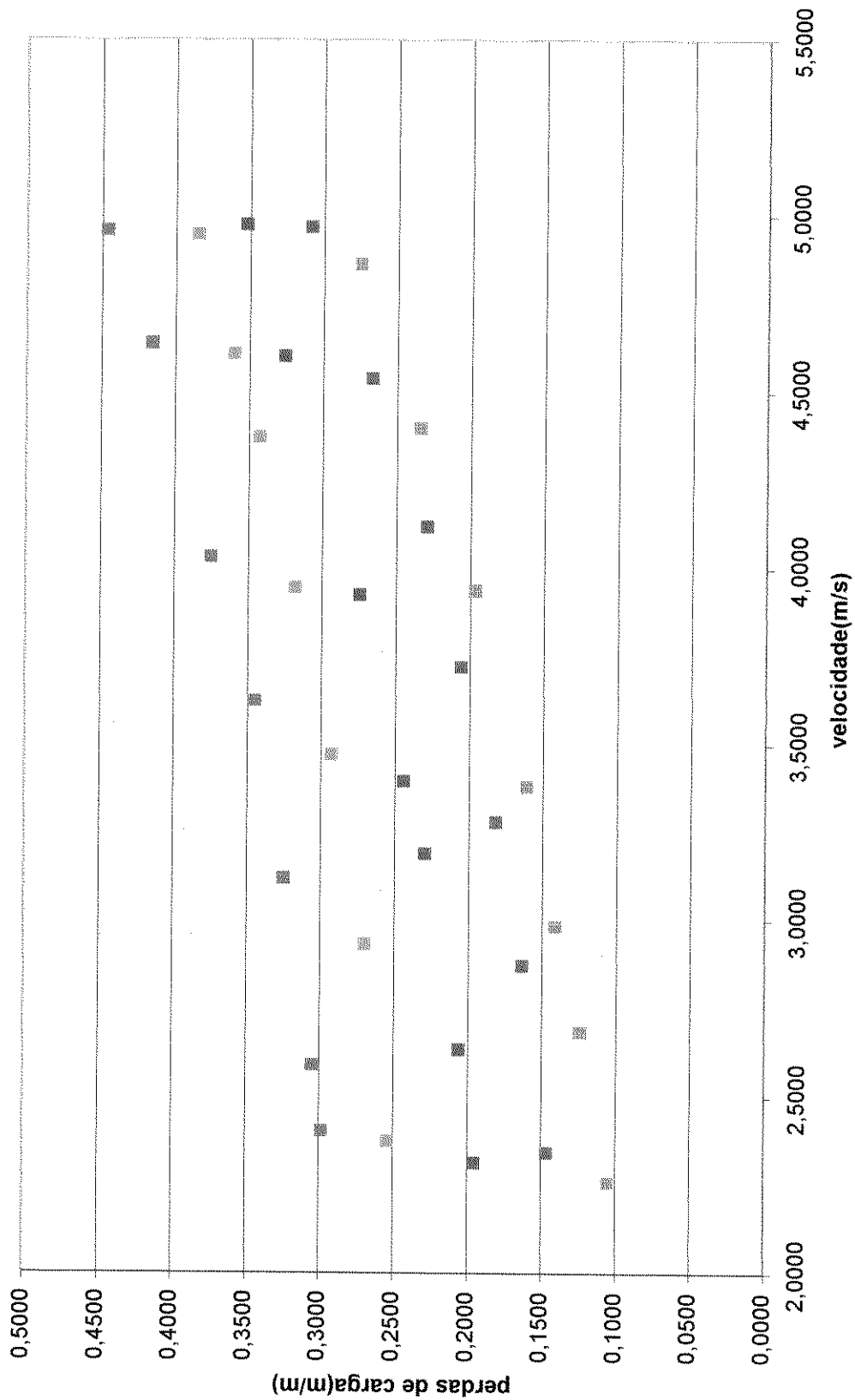


Fig. 4D- Perdas de Carga-Água+Areia(15%) x Velocidade com escoamento ascendente para todos os ângulos

Quadro 5D-Perdas de Carga Água+Areia(5%) x Velocidade com escoamento descendente					
velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(11) (m água)	Ja(22,5) (m água)	Ja(34) (m água)	Ja(45) (m água)
2,3897	0,0559				
2,6902	0,0741				
3,0354	0,0918				
3,4941	0,1233				
4,0927	0,1580				
4,5051	0,1967				
5,0078	0,2491				
2,4861		0,0556			
2,8635		0,0734			
3,4254		0,1051			
3,9110		0,1407			
4,2232		0,1664			
4,7475		0,2078			
5,1925		0,2531			
2,3150			0,0265		
2,9151			0,0527		
3,4592			0,0865		
3,7479			0,1125		
4,1838			0,1406		
4,5393			0,1702		
5,1011			0,2154		
2,6420				0,0224	
3,0768				0,0412	
3,4501				0,0644	
3,7631				0,0870	
4,1895				0,1123	
4,5685				0,1389	
5,0977				0,1839	
2,7023					0,0104
2,9246					0,0214
3,3620					0,0446
3,6932					0,0691
4,2069					0,1094
4,6921					0,1373
5,0905					0,1750

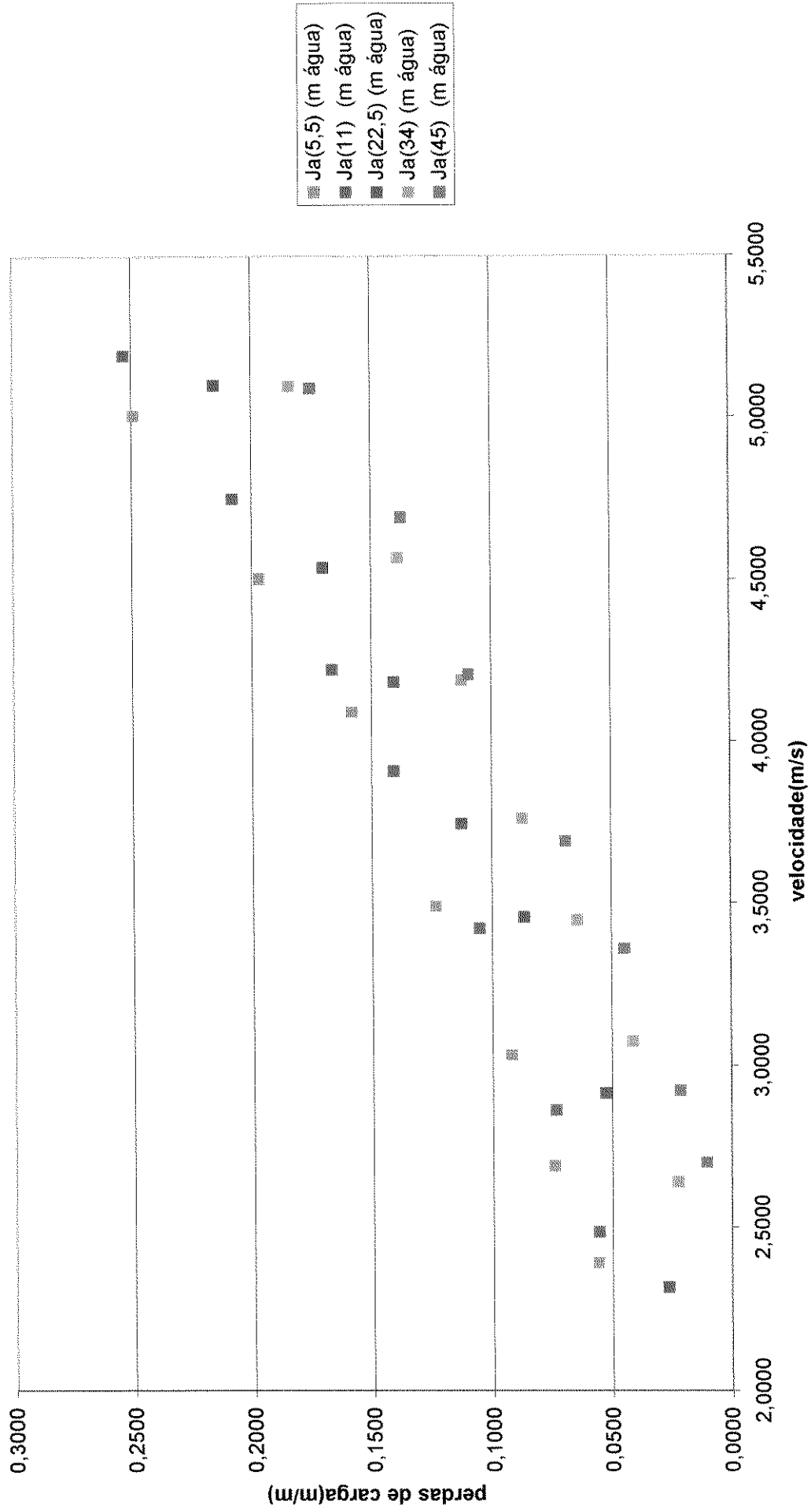


Fig. 5D- Perdas de Carga-Água+Areia(5%) x Velocidade com escoamento descendente para todos os ângulos

Quadro 6D-Perdas de Carga Água+Areia(10%) x Velocidade com escoamento descendente

velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(11) (m água)	Ja(22,5) (m água)	Ja(34) (m água)	Ja(45) (m água)
2,4978	0,0611				
2,7649	0,0768				
3,3059	0,1050				
3,7111	0,1279				
3,9546	0,1507				
4,3989	0,1876				
5,0309	0,2294				
2,6101		0,0472			
2,9588		0,0632			
3,4288		0,0932			
3,6921		0,1151			
4,1925		0,1437			
4,6349		0,1861			
5,1364		0,2329			
2,5369			0,0128		
2,9994			0,0336		
3,3465			0,0554		
3,7870			0,0806		
4,0757			0,1088		
4,6049			0,1510		
5,0776			0,1975		
3,1940				0,0148	
3,2793				0,0205	
3,8996				0,0636	
4,3147				0,1060	
4,7354				0,1392	
5,1656				0,1788	
5,4839				0,2194	
2,5035					
2,9261					
3,2702					0
3,7888					0,0289
4,1561					0,0570
4,5491					0,0910
4,8215					0,1250

