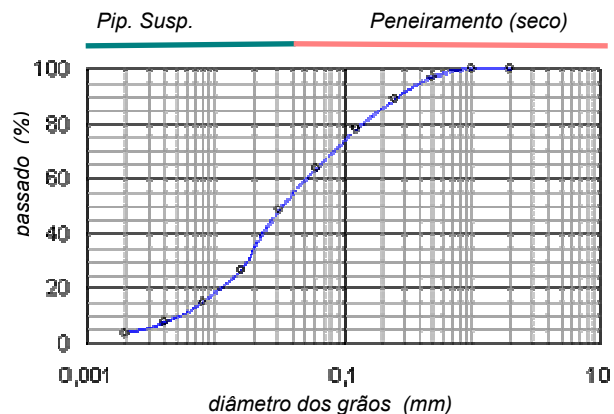


**Tabela A9 - Faixa
Granulométrica 20/09/04
(3ºEvento)**

ϕ mm	% < ϕ
2	100,0
1	99,7
0,5	97,3
0,25	88,8
0,125	78,2
0,062	63,8
0,031	48,8
0,016	27,1
0,008	15,4
0,004	8,0
0,002	4,0



**Figura A9 - Curva Granulométrica 20/09/04
(3ºEvento)**

**Tabela A10 - Faixa
Granulométrica 16/10/04**

ϕ mm	% < ϕ
2	100,0
1	100,0
0,5	100,0
0,25	98,4
0,125	95,1
0,062	88,7
0,0442	62,5
0,0312	51,1
0,0221	40,7
0,0156	31,8
0,0110	24,5
0,0078	18,9
0,0055	14,5
0,0039	11,2

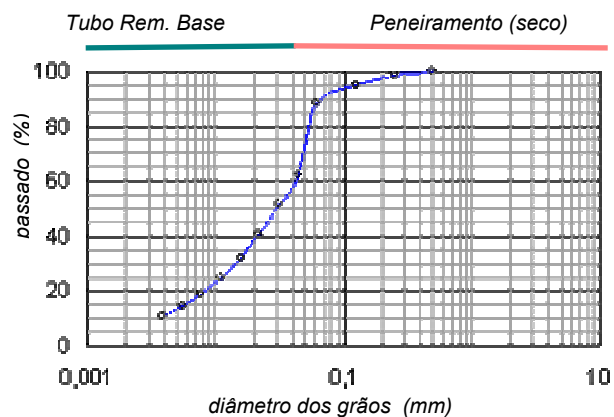
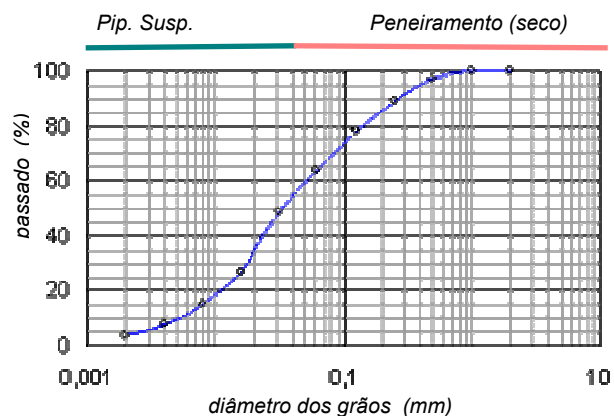


Figura A10 - Curva Granulométrica 16/10/04

**Tabela A11 - Faixa
Granulométrica 09/11/04
(1ºEvento)**

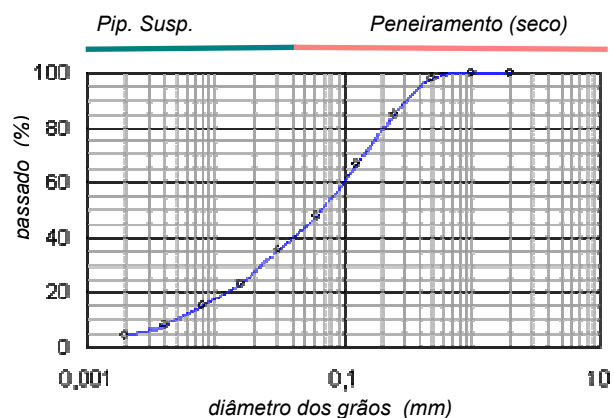
ϕ mm	% < ϕ
2	100,0
1	99,7
0,5	97,3
0,25	88,8
0,125	78,2
0,062	63,8
0,031	48,8
0,016	27,1
0,008	15,4
0,004	8,0
0,002	4,0



**Figura A11 - Curva Granulométrica 09/11/04
(1ºEvento)**

**Tabela A12 - Faixa
Granulométrica 09/11/04
(2ºEvento)**

ϕ mm	% < ϕ
2	100,0
1	99,9
0,5	98,0
0,25	84,9
0,125	66,6
0,062	47,5
0,031	35,8
0,016	23,5
0,008	14,9
0,004	8,1
0,002	4,3



**Figura A12 - Curva Granulométrica 09/11/04
(2ºEvento)**

ANEXO B – EXEMPLO DE CÁLCULO PARA OS MÉTODOS DE COLBY (1957), ENGELUND E HANSEN (1967), YANG (1973), ACKERS E WHITE (1973), VAN RIJN (1984), KARIM (1998) E CHENG (2002), USANDO COMO EXEMPLO O EVENTO DO DIA 15/12/2003.