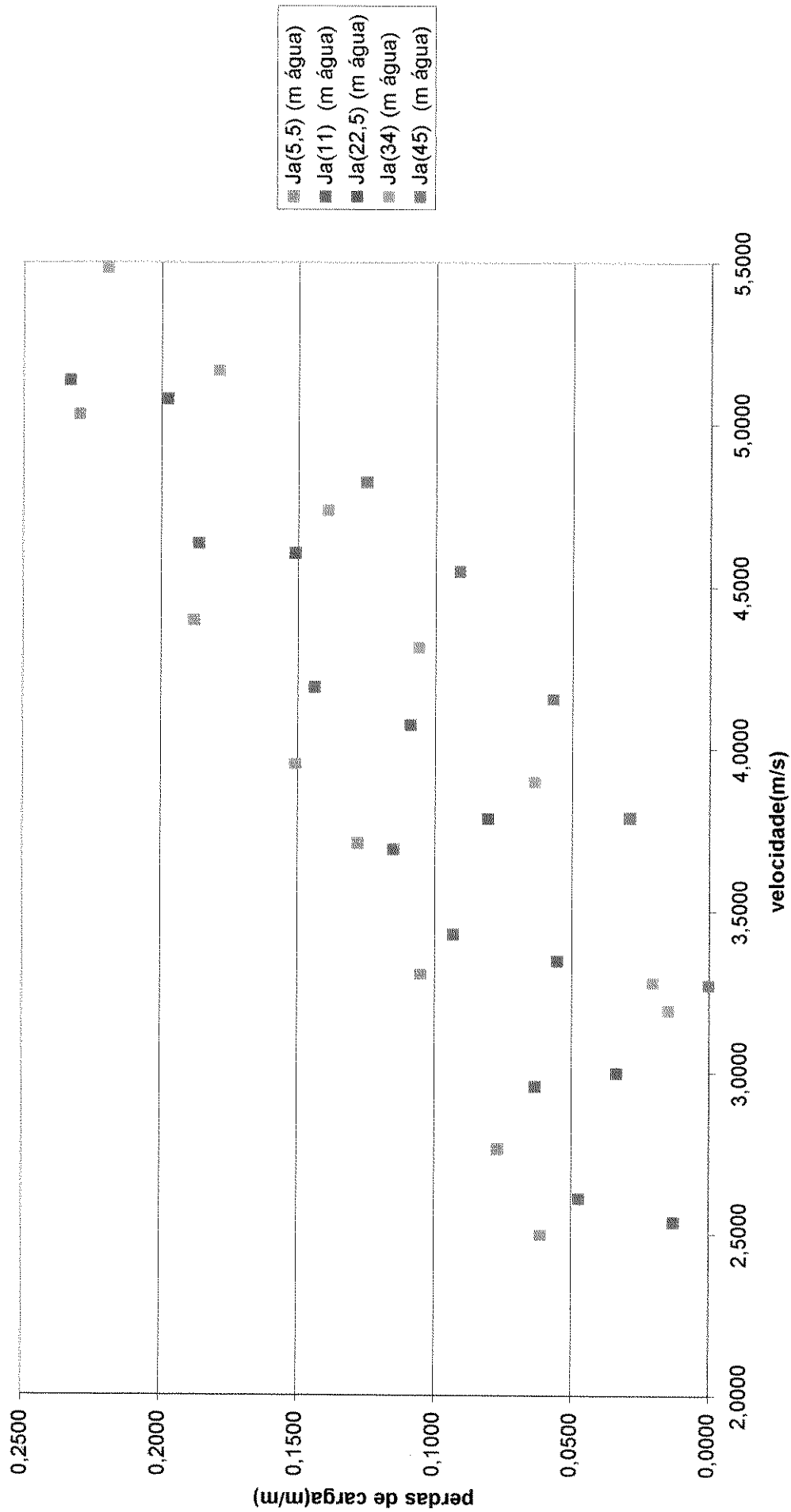


Fig. 6D- Perdas de Carga-Água+Areia(10%) x Velocidade com escoamento descendente para todos os ângulos

Quadro 7D-Perdas de Carga Água+Areia(15%) x Velocidade com escoamento descendente					
velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(11) (m água)	Ja(22,5) (m água)	Ja(34) (m água)	Ja(45) (m água)
2,2584	0,0524				
2,6852	0,0748				
2,9842	0,0922				
3,3822	0,1145				
3,9395	0,1521				
4,3970	0,1957				
4,8625	0,2383				
2,3423		0,0258			
2,8745		0,0478			
3,2824		0,0682			
3,7247		0,0963			
4,1193		0,1226			
4,5385		0,1626			
4,9680		0,2067			
2,3134					
2,6348			-		
3,1921			0,0222		
3,3988			0,0386		
3,9269			0,0750		
4,6019			0,1350		
4,9748			0,1652		
2,3741					
2,9341					
3,4732				-	
3,9478				0,0210	
4,3727				0,0465	
4,6083				0,0679	
4,9456				0,1019	
2,4030					
2,5908					
3,1219					
3,6269					
4,0335					-
4,6375					0,0336
4,9573					0,0685

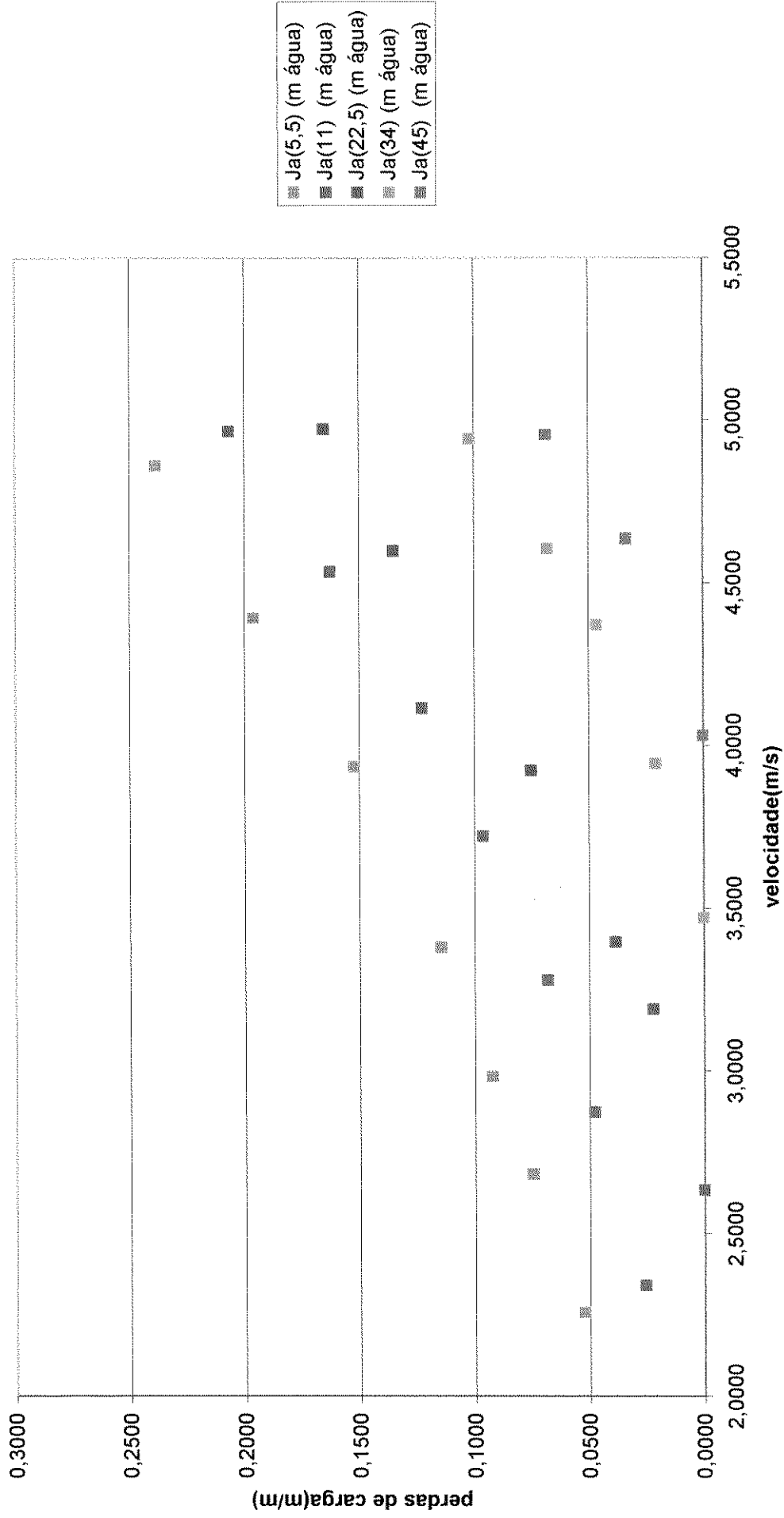


Fig. 7D- Perdas de Carga-Água+Areia(15%) x Velocidade com escoamento descendente para todos os ângulos

Apêndice E

Quadro 1E-Comparação: Perdas de Carga Experimentais(5%) c/ Equações Propostas x Velocidade-escoamento ascendente										
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(11) (m água)	Ja(22,5) (m água)	Ja(34) (m água)	Ja(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)
2,0000						0,0688	0,0792	0,0985	0,1169	0,1358
2,5000						0,0834	0,0957	0,1169	0,1316	0,1524
3,0000						0,1043	0,1177	0,1396	0,1513	0,1736
3,5000						0,1314	0,1454	0,1665	0,1760	0,1992
4,0000						0,1648	0,1786	0,1976	0,2058	0,2292
4,5000						0,2043	0,2174	0,2330	0,2407	0,2637
5,0000						0,2501	0,2618	0,2726	0,2805	0,3026
5,5000						0,3022	0,3118	0,3165	0,3255	0,3460
2,3897	0,0772									
2,6902	0,0912									
3,0354	0,1068									
3,4941	0,1353									
4,0927	0,1664									
4,5051	0,2016									
5,0078	0,2528									
2,4861		0,0953								
2,8635		0,1120								
3,4254		0,1408								
3,9110		0,1722								
4,2232		0,1979								
4,7475		0,2381								
5,1925		0,2819								
2,3150			0,1108							
2,9151			0,1333							
3,4592			0,1631							
3,7479			0,1847							
4,1838			0,2089							
4,5393			0,2359							
5,1011			0,2807							
2,6420				0,1376						
3,0768				0,1537						
3,4501				0,1717						

Quadro 2E-Comparação: Perdas de Carga Experimentais(10%) c/ Equações Propostas x Velocidade-escoamento ascendente										
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(11) (m água)	Ja(22,5) (m água)	Ja(34) (m água)	Ja(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)
2,0000						0,0790	0,1032	0,1481	0,1776	0,2131
2,5000						0,0994	0,1206	0,1607	0,1910	0,2238
3,0000						0,1231	0,1427	0,1794	0,2111	0,2420
3,5000						0,1501	0,1696	0,2043	0,2377	0,2675
4,0000						0,1805	0,2012	0,2354	0,2710	0,3003
4,5000						0,2141	0,2377	0,2726	0,3108	0,3404
5,0000						0,2511	0,2788	0,3160	0,3572	0,3880
5,5000						0,2913	0,3247	0,3655	0,4103	0,4428
2,4978	0,0989									
2,7649	0,1128									
3,3059	0,1387									
3,7111	0,1563									
3,9546	0,1785									
4,3989	0,2112									
5,0309	0,2504									
2,6101		0,1246								
2,9588		0,1405								
3,4288		0,1672								
3,6921		0,1864								
4,1925		0,2119								
4,6349		0,2463								
5,1364		0,2942								
2,5369			0,1630							
2,9994			0,1786							
3,3465			0,1985							
3,7870			0,2208							
4,0757			0,2428							
4,6049			0,2822							
5,0776			0,3244							
3,1940				0,2203						
3,2793				0,2265						
3,8996				0,2640						

Quadro 3E-Comparação: Perdas de Carga Experimentais(15%) c/ Equações Propostas x Velocidade-escoamento ascendente											
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(11) (m água)	Ja(22,5) (m água)	Ja(34) (m água)	Ja(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)	
2,0000						0,0973	0,1422	0,1843	0,2451	0,2900	
2,5000						0,1160	0,1510	0,2007	0,2557	0,2998	
3,0000						0,1399	0,1675	0,2220	0,2717	0,3163	
3,5000						0,1691	0,1917	0,2481	0,2929	0,3393	
4,0000						0,2036	0,2237	0,2791	0,3193	0,3690	
4,5000						0,2433	0,2635	0,3150	0,3511	0,4054	
5,0000						0,2883	0,3111	0,3558	0,3881	0,4483	
5,5000						0,3386	0,3664	0,4014	0,4304	0,4979	
2,2584	0,1050										
2,6852	0,1241										
2,9842	0,1410										
3,3822	0,1610										
3,9395	0,1960										
4,3970	0,2339										
4,8625	0,2746										
2,3423		0,1465									
2,8745		0,1634									
3,2824		0,1816									
3,7247		0,2056									
4,1193		0,2293									
4,5385		0,2668									
4,9680		0,3082									
2,3134			0,1956								
2,6348			0,2057								
3,1921			0,2296								
3,3988			0,2442								
3,9269			0,2744								
4,6019			0,3257								
4,9748			0,3520								
2,3741				0,2538							
2,9341				0,2701							
3,4732				0,2929							

Quadro 4E-Comparação: Perdas de Carga Experimentais(5%) c/ Equações Propostas x Velocidade-escoamento descendente										
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(11) (m água)	Jd(22,5) (m água)	Jd(34) (m água)	Jd(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)
2,0000						0,0444	0,0362	0,0103	-0,0062	-0,0267
2,5000						0,0640	0,0563	0,0338	0,0142	-0,0029
3,0000						0,0894	0,0817	0,0612	0,0384	0,0241
3,5000						0,1204	0,1122	0,0924	0,0665	0,0543
4,0000						0,1572	0,1480	0,1274	0,0984	0,0876
4,5000						0,1997	0,1890	0,1663	0,1341	0,1241
5,0000						0,2479	0,2352	0,2089	0,1736	0,1638
5,5000						0,3018	0,2866	0,2554	0,2169	0,2067
2,3897	0,0559									
2,6902	0,0741									
3,0354	0,0918									
3,4941	0,1233									
4,0927	0,1580									
4,5051	0,1967									
5,0078	0,2491									
2,4861		0,0556								
2,8635		0,0734								
3,4254		0,1051								
3,9110		0,1407								
4,2232		0,1664								
4,7475		0,2078								
5,1925		0,2531								
2,3150			0,0265							
2,9151			0,0527							
3,4592			0,0865							
3,7479			0,1125							
4,1838			0,1406							
4,5393			0,1702							
5,1011			0,2154							
2,6420				0,0224						
3,0768				0,0412						
3,4501				0,0644						

Quadro 5E-Comparação: Perdas de Carga Experimentais(10%) c/ Equações Propostas x Velocidade-escoamento descendente										
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(11) (m água)	Jd(22,5) (m água)	Jd(34) (m água)	Jd(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)
2,0000						0,0369	0,0211	-0,0070		
2,5000						0,0613	0,0415	0,0104		
3,0000						0,0888	0,0669	0,0340		
3,5000						0,1195	0,0973	0,0638		
4,0000						0,1533	0,1326	0,0997		
4,5000						0,1903	0,1731	0,1418		
5,0000						0,2305	0,2185	0,1900		
5,5000						0,2738	0,2689	0,2444		
2,0000									-0,0530	-0,0159
2,5000									-0,0291	-0,0215
3,0000									-0,0004	-0,0146
3,5000									0,0330	0,0047
4,0000									0,0713	0,0365
4,5000									0,1144	0,0808
5,0000									0,1623	0,1376
5,5000									0,2151	0,2069
2,4978	0,0611									
2,7649	0,0768									
3,3059	0,1050									
3,7111	0,1279									
3,9546	0,1507									
4,3989	0,1876									
5,0309	0,2294									
2,6101		0,0472								
2,9588		0,0632								
3,4288		0,0932								
3,6921		0,1151								
4,1925		0,1437								
4,6349		0,1861								
5,1364		0,2329								
2,5369			0,0128							
2,9994			0,0336							

Quadro 6E-Comparação: Perdas de Carga Experimentais(15%) c/ Equações Propostas x Velocidade-escoamento descendente										
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(11) (m água)	Jd(22,5) (m água)	Jd(34) (m água)	Jd(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)
2,0000						0,0437	0,0184	-0,0251		
2,5000						0,0645	0,0314	-0,0089		
3,0000						0,0908	0,0519	0,0137		
3,5000						0,1227	0,0797	0,0426		
4,0000						0,1602	0,1150	0,0778		
4,5000						0,2033	0,1578	0,1194		
5,0000						0,2519	0,2080	0,1674		
5,5000						0,3062	0,2656	0,2216		
3,5000									-0,0050	-0,0063
4,0000									0,0158	-0,0140
4,5000									0,0506	0,0076
5,0000									0,0993	0,0583
5,5000									0,1621	0,1382
2,2584	0,0524									
2,6852	0,0748									
2,9842	0,0922									
3,3822	0,1145									
3,9395	0,1521									
4,3970	0,1957									
4,8625	0,2383									
2,3423		0,0258								
2,8745		0,0478								
3,2824		0,0682								
3,7247		0,0963								
4,1193		0,1226								
4,5385		0,1626								
4,9680		0,2067								
2,3134										
2,6348			-							
3,1921			0,0222							
3,3988			0,0386							
3,9269			0,0750							

Quadro 7E-Comparação: Perdas de Carga Experimentais(5%) c/ Equações Propostas x Velocidade escoamento horizontal		
Velocidade (m/s)	Jh(5%) (m água)	Ajuste final(5%) (m água)
2,0000		0,0518
2,5000		0,0709
3,0000		0,0945
3,5000		0,1225
4,0000		0,1550
4,5000		0,1919
5,0000		0,2333
5,5000		0,2791
2,3150	0,0636	
2,3897	0,0655	
2,4861	0,0726	
2,6420	0,0753	
2,6902	0,0801	
2,7023	0,0773	
2,8635	0,0902	
2,9151	0,0896	
2,9246	0,0876	
3,0354	0,0966	
3,0768	0,0941	
3,3620	0,1095	
3,4254	0,1198	
3,4501	0,1146	
3,4592	0,1211	
3,4941	0,1252	
3,6932	0,1322	
3,7479	0,1434	
3,7631	0,1370	
3,9110	0,1528	
4,0927	0,1566	
4,1838	0,1690	
4,1895	0,1611	
4,2069	0,1713	
4,2232	0,1771	
4,5051	0,1918	
4,5393	0,1961	
4,5685	0,1875	
4,6921	0,1992	
4,7475	0,2170	
5,0078	0,2417	
5,0905	0,2356	
5,0977	0,2301	
5,1011	0,2378	
5,1925	0,2592	

Quadro 8E-Comparação: Perdas de Carga Experimentais(10%) c/ Equações Propostas x Velocidade escoamento horizontal

Velocidade (m/s)	Jh(10%) (m água)	Ajuste final(10%) (m água)
2,0000		0,0611
2,5000		0,0790
3,0000		0,1020
3,5000		0,1303
4,0000		0,1637
4,5000		0,2024
5,0000		0,2462
5,5000		0,2953
2,4978	0,0783	
2,5035	0,0781	
2,5369	0,0813	
2,6101	0,0825	
2,7649	0,0934	
2,9261	0,0973	
2,9588	0,1003	
2,9994	0,1008	
3,1940	0,1118	
3,2702	0,1178	
3,2793	0,1174	
3,3059	0,1195	
3,3465	0,1219	
3,4288	0,1274	
3,6921	0,1463	
3,7111	0,1389	
3,7870	0,1462	
3,7888	0,1522	
3,8996	0,1588	
3,9546	0,1605	
4,0757	0,1710	
4,1561	0,1753	
4,1925	0,1735	
4,3147	0,1978	
4,3989	0,1922	
4,5491	0,2075	
4,6049	0,2122	
4,6349	0,2092	
4,7354	0,2279	
4,8215	0,2366	
5,0309	0,2301	
5,0776	0,2533	
5,1364	0,2545	
5,1656	0,2660	
5,4839	0,3031	

Quadro 9E-Comparação: Perdas de Carga Experimentais(15%) c/ Equações Propostas x Velocidade escoamento horizontal

Velocidade (m/s)	Jh(5%) (m água)	Ajuste final(15%) (m água)
2,0000		0,0680
2,5000		0,0863
3,0000		0,1092
3,5000		0,1369
4,0000		0,1692
4,5000		0,2063
5,0000		0,2480
5,5000		0,2945
2,2584	0,0752	
2,3134	0,0771	
2,3423	0,0810	
2,3741	0,0811	
2,4030	0,0804	
2,5908	0,0913	
2,6348	0,0913	
2,6852	0,0963	
2,8745	0,1023	
2,9341	0,1051	
2,9842	0,1129	
3,1219	0,1162	
3,1921	0,1194	
3,2824	0,1212	
3,3822	0,1330	
3,3988	0,1349	
3,4732	0,1345	
3,6269	0,1406	
3,7247	0,1470	
3,9269	0,1675	
3,9395	0,1680	
3,9478	0,1633	
4,0335	0,1743	
4,1193	0,1701	
4,3727	0,1882	
4,3970	0,2075	
4,5385	0,2041	
4,6019	0,2208	
4,6083	0,2076	
4,6375	0,2135	
4,8625	0,2480	
4,9456	0,2370	
4,9573	0,2469	
4,9680	0,2420	
4,9748	0,2466	

Quadro 10E-Perdas de Carga Equação Proposta c/ Equação de Graf x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(5%)												
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	Graf(5,5) (m água)	Graf(11) (m água)	Graf(22,5) (m água)	Graf(34) (m água)	Graf(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)	
1,1476	0,0151	0,0244	0,0324	0,0485	0,0633	0,0758	0,0582	0,0640	0,0769	0,1036	0,1176	
1,7180	0,0316	0,0423	0,0502	0,0664	0,0812	0,0936	0,0633	0,0724	0,0900	0,1109	0,1283	
2,2840	0,0523	0,0648	0,0728	0,0889	0,1037	0,1161	0,0764	0,0879	0,1085	0,1246	0,1447	
2,8469	0,0787	0,0934	0,1013	0,1175	0,1323	0,1447	0,0973	0,1104	0,1322	0,1447	0,1666	
3,4334	0,1117	0,1292	0,1371	0,1533	0,1681	0,1805	0,1274	0,1414	0,1627	0,1724	0,1955	
3,9856	0,1465	0,1668	0,1748	0,1909	0,2057	0,2182	0,1637	0,1775	0,1967	0,2049	0,2283	
4,5594	0,1868	0,2105	0,2185	0,2346	0,2494	0,2619	0,2094	0,2224	0,2375	0,2451	0,2681	
5,0017	0,2192	0,2456	0,2536	0,2697	0,2845	0,2970	0,2503	0,2620	0,2728	0,2807	0,3027	
erro relativo=		0,1452	0,1436	0,1294	0,1214	0,1398						

Quadro 11E-Perdas de Carga Equação Proposta c/ Equação de Graf x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(10%)											
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	Graf(5,5) (m água)	Graf(11) (m água)	Graf(22,5) (m água)	Graf(34) (m água)	Graf(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)
1,1476	0,0151	0,0337	0,0497	0,0819	0,1116	0,1364	0,0518	0,0845	0,1408	0,1699	0,2116
1,7180	0,0316	0,0530	0,0689	0,1012	0,1308	0,1557	0,0689	0,0955	0,1437	0,1729	0,2102
2,2840	0,0523	0,0772	0,0932	0,1254	0,1551	0,1799	0,0901	0,1125	0,1545	0,1844	0,2183
2,8469	0,0787	0,1080	0,1240	0,1562	0,1859	0,2107	0,1155	0,1354	0,1730	0,2042	0,2356
3,4334	0,1117	0,1466	0,1626	0,1948	0,2244	0,2493	0,1463	0,1657	0,2007	0,2338	0,2636
3,9856	0,1465	0,1872	0,2031	0,2354	0,2650	0,2899	0,1796	0,2003	0,2344	0,2699	0,2992
4,5594	0,1868	0,2343	0,2502	0,2824	0,3121	0,3369	0,2183	0,2423	0,2774	0,3160	0,3457
5,0017	0,2192	0,2721	0,2880	0,3203	0,3499	0,3748	0,2512	0,2790	0,3162	0,3574	0,3881
erro relativo=		0,1235	0,1306	0,1330	0,1159	0,1302					

Quadro 12E-Perdas de Carga Equação Proposta c/ Equação de Graf x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(15%)											
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	Graf(5,5) (m água)	Graf(11) (m água)	Graf(22,5) (m água)	Graf(34) (m água)	Graf(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)
1,1476	0,0151	0,0430	0,0670	0,1153	0,1598	0,1971	0,0776	0,1453	0,1675	0,2391	0,2885
1,7180	0,0316	0,0637	0,0876	0,1360	0,1804	0,2177	0,0891	0,1407	0,1771	0,2414	0,2873
2,2840	0,0523	0,0897	0,1136	0,1620	0,2064	0,2437	0,1072	0,1462	0,1930	0,2505	0,2947
2,8469	0,0787	0,1227	0,1466	0,1950	0,2394	0,2767	0,1320	0,1616	0,2149	0,2662	0,3105
3,4334	0,1117	0,1640	0,1879	0,2363	0,2808	0,3180	0,1649	0,1880	0,2444	0,2897	0,3359
3,9856	0,1465	0,2076	0,2315	0,2799	0,3243	0,3616	0,2025	0,2227	0,2782	0,3185	0,3681
4,5594	0,1868	0,2580	0,2820	0,3303	0,3748	0,4121	0,2484	0,2688	0,3196	0,3552	0,4101
5,0017	0,2192	0,2985	0,3225	0,3708	0,4153	0,4526	0,2885	0,3113	0,3560	0,3882	0,4485
erro relativo=		0,1337	0,1697	0,1140	0,1294	0,1157					

Quadro 13E-Perdas de Carga Equação Proposta α/ Equação de Graf x Velocidade-escoamento descendente e concentração(5%)											
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	Graf(5,5) (m água)	Graf(11) (m água)	Graf(22,5) (m água)	Graf(34) (m água)	Graf(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)
1,1476	0,0151	0,0244	0,0324	0,0485	0,0633	0,0758	0,0241	0,0139	-0,0211	-0,0322	-0,0600
1,7180	0,0316	0,0423	0,0502	0,0664	0,0812	0,0936	0,0358	0,0271	-0,0013	-0,0161	-0,0387
2,2840	0,0523	0,0648	0,0728	0,0889	0,1037	0,1161	0,0548	0,0470	0,0232	0,0049	-0,0136
2,8469	0,0787	0,0934	0,1013	0,1175	0,1323	0,1447	0,0810	0,0733	0,0524	0,0306	0,0155
3,4334	0,1117	0,1291	0,1371	0,1532	0,1681	0,1805	0,1159	0,1078	0,0880	0,0625	0,0501
3,9856	0,1465	0,1669	0,1748	0,1910	0,2058	0,2182	0,1560	0,1469	0,1264	0,0974	0,0866
4,5594	0,1868	0,2105	0,2185	0,2346	0,2495	0,2619	0,2051	0,1942	0,1711	0,1386	0,1287
5,0017	0,2192	0,2456	0,2536	0,2697	0,2845	0,2970	0,2480	0,2353	0,2091	0,1737	0,1640
erro relativo=		0,0931	0,4725	0,9974	4,6136	2,8607					

Quadro 14E-Perdas de Carga Equação Proposta c/ Equação de Graf x Velocidade-escoamento descendente e concentração(10%)												
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	Graf(5,5) (m água)	Graf(11) (m água)	Graf(22,5) (m água)	Graf(34) (m água)	Graf(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)	
1,1476	0,0151	0,0337	0,0497	0,0819	0,1116	0,1364	0,0027	-0,0020	-0,0226			
1,7180	0,0316	0,0530	0,0689	0,1012	0,1308	0,1557	0,0246	0,0119	-0,0141			
2,2840	0,0523	0,0772	0,0932	0,1254	0,1551	0,1799	0,0504	0,0321	0,0021			
2,8469	0,0787	0,1080	0,1240	0,1562	0,1859	0,2107	0,0800	0,0586	0,0261			
3,4334	0,1117	0,1466	0,1625	0,1948	0,2244	0,2493	0,1152	0,0929	0,0595			
3,9856	0,1465	0,1872	0,2032	0,2354	0,2651	0,2899	0,1523	0,1316	0,0986			
4,5594	0,1868	0,2343	0,2502	0,2825	0,3121	0,3370	0,1949	0,1782	0,1472			
5,0017	0,2192	0,2721	0,2880	0,3203	0,3499	0,3748	0,2306	0,2186	0,1902			
2,2840										-0,0400	-0,0206	
2,8469										-0,0097	-0,0180	
3,4334										0,0283	0,0014	
3,9856										0,0701	0,0354	
4,5594										0,1199	0,0869	
5,0017										0,1625	0,1378	
erro relativo=		1,7834	1,4052	11,3401	3,1169	46,3969						

Quadro 15E-Perdas de Carga Equação Proposta c/ Equação de Graf x Velocidade-escoamento descendente e concentração(15%)												
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	Graf(5,5) (m água)	Graf(11) (m água)	Graf(22,5) (m água)	Graf(34) (m água)	Graf(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)	
1,1476	0,0151	0,0430	0,0670	0,1153	0,1598	0,1971	0,0213	0,0134	-0,0382			
1,7180	0,0316	0,0637	0,0876	0,1360	0,1804	0,2177	0,0345	0,0144	-0,0315			
2,2840	0,0523	0,0897	0,1136	0,1620	0,2064	0,2437	0,0548	0,0249	-0,0167			
2,8469	0,0787	0,1227	0,1466	0,1950	0,2394	0,2767	0,0821	0,0448	0,0061			
3,4334	0,1117	0,1640	0,1879	0,2363	0,2808	0,3180	0,1181	0,0756	0,0384			
3,9856	0,1465	0,2076	0,2315	0,2799	0,3243	0,3616	0,1590	0,1139	0,0767			
4,5594	0,1868	0,2580	0,2820	0,3303	0,3748	0,4121	0,2087	0,1634	0,1248			
5,0017	0,2192	0,2985	0,3225	0,3708	0,4153	0,4526	0,2521	0,2082	0,1675			
3,4334										-0,0067	-0,0031	
3,9856										0,0150	-0,0141	
4,5594										0,0556	0,0121	
5,0017										0,0995	0,0585	
erro relativo=		0,5143	2,1035	8,3335	9,8436	19,9103						

Quadro 16E-Perdas de Carga Equação Proposta c/ Equação de Graf x Velocidade escoamento horizontal e todas concentrações							
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	Graf(5%) (m água)	Graf(10%) (m água)	Graf(15%) (m água)	Ajuste final(5%) (m água)	Ajuste final(10%) (m água)	Ajuste final(15%) (m água)
1,1476	0,0151	0,0164	0,0176	0,0189	0,0295	0,0427	0,0477
1,7180	0,0316	0,0342	0,0369	0,0395	0,0430	0,0533	0,0598
2,2840	0,0523	0,0567	0,0611	0,0655	0,0621	0,0706	0,0778
2,8469	0,0787	0,0853	0,0919	0,0985	0,0868	0,0944	0,1017
3,4334	0,1117	0,1211	0,1305	0,1398	0,1185	0,1262	0,1329
3,9856	0,1465	0,1588	0,1711	0,1834	0,1540	0,1627	0,1682
4,5594	0,1868	0,2025	0,2182	0,2339	0,1966	0,2073	0,2110
5,0017	0,2192	0,2376	0,2560	0,2744	0,2334	0,2464	0,2482
erro relativo=		0,1066	0,1542	0,1861			

Quadro 17E-Perdas de Carga Equação Proposta c/ Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(5%)											
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	W&D(5,5) (m água)	W&D(11) (m água)	W&D(22,5) (m água)	W&D(34) (m água)	W&D(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)
1,1476	0,0151	0,0243	0,0321	0,0473	0,0605	0,0710	0,0582	0,0640	0,0769	0,1036	0,1176
1,7180	0,0316	0,0421	0,0496	0,0638	0,0753	0,0836	0,0633	0,0724	0,0900	0,1109	0,1283
2,2840	0,0523	0,0645	0,0717	0,0846	0,0940	0,0995	0,0764	0,0879	0,1085	0,1246	0,1447
2,8469	0,0787	0,0930	0,0998	0,1110	0,1177	0,1197	0,0973	0,1104	0,1322	0,1447	0,1666
3,4334	0,1117	0,1286	0,1349	0,1440	0,1474	0,1450	0,1274	0,1414	0,1627	0,1724	0,1955
3,9856	0,1465	0,1661	0,1719	0,1788	0,1786	0,1717	0,1637	0,1775	0,1967	0,2049	0,2283
4,5594	0,1868	0,2096	0,2148	0,2192	0,2148	0,2026	0,2094	0,2224	0,2375	0,2451	0,2681
5,0017	0,2192	0,2445	0,2492	0,2516	0,2439	0,2274	0,2503	0,2620	0,2728	0,2807	0,3027
erro relativo=		0,1455	0,1567	0,1773	0,2121	0,2922					

Quadro 18E-Perdas de Carga Equação Proposta c/ Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(10%)											
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	W&D(5,5) (m água)	W&D(11) (m água)	W&D(22,5) (m água)	W&D(34) (m água)	W&D(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)
1,1476	0,0151	0,0336	0,0494	0,0806	0,1086	0,1313	0,0518	0,0845	0,1408	0,1699	0,2116
1,7180	0,0316	0,0528	0,0682	0,0984	0,1245	0,1449	0,0689	0,0955	0,1437	0,1729	0,2102
2,2840	0,0523	0,0769	0,0921	0,1208	0,1446	0,1620	0,0901	0,1125	0,1545	0,1844	0,2183
2,8469	0,0787	0,1076	0,1223	0,1492	0,1701	0,1838	0,1155	0,1354	0,1730	0,2042	0,2356
3,4334	0,1117	0,1460	0,1602	0,1849	0,2021	0,2111	0,1463	0,1657	0,2007	0,2338	0,2636
3,9856	0,1465	0,1864	0,2000	0,2223	0,2358	0,2398	0,1796	0,2003	0,2344	0,2699	0,2992
4,5594	0,1868	0,2332	0,2462	0,2658	0,2748	0,2730	0,2183	0,2423	0,2774	0,3160	0,3457
5,0017	0,2192	0,2709	0,2833	0,3008	0,3062	0,2998	0,2512	0,2790	0,3162	0,3574	0,3881
erro relativo=		0,1232	0,1308	0,1650	0,1949	0,2505					

Quadro 19E-Perdas de Carga Equação Proposta c/ Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(15%)											
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	W&D(5,5) (m água)	W&D(11) (m água)	W&D(22,5) (m água)	W&D(34) (m água)	W&D(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)
1,1476	0,0151	0,0430	0,0666	0,1139	0,1566	0,1915	0,0776	0,1453	0,1675	0,2391	0,2885
1,7180	0,0316	0,0635	0,0869	0,1329	0,1737	0,2061	0,0891	0,1407	0,1771	0,2414	0,2873
2,2840	0,0523	0,0894	0,1124	0,1570	0,1952	0,2245	0,1072	0,1462	0,1930	0,2505	0,2947
2,8469	0,0787	0,1222	0,1448	0,1875	0,2226	0,2479	0,1320	0,1616	0,2149	0,2662	0,3105
3,4334	0,1117	0,1634	0,1854	0,2257	0,2569	0,2771	0,1649	0,1880	0,2444	0,2897	0,3359
3,9856	0,1465	0,2067	0,2281	0,2659	0,2929	0,3079	0,2025	0,2227	0,2782	0,3185	0,3681
4,5594	0,1868	0,2569	0,2776	0,3125	0,3348	0,3435	0,2484	0,2688	0,3196	0,3552	0,4101
5,0017	0,2192	0,2973	0,3174	0,3499	0,3684	0,3722	0,2885	0,3113	0,3560	0,3882	0,4485
erro relativo=		0,1336	0,1688	0,1305	0,1641	0,2162					

Quadro 20E-Perdas de Carga Equação Proposta c/ Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento descendente e concentração(5%)											
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	W&D(5,5) (m água)	W&D(11) (m água)	W&D(22,5) (m água)	W&D(34) (m água)	W&D(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)
1,1476	0,0151	0,0243	0,0321	0,0473	0,0605	0,0710	0,0241	0,0139	-0,0211	-0,0322	-0,0600
1,7180	0,0316	0,0421	0,0496	0,0638	0,0753	0,0836	0,0358	0,0271	-0,0013	-0,0161	-0,0387
2,2840	0,0523	0,0645	0,0717	0,0846	0,0940	0,0995	0,0548	0,0470	0,0232	0,0049	-0,0136
2,8469	0,0787	0,0930	0,0998	0,1110	0,1177	0,1197	0,0810	0,0733	0,0524	0,0306	0,0155
3,4334	0,1117	0,1286	0,1349	0,1440	0,1474	0,1450	0,1159	0,1078	0,0880	0,0625	0,0501
3,9856	0,1465	0,1661	0,1719	0,1788	0,1786	0,1717	0,1560	0,1469	0,1264	0,0974	0,0866
4,5594	0,1868	0,2096	0,2148	0,2192	0,2148	0,2026	0,2051	0,1942	0,1711	0,1386	0,1287
5,0017	0,2192	0,2445	0,2492	0,2516	0,2439	0,2274	0,2480	0,2353	0,2091	0,1737	0,1640
erro relativo=		0,0897	0,4517	0,8829	4,0227	2,1123					

Quadro 21E-Perdas de Carga Equação Proposta c/ Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento descendente e concentração(10%)											
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	W&D(5,5) (m água)	W&D(11) (m água)	W&D(22,5) (m água)	W&D(34) (m água)	W&D(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)
1,1476	0,0151	0,0336	0,0494	0,0806	0,1086	0,1313	0,0027	-0,0020	-0,0226		
1,7180	0,0316	0,0528	0,0682	0,0984	0,1245	0,1449	0,0246	0,0119	-0,0141		
2,2840	0,0523	0,0769	0,0921	0,1208	0,1446	0,1620	0,0504	0,0321	0,0021		
2,8469	0,0787	0,1076	0,1223	0,1492	0,1701	0,1838	0,0800	0,0586	0,0261		
3,4334	0,1117	0,1460	0,1602	0,1849	0,2021	0,2111	0,1152	0,0929	0,0595		
3,9856	0,1465	0,1864	0,2000	0,2223	0,2358	0,2398	0,1523	0,1316	0,0986		
4,5594	0,1868	0,2332	0,2462	0,2658	0,2748	0,2730	0,1949	0,1782	0,1472		
5,0017	0,2192	0,2709	0,2833	0,3008	0,3062	0,2998	0,2306	0,2186	0,1902		
2,2840										-0,0400	-0,0206
2,8469										-0,0097	-0,0180
3,4334										0,0283	0,0014
3,9856										0,0701	0,0354
4,5594										0,1199	0,0869
5,0017										0,1625	0,1378
erro relativo=	1,7749	1,3746	10,8462	2,6705	39,0280						

Quadro 22E-Perdas de Carga Equação Proposta c/ Equação de Worster & Denny x Velocidade-escoamento descendente e concentração(15%)												
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	W&D(5,5) (m água)	W&D(11) (m água)	W&D(22,5) (m água)	W&D(34) (m água)	W&D(45) (m água)	Ajuste final(5,5) (m água)	Ajuste final(11) (m água)	Ajuste final(22,5) (m água)	Ajuste final(34) (m água)	Ajuste final(45) (m água)	
1,1476	0,0151	0,0430	0,0666	0,1139	0,1566	0,1915	0,0213	0,0134	-0,0382			
1,7180	0,0316	0,0635	0,0869	0,1329	0,1737	0,2061	0,0345	0,0144	-0,0315			
2,2840	0,0523	0,0894	0,1124	0,1570	0,1952	0,2245	0,0548	0,0249	-0,0167			
2,8469	0,0787	0,1222	0,1448	0,1875	0,2226	0,2479	0,0821	0,0448	0,0061			
3,4334	0,1117	0,1634	0,1854	0,2257	0,2569	0,2771	0,1181	0,0756	0,0384			
3,9856	0,1465	0,2067	0,2281	0,2659	0,2929	0,3079	0,1590	0,1139	0,0767			
4,5594	0,1868	0,2569	0,2776	0,3125	0,3348	0,3435	0,2087	0,1634	0,1248			
5,0017	0,2192	0,2973	0,3174	0,3499	0,3684	0,3722	0,2521	0,2082	0,1675			
3,4334										-0,0067	-0,0031	
3,9856										0,0150	-0,0141	
4,5594										0,0556	0,0121	
5,0017										0,0995	0,0585	
erro relativo=		0,5091	2,3054	7,9420	8,7493	16,3894						

Quadro 23E-Perdas de Carga Equação Proposta c/ Equação de Worster & Denny x Velocidade escoamento horizontal e todas concentrações							
Velocidade (m/s)	Jag (m água)	W&D(5%) (m água)	W&D(10%) (m água)	W&D(15%) (m água)	Ajuste final(5%) (m água)	Ajuste final(10%) (m água)	Ajuste final(15%) (m água)
1,1476	0,0151	0,0164	0,0176	0,0189	0,0295	0,0427	0,0477
1,7180	0,0316	0,0342	0,0369	0,0395	0,0430	0,0533	0,0598
2,2840	0,0523	0,0567	0,0611	0,0655	0,0621	0,0706	0,0778
2,8469	0,0787	0,0853	0,0919	0,0985	0,0868	0,0944	0,1017
3,4334	0,1117	0,1211	0,1305	0,1398	0,1185	0,1262	0,1329
3,9856	0,1465	0,1588	0,1711	0,1834	0,1540	0,1627	0,1682
4,5594	0,1868	0,2025	0,2182	0,2339	0,1966	0,2073	0,2110
5,0017	0,2192	0,2376	0,2560	0,2744	0,2334	0,2464	0,2482
erro relativo=		0,1066	0,1542	0,1861			

Apêndice F

Quadro 1F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(5%)										
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(10) (m água)	Ja(15) (m água)	Ja(20) (m água)	Ja(25) (m água)	Ja(30) (m água)	Ja(35) (m água)	Ja(40) (m água)	Ja(45) (m água)	
2,0000	0,0688	0,0774	0,0862	0,0945	0,1025	0,1105	0,1186	0,1269	0,1358	
2,5000	0,0834	0,0935	0,1040	0,1130	0,1205	0,1267	0,1329	0,1407	0,1524	
3,0000	0,1043	0,1153	0,1267	0,1359	0,1427	0,1476	0,1524	0,1598	0,1736	
3,5000	0,1314	0,1429	0,1544	0,1632	0,1691	0,1730	0,1770	0,1842	0,1992	
4,0000	0,1648	0,1762	0,1870	0,1948	0,1998	0,2031	0,2067	0,2140	0,2292	
4,5000	0,2043	0,2153	0,2246	0,2308	0,2348	0,2377	0,2416	0,2492	0,2637	
5,0000	0,2501	0,2601	0,2671	0,2712	0,2740	0,2769	0,2817	0,2897	0,3026	
5,5000	0,3022	0,3107	0,3145	0,3159	0,3174	0,3208	0,3269	0,3356	0,3460	

Quadro 2F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(6%)										
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(10) (m água)	Ja(15) (m água)	Ja(20) (m água)	Ja(25) (m água)	Ja(30) (m água)	Ja(35) (m água)	Ja(40) (m água)	Ja(45) (m água)	
2,0000	0,0702	0,0803	0,0927	0,1043	0,1143	0,1225	0,1300	0,1387	0,1512	
2,5000	0,0866	0,0977	0,1101	0,1212	0,1303	0,1376	0,1445	0,1530	0,1664	
3,0000	0,1082	0,1201	0,1325	0,1429	0,1513	0,1580	0,1646	0,1732	0,1868	
3,5000	0,1351	0,1478	0,1598	0,1695	0,1772	0,1837	0,1903	0,1991	0,2125	
4,0000	0,1673	0,1806	0,1921	0,2010	0,2081	0,2146	0,2217	0,2309	0,2436	
4,5000	0,2047	0,2185	0,2293	0,2373	0,2440	0,2509	0,2588	0,2684	0,2800	
5,0000	0,2474	0,2616	0,2715	0,2784	0,2849	0,2924	0,3015	0,3117	0,3217	
5,5000	0,2954	0,3099	0,3186	0,3244	0,3307	0,3392	0,3498	0,3608	0,3687	

Quadro 3F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(7%)										
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(10) (m água)	Ja(15) (m água)	Ja(20) (m água)	Ja(25) (m água)	Ja(30) (m água)	Ja(35) (m água)	Ja(40) (m água)	Ja(45) (m água)	
2,0000	0,0719	0,0840	0,0993	0,1137	0,1254	0,1343	0,1419	0,1512	0,1667	
2,5000	0,0897	0,1021	0,1163	0,1293	0,1399	0,1485	0,1563	0,1658	0,1805	
3,0000	0,1121	0,1249	0,1383	0,1500	0,1599	0,1685	0,1768	0,1866	0,2002	
3,5000	0,1389	0,1526	0,1653	0,1761	0,1855	0,1943	0,2034	0,2136	0,2260	
4,0000	0,1702	0,1849	0,1973	0,2074	0,2166	0,2259	0,2360	0,2467	0,2579	
4,5000	0,2059	0,2220	0,2343	0,2439	0,2532	0,2634	0,2746	0,2861	0,2958	
5,0000	0,2462	0,2639	0,2763	0,2857	0,2954	0,3066	0,3193	0,3315	0,3397	
5,5000	0,2909	0,3104	0,3233	0,3328	0,3431	0,3557	0,3701	0,3832	0,3897	

Quadro 4F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(8%)										
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(10) (m água)	Ja(15) (m água)	Ja(20) (m água)	Ja(25) (m água)	Ja(30) (m água)	Ja(35) (m água)	Ja(40) (m água)	Ja(45) (m água)	
2,0000	0,0739	0,0882	0,1062	0,1228	0,1360	0,1459	0,1542	0,1645	0,1822	
2,5000	0,0929	0,1067	0,1227	0,1372	0,1494	0,1594	0,1685	0,1791	0,1947	
3,0000	0,1158	0,1297	0,1442	0,1573	0,1687	0,1791	0,1891	0,2001	0,2139	
3,5000	0,1426	0,1572	0,1709	0,1829	0,1940	0,2049	0,2161	0,2277	0,2397	
4,0000	0,1733	0,1892	0,2027	0,2141	0,2252	0,2370	0,2494	0,2617	0,2721	
4,5000	0,2079	0,2258	0,2395	0,2508	0,2623	0,2752	0,2891	0,3022	0,3112	
5,0000	0,2464	0,2668	0,2815	0,2932	0,3054	0,3196	0,3352	0,3492	0,3568	
5,5000	0,2887	0,3123	0,3285	0,3411	0,3544	0,3703	0,3876	0,4026	0,4091	

Quadro 5F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(9%)										
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(10) (m água)	Ja(15) (m água)	Ja(20) (m água)	Ja(25) (m água)	Ja(30) (m água)	Ja(35) (m água)	Ja(40) (m água)	Ja(45) (m água)	
2,0000	0,0763	0,0931	0,1132	0,1314	0,1461	0,1573	0,1669	0,1785	0,1976	
2,5000	0,0961	0,1116	0,1291	0,1451	0,1588	0,1703	0,1809	0,1927	0,2092	
3,0000	0,1195	0,1345	0,1502	0,1646	0,1776	0,1897	0,2014	0,2137	0,2278	
3,5000	0,1464	0,1618	0,1765	0,1899	0,2027	0,2155	0,2285	0,2414	0,2535	
4,0000	0,1767	0,1936	0,2081	0,2210	0,2339	0,2478	0,2621	0,2758	0,2862	
4,5000	0,2106	0,2298	0,2449	0,2579	0,2714	0,2864	0,3023	0,3169	0,3260	
5,0000	0,2480	0,2704	0,2870	0,3007	0,3150	0,3314	0,3491	0,3647	0,3729	
5,5000	0,2889	0,3154	0,3343	0,3492	0,3648	0,3829	0,4024	0,4193	0,4268	

Quadro 6F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(10%)										
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(10) (m água)	Ja(15) (m água)	Ja(20) (m água)	Ja(25) (m água)	Ja(30) (m água)	Ja(35) (m água)	Ja(40) (m água)	Ja(45) (m água)	
2,0000	0,0790	0,0987	0,1204	0,1397	0,1556	0,1684	0,1799	0,1933	0,2131	
2,5000	0,0994	0,1167	0,1356	0,1528	0,1680	0,1812	0,1935	0,2069	0,2238	
3,0000	0,1231	0,1392	0,1562	0,1720	0,1866	0,2004	0,2137	0,2273	0,2420	
3,5000	0,1501	0,1663	0,1822	0,1971	0,2116	0,2261	0,2406	0,2546	0,2675	
4,0000	0,1805	0,1979	0,2137	0,2281	0,2428	0,2583	0,2741	0,2889	0,3003	
4,5000	0,2141	0,2340	0,2506	0,2652	0,2804	0,2969	0,3142	0,3300	0,3404	
5,0000	0,2511	0,2747	0,2929	0,3082	0,3242	0,3420	0,3610	0,3781	0,3880	
5,5000	0,2913	0,3199	0,3407	0,3573	0,3743	0,3936	0,4144	0,4330	0,4428	

Quadro 7F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(11%)										
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(10) (m água)	Ja(15) (m água)	Ja(20) (m água)	Ja(25) (m água)	Ja(30) (m água)	Ja(35) (m água)	Ja(40) (m água)	Ja(45) (m água)	
2,0000	0,0820	0,1050	0,1279	0,1476	0,1645	0,1793	0,1934	0,2089	0,2285	
2,5000	0,1026	0,1220	0,1422	0,1605	0,1770	0,1920	0,2064	0,2215	0,2387	
3,0000	0,1266	0,1439	0,1622	0,1795	0,1957	0,2112	0,2261	0,2410	0,2564	
3,5000	0,1539	0,1706	0,1879	0,2045	0,2207	0,2367	0,2524	0,2675	0,2815	
4,0000	0,1845	0,2022	0,2194	0,2356	0,2519	0,2685	0,2853	0,3011	0,3142	
4,5000	0,2184	0,2385	0,2565	0,2727	0,2893	0,3068	0,3248	0,3417	0,3544	
5,0000	0,2556	0,2797	0,2992	0,3159	0,3329	0,3514	0,3710	0,3893	0,4020	
5,5000	0,2961	0,3257	0,3477	0,3652	0,3827	0,4024	0,4238	0,4439	0,4572	

Quadro 8F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(12%)										
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(10) (m água)	Ja(15) (m água)	Ja(20) (m água)	Ja(25) (m água)	Ja(30) (m água)	Ja(35) (m água)	Ja(40) (m água)	Ja(45) (m água)	
2,0000	0,0853	0,1118	0,1354	0,1551	0,1728	0,1899	0,2073	0,2253	0,2439	
2,5000	0,1059	0,1276	0,1489	0,1681	0,1859	0,2029	0,2196	0,2365	0,2537	
3,0000	0,1301	0,1486	0,1683	0,1871	0,2049	0,2220	0,2385	0,2547	0,2710	
3,5000	0,1577	0,1749	0,1937	0,2121	0,2300	0,2472	0,2639	0,2800	0,2958	
4,0000	0,1888	0,2065	0,2252	0,2433	0,2610	0,2785	0,2957	0,3124	0,3281	
4,5000	0,2235	0,2433	0,2625	0,2804	0,2981	0,3160	0,3341	0,3518	0,3678	
5,0000	0,2616	0,2854	0,3059	0,3237	0,3411	0,3596	0,3790	0,3983	0,4151	
5,5000	0,3033	0,3328	0,3553	0,3730	0,3902	0,4093	0,4304	0,4519	0,4699	

Quadro 9F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(13%)										
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(10) (m água)	Ja(15) (m água)	Ja(20) (m água)	Ja(25) (m água)	Ja(30) (m água)	Ja(35) (m água)	Ja(40) (m água)	Ja(45) (m água)	
2,0000	0,0890	0,1194	0,1432	0,1623	0,1806	0,2004	0,2216	0,2425	0,2592	
2,5000	0,1092	0,1334	0,1557	0,1756	0,1946	0,2138	0,2331	0,2519	0,2689	
3,0000	0,1334	0,1533	0,1745	0,1948	0,2142	0,2329	0,2509	0,2685	0,2858	
3,5000	0,1615	0,1790	0,1996	0,2200	0,2395	0,2577	0,2750	0,2921	0,3102	
4,0000	0,1934	0,2107	0,2311	0,2512	0,2704	0,2883	0,3054	0,3227	0,3418	
4,5000	0,2293	0,2483	0,2689	0,2884	0,3069	0,3246	0,3421	0,3604	0,3808	
5,0000	0,2691	0,2918	0,3130	0,3315	0,3490	0,3665	0,3851	0,4052	0,4272	
5,5000	0,3127	0,3412	0,3634	0,3806	0,3967	0,4142	0,4344	0,4571	0,4809	

Quadro 10F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(14%)										
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(10) (m água)	Ja(15) (m água)	Ja(20) (m água)	Ja(25) (m água)	Ja(30) (m água)	Ja(35) (m água)	Ja(40) (m água)	Ja(45) (m água)	
2,0000	0,0930	0,1276	0,1512	0,1691	0,1879	0,2106	0,2363	0,2604	0,2746	
2,5000	0,1126	0,1394	0,1626	0,1829	0,2032	0,2246	0,2468	0,2678	0,2842	
3,0000	0,1367	0,1579	0,1807	0,2026	0,2236	0,2439	0,2633	0,2823	0,3009	
3,5000	0,1653	0,1831	0,2055	0,2281	0,2492	0,2682	0,2858	0,3037	0,3247	
4,0000	0,1984	0,2150	0,2371	0,2594	0,2798	0,2978	0,3143	0,3321	0,3555	
4,5000	0,2359	0,2536	0,2754	0,2965	0,3155	0,3324	0,3488	0,3675	0,3933	
5,0000	0,2780	0,2989	0,3204	0,3395	0,3564	0,3723	0,3892	0,4099	0,4383	
5,5000	0,3245	0,3510	0,3722	0,3882	0,4023	0,4173	0,4356	0,4593	0,4902	

Quadro 11F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento ascendente e concentração(15%)										
Velocidade (m/s)	Ja(5,5) (m água)	Ja(10) (m água)	Ja(15) (m água)	Ja(20) (m água)	Ja(25) (m água)	Ja(30) (m água)	Ja(35) (m água)	Ja(40) (m água)	Ja(45) (m água)	
2,0000	0,0973	0,1364	0,1593	0,1754	0,1946	0,2205	0,2513	0,2791	0,2900	
2,5000	0,1160	0,1456	0,1695	0,1902	0,2117	0,2355	0,2608	0,2842	0,2998	
3,0000	0,1399	0,1625	0,1869	0,2105	0,2332	0,2549	0,2758	0,2962	0,3163	
3,5000	0,1691	0,1870	0,2115	0,2364	0,2591	0,2787	0,2964	0,3150	0,3393	
4,0000	0,2036	0,2193	0,2432	0,2679	0,2894	0,3070	0,3225	0,3406	0,3690	
4,5000	0,2433	0,2592	0,2822	0,3049	0,3242	0,3397	0,3541	0,3732	0,4054	
5,0000	0,2883	0,3067	0,3282	0,3475	0,3633	0,3768	0,3913	0,4125	0,4483	
5,5000	0,3386	0,3620	0,3815	0,3956	0,4069	0,4184	0,4341	0,4588	0,4979	

Quadro 12F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(5%)										
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(10) (m água)	Jd(15) (m água)	Jd(20) (m água)	Jd(25) (m água)	Jd(30) (m água)	Jd(35) (m água)	Jd(40) (m água)	Jd(45) (m água)	
2.0000	0,0444	0,0382	0,0271	0,0155	0,0057	-0,0016	-0,0074	-0,0143	-0,0267	
2.5000	0,0640	0,0580	0,0488	0,0388	0,0291	0,0204	0,0127	0,0054	-0,0029	
3.0000	0,0894	0,0832	0,0752	0,0661	0,0562	0,0461	0,0366	0,0288	0,0241	
3.5000	0,1204	0,1137	0,1062	0,0974	0,0870	0,0755	0,0644	0,0562	0,0543	
4.0000	0,1572	0,1495	0,1418	0,1328	0,1215	0,1086	0,0960	0,0874	0,0876	
4.5000	0,1997	0,1907	0,1821	0,1722	0,1597	0,1453	0,1315	0,1225	0,1241	
5.0000	0,2479	0,2372	0,2271	0,2156	0,2016	0,1858	0,1709	0,1614	0,1638	
5.5000	0,3018	0,2891	0,2766	0,2630	0,2472	0,2299	0,2140	0,2041	0,2067	

Quadro 13F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(6%)									
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(10) (m água)	Jd(15) (m água)	Jd(20) (m água)	Jd(25) (m água)	Jd(30) (m água)	Jd(35) (m água)	Jd(40) (m água)	Jd(45) (m água)
2,0000	0,0418	0,0340	0,0245	0,0132	0,0001	-0,0140	-0,0274	-0,0373	-0,0403
2,5000	0,0630	0,0548	0,0453	0,0347	0,0227	0,0100	-0,0022	-0,0123	-0,0175
3,0000	0,0890	0,0806	0,0710	0,0607	0,0495	0,0377	0,0262	0,0163	0,0097
3,5000	0,1199	0,1113	0,1017	0,0915	0,0805	0,0691	0,0580	0,0482	0,0413
4,0000	0,1555	0,1470	0,1373	0,1269	0,1158	0,1042	0,0931	0,0836	0,0774
4,5000	0,1960	0,1876	0,1778	0,1670	0,1552	0,1430	0,1315	0,1224	0,1179
5,0000	0,2413	0,2332	0,2233	0,2118	0,1988	0,1854	0,1732	0,1647	0,1628
5,5000	0,2914	0,2838	0,2737	0,2612	0,2467	0,2316	0,2183	0,2103	0,2122

Quadro 14F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(7%)										
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(10) (m água)	Jd(15) (m água)	Jd(20) (m água)	Jd(25) (m água)	Jd(30) (m água)	Jd(35) (m água)	Jd(40) (m água)	Jd(45) (m água)	
2,0000	0,0397	0,0304	0,0218	0,0107	-0,0049	-0,0239	-0,0422	-0,0529	-0,0460	
2,5000	0,0622	0,0518	0,0418	0,0305	0,0168	0,0012	-0,0142	-0,0253	-0,0267	
3,0000	0,0888	0,0780	0,0669	0,0556	0,0432	0,0301	0,0170	0,0057	-0,0014	
3,5000	0,1195	0,1089	0,0973	0,0858	0,0743	0,0628	0,0514	0,0403	0,0298	
4,0000	0,1543	0,1444	0,1328	0,1213	0,1101	0,0993	0,0889	0,0784	0,0671	
4,5000	0,1932	0,1846	0,1736	0,1620	0,1505	0,1397	0,1295	0,1199	0,1104	
5,0000	0,2362	0,2296	0,2196	0,2079	0,1957	0,1838	0,1733	0,1650	0,1597	
5,5000	0,2833	0,2792	0,2707	0,2590	0,2455	0,2318	0,2203	0,2136	0,2150	

Quadro 15F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(8%)										
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(10) (m água)	Jd(15) (m água)	Jd(20) (m água)	Jd(25) (m água)	Jd(30) (m água)	Jd(35) (m água)	Jd(40) (m água)	Jd(45) (m água)	
2,0000	0,0382	0,0274	0,0191	0,0079	-0,0094	-0,0312	-0,0518	-0,0609	-0,0438	
2,5000	0,0617	0,0491	0,0383	0,0264	0,0114	-0,0061	-0,0231	-0,0339	-0,0304	
3,0000	0,0887	0,0754	0,0629	0,0506	0,0373	0,0231	0,0091	-0,0028	-0,0092	
3,5000	0,1193	0,1063	0,0929	0,0804	0,0684	0,0565	0,0446	0,0324	0,0199	
4,0000	0,1536	0,1417	0,1285	0,1159	0,1045	0,0939	0,0834	0,0717	0,0569	
4,5000	0,1914	0,1817	0,1695	0,1572	0,1457	0,1354	0,1256	0,1151	0,1018	
5,0000	0,2328	0,2263	0,2159	0,2040	0,1921	0,1810	0,1712	0,1625	0,1545	
5,5000	0,2777	0,2754	0,2678	0,2566	0,2436	0,2307	0,2201	0,2141	0,2151	

Quadro 16F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(9%)										
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(10) (m água)	Jd(15) (m água)	Jd(20) (m água)	Jd(25) (m água)	Jd(30) (m água)	Jd(35) (m água)	Jd(40) (m água)	Jd(45) (m água)	
2,0000	0,0373	0,0250	0,0164	0,0047	-0,0134	-0,0361	-0,0562	-0,0614	-0,0338	
2,5000	0,0614	0,0466	0,0348	0,0222	0,0065	-0,0118	-0,0289	-0,0379	-0,0287	
3,0000	0,0887	0,0728	0,0589	0,0457	0,0318	0,0169	0,0023	-0,0092	-0,0136	
3,5000	0,1193	0,1036	0,0887	0,0753	0,0626	0,0502	0,0375	0,0246	0,0116	
4,0000	0,1532	0,1390	0,1242	0,1109	0,0990	0,0879	0,0767	0,0636	0,0467	
4,5000	0,1904	0,1789	0,1654	0,1525	0,1408	0,1302	0,1197	0,1078	0,0919	
5,0000	0,2308	0,2233	0,2123	0,2002	0,1882	0,1770	0,1668	0,1571	0,1471	
5,5000	0,2746	0,2724	0,2650	0,2539	0,2410	0,2282	0,2177	0,2116	0,2123	

Quadro 17F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(10%)											
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(10) (m água)	Jd(15) (m água)	Jd(20) (m água)	Jd(25) (m água)	Jd(30) (m água)	Jd(35) (m água)	Jd(40) (m água)	Jd(45) (m água)		
2,0000	0,0369	0,0232	0,0136	0,0013	-0,0168	-0,0384	-0,0554	-0,0544			
2,5000	0,0613	0,0444	0,0312	0,0180	0,0020	-0,0160	-0,0317	-0,0374			
3,0000	0,0888	0,0703	0,0549	0,0411	0,0267	0,0114	-0,0032	-0,0136			
3,5000	0,1195	0,1008	0,0844	0,0704	0,0572	0,0439	0,0303	0,0169			
4,0000	0,1533	0,1361	0,1199	0,1061	0,0936	0,0814	0,0687	0,0541			
4,5000	0,1903	0,1761	0,1614	0,1480	0,1358	0,1240	0,1119	0,0981			
5,0000	0,2305	0,2208	0,2088	0,1963	0,1838	0,1717	0,1601	0,1488			
5,5000	0,2738	0,2702	0,2622	0,2509	0,2377	0,2244	0,2131	0,2063			
2,0000									-0,0159		
2,5000									-0,0215		
3,0000									-0,0146		
3,5000									0,0047		
4,0000									0,0365		
4,5000									0,0808		
5,0000									0,1376		
5,5000									0,2069		

Quadro 18F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(11%)											
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(10) (m água)	Jd(15) (m água)	Jd(20) (m água)	Jd(25) (m água)	Jd(30) (m água)	Jd(35) (m água)	Jd(40) (m água)	Jd(45) (m água)		
2,0000	0,0372	0,0221	0,0107	-0,0024	-0,0197	-0,0381	-0,0494	-0,0398			
2,5000	0,0614	0,0424	0,0277	0,0139	-0,0019	-0,0186	-0,0315	-0,0323			
3,0000	0,0890	0,0676	0,0509	0,0366	0,0220	0,0066	-0,0075	-0,0160			
3,5000	0,1198	0,0979	0,0803	0,0658	0,0520	0,0376	0,0229	0,0092			
4,0000	0,1538	0,1332	0,1158	0,1015	0,0882	0,0744	0,0594	0,0431			
4,5000	0,1911	0,1734	0,1575	0,1437	0,1306	0,1169	0,1021	0,0859			
5,0000	0,2317	0,2186	0,2054	0,1924	0,1790	0,1652	0,1511	0,1376			
5,5000	0,2754	0,2688	0,2594	0,2475	0,2337	0,2192	0,2062	0,1981			
2,5000									-0,0088		
3,0000									-0,0123		
3,5000									-0,0006		
4,0000									0,0264		
4,5000									0,0686		
5,0000									0,1260		
5,5000									0,1986		

Quadro 19F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(12%)											
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(10) (m água)	Jd(15) (m água)	Jd(20) (m água)	Jd(25) (m água)	Jd(30) (m água)	Jd(35) (m água)	Jd(40) (m água)	Jd(45) (m água)		
2,0000	0,0379	0,0215	0,0078	-0,0064	-0,0220	-0,0354	-0,0382				
2,5000	0,0618	0,0406	0,0242	0,0097	-0,0054	-0,0197	-0,0283				
3,0000	0,0893	0,0650	0,0470	0,0323	0,0176	0,0026	-0,0105				
3,5000	0,1203	0,0949	0,0762	0,0615	0,0471	0,0314	0,0152				
4,0000	0,1548	0,1301	0,1117	0,0973	0,0829	0,0668	0,0488				
4,5000	0,1928	0,1707	0,1536	0,1396	0,1252	0,1088	0,0904				
5,0000	0,2344	0,2167	0,2020	0,1885	0,1739	0,1574	0,1398				
5,5000	0,2795	0,2681	0,2567	0,2439	0,2290	0,2126	0,1972				
3,0000								-0,0163	-0,0066		
3,5000								0,0015	-0,0043		
4,0000								0,0308	0,0163		
4,5000								0,0714	0,0551		
5,0000								0,1235	0,1123		
5,5000								0,1869	0,1877		

Quadro 20F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(13%)											
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(10) (m água)	Jd(15) (m água)	Jd(20) (m água)	Jd(25) (m água)	Jd(30) (m água)	Jd(35) (m água)	Jd(40) (m água)	Jd(45) (m água)		
2,0000	0,0393	0,0215	0,0048	-0,0107	-0,0238	-0,0301					
2,5000	0,0625	0,0390	0,0206	0,0054	-0,0084	-0,0192					
3,0000	0,0897	0,0624	0,0431	0,0282	0,0137	-0,0008					
3,5000	0,1209	0,0918	0,0721	0,0574	0,0424	0,0252					
4,0000	0,1561	0,1270	0,1077	0,0933	0,0778	0,0587					
4,5000	0,1954	0,1682	0,1499	0,1356	0,1197	0,0998					
5,0000	0,2387	0,2153	0,1986	0,1845	0,1683	0,1484					
5,5000	0,2860	0,2683	0,2540	0,2400	0,2236	0,2046					
3,5000								-0,0061	-0,0065		
4,0000								0,0170	0,0062		
4,5000								0,0545	0,0405		
5,0000								0,1065	0,0964		
5,5000								0,1729	0,1739		
3,0000							-0,0123				
3,5000							0,0074				
4,0000							0,0370				
4,5000							0,0767				
5,0000							0,1263				
5,5000							0,1859				

Quadro 21F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(14%)											
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(10) (m água)	Jd(15) (m água)	Jd(20) (m água)	Jd(25) (m água)	Jd(30) (m água)	Jd(35) (m água)	Jd(40) (m água)	Jd(45) (m água)		
2,0000	0,0412	0,0222	0,0017	-0,0153	-0,0251	-0,0222					
2,5000	0,0634	0,0377	0,0171	0,0012	-0,0109	-0,0171					
3,0000	0,0902	0,0598	0,0392	0,0242	0,0102	-0,0034					
3,5000	0,1217	0,0885	0,0681	0,0536	0,0380	0,0190					
4,0000	0,1579	0,1238	0,1038	0,0895	0,0727	0,0501					
4,5000	0,1989	0,1657	0,1462	0,1318	0,1141	0,0898					
5,0000	0,2445	0,2142	0,1954	0,1806	0,1624	0,1382					
5,5000	0,2949	0,2692	0,2513	0,2358	0,2174	0,1953					
3,5000								-0,0136	-0,0072		
4,0000								0,0017	-0,0039		
4,5000								0,0351	0,0246		
5,0000								0,0865	0,0784		
5,5000								0,1561	0,1575		
3,5000							-0,0007				
4,0000							0,0240				
4,5000							0,0610				
5,0000							0,1105				
5,5000							0,1724				

Quadro 22F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento descendente e concentração(15%)										
Velocidade (m/s)	Jd(5,5) (m água)	Jd(10) (m água)	Jd(15) (m água)	Jd(20) (m água)	Jd(25) (m água)	Jd(30) (m água)	Jd(35) (m água)	Jd(40) (m água)	Jd(45) (m água)	
2,0000	0,0437	0,0235	-0,0013	-0,0202	-0,0258					
2,5000	0,0645	0,0366	0,0136	-0,0030	-0,0129					
3,0000	0,0908	0,0572	0,0354	0,0204	0,0070					
3,5000	0,1227	0,0851	0,0642	0,0501	0,0339					
4,0000	0,1602	0,1205	0,0999	0,0861	0,0676					
4,5000	0,2033	0,1633	0,1426	0,1282	0,1084					
5,0000	0,2519	0,2134	0,1922	0,1766	0,1560					
5,5000	0,3062	0,2710	0,2488	0,2313	0,2106					
3,0000						-0,0053	-0,0123	-0,0050		
3,5000						0,0128	-0,0090	-0,0210		
4,0000						0,0409	0,0096	-0,0150		
4,5000						0,0789	0,0434	0,0133		
5,0000						0,1268	0,0925	0,0637		
5,5000						0,1846	0,1567	0,1363		
4,0000									-0,0140	
4,5000									0,0076	
5,0000									0,0583	
5,5000									0,1382	

Quadro 23F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento horizontal e concentrações (5%, 7%, 9%, 11%, 13%, 15% e 15%)								
Velocidade (m/s)	Jh(5%) (m água)	Jh(7%) (m água)	Jh(9%) (m água)	Jh(11%) (m água)	Jh(13%) (m água)	Jh(15%) (m água)		
2,0000	0,0518	0,0558	0,0594	0,0627	0,0655	0,0680		
2,5000	0,0709	0,0742	0,0774	0,0805	0,0834	0,0863		
3,0000	0,0945	0,0975	0,1005	0,1035	0,1064	0,1092		
3,5000	0,1225	0,1258	0,1288	0,1317	0,1343	0,1369		
4,0000	0,1550	0,1589	0,1622	0,1651	0,1674	0,1692		
4,5000	0,1919	0,1969	0,2008	0,2037	0,2055	0,2063		
5,0000	0,2333	0,2398	0,2445	0,2474	0,2486	0,2480		
5,5000	0,2791	0,2876	0,2934	0,2964	0,2968	0,2945		

Quadro 24F-Perdas de Carga Equação Proposta x Velocidade-escoamento horizontal e concentrações de 6%, 8%, 10%, 12% e 14%					
Velocidade (m/s)	Jh(6%) (m água)	Jh(8%) (m água)	Jh(10%) (m água)	Jh(12%) (m água)	Jh(14%) (m água)
2,0000	0,0539	0,0577	0,0611	0,0641	0,0668
2,5000	0,0726	0,0758	0,0790	0,0820	0,0848
3,0000	0,0960	0,0990	0,1020	0,1049	0,1078
3,5000	0,1242	0,1273	0,1303	0,1330	0,1356
4,0000	0,1570	0,1606	0,1637	0,1663	0,1684
4,5000	0,1945	0,1990	0,2024	0,2047	0,2060
5,0000	0,2368	0,2424	0,2462	0,2483	0,2485
5,5000	0,2837	0,2908	0,2953	0,2970	0,2960

Apêndice G