Evento dia 15/12/2003

$$Q = 13,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = 11,41 \text{ m}^2$$

$$B = 5,35 \text{ m}$$

$$C = 1183,33 \text{ mg/L}$$

$$U = 1,15 \text{ m/s}$$

$$d = 2,215 \text{ m}$$

$$D_{90} = 2,4 \text{ mm}$$

$$D_{84} = 1,2 \text{ mm}$$

$$D_{65} = 0,65 \text{ mm}$$

$$D_{50} = 0,5 \text{ mm}$$

$$D_{35} = 0,35 \text{ mm}$$

$$D_{16} = 0,2 \text{ mm}$$

$$R_h = 1,71 \text{ m}$$

$$S = 0,00316 \text{ m/m}$$

$$D_m = 1,06 \text{ mm}$$

$$\alpha = 10$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\nu = 0,00000102 \text{ m}^2/\text{s}$$

B1 - Método de Colby (1957)

$$Q_{sm} = 0,0864 * Q * C's = 1339,34 \text{ ton/dia}$$

$$\log q_{nm} = 3,432 * \log U + 1,6004 = 64,37 \text{ ton/dia/m}$$

$$\log C_r = A * \log U + B = 820,58 \text{ mg/L}$$

$$e = \frac{C's}{C_r} = 1,44$$

$$\log K = 0,4732 \cdot \log\left(\frac{C's}{Cr}\right) + 0,0753 = 1,41$$

$$Q_{nm} = q_{nm} \cdot B \cdot K = 487,08 \text{ ton/dia}$$

$$Q_{st} = Q_{sm} + Q_{nm} = 1826,42 \text{ ton/dia}$$

B2 - Método de Engelund e Hansen (1967)

$$\tau_0 = \gamma \cdot R_h \cdot S = 5,40 \text{ kgf/m}^2$$

$$g_s = 0,05 \cdot \gamma_s \cdot U^2 \left[\frac{D_{50}}{g(\gamma_s/\gamma - 1)} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) D_{50}} \right]^{\frac{3}{2}} = 16,31 \text{ kgf/m.s}$$

$$Q_t = g_s \cdot B \cdot 86400/1000 = 7541,53 \text{ ton/dia}$$

B3 - Método de Yang (1973)

$$U^* = (9,81 \cdot R_h \cdot S)^{0,5} = 0,23 \text{ m/s}$$

$$W = \frac{\left[\frac{2}{3} \cdot g \cdot \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) \cdot D_i^3 + 36 \cdot v^2 \right]^{(1/2)} - 6 \cdot v}{D_i} = 0,10 \text{ m/s}$$

$$\frac{U^* \cdot D}{v} = 239,27$$

$$\frac{U_c}{W} = 2,05 \text{ para } 70 < \frac{U^* \cdot D}{v}$$

$$\log CT = 5,435 - 0,286 \cdot \log\left(\frac{W \cdot D}{v}\right) - 0,457 \cdot \log\left(\frac{U^*}{W}\right) +$$

$$+ \left(1,799 - 0,409 \cdot \log\left(\frac{W \cdot D}{v}\right) - 0,314 \cdot \log\left(\frac{U^*}{W}\right) \right) \cdot \log\left(\frac{U \cdot S}{W} - \frac{U_c \cdot S}{W}\right)$$

$$CT = 2379,16 \text{ ppm}$$

$$Q_t = 0,0864 \cdot Q \cdot CT = 2692,82 \text{ ton/dia}$$

B4 - Método de Ackers e White (1973)

$$U^* = (9,81 \cdot R_h \cdot S)^{0,5} = 0,26 \text{ m/s}$$

$$D_{gr} = D_{35} \left[\frac{g(s-1)}{v^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 8,74$$

$$F_{gr} = \frac{U_*^n}{\sqrt{gD_{35}(s-1)}} \left[\frac{U}{5,657 \cdot \log\left(\frac{\alpha \cdot d}{D_{35}}\right)} \right]^{1-n} = 1,33$$

$$G_{gr} = C_A \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m = 1,02$$

Para $1 \leq D_{gr} \leq 60$:

$$n = 1 - 0,56 \cdot \log D_{gr} = 0,47$$

$$A = \frac{0,23}{(D_{gr})^{0,5}} + 0,14 = 0,22$$

$$m = \frac{9,66}{D_{gr}} + 1,34 = 2,44$$

$$\log CA = 2,86 \cdot \log D_{gr} - (\log D_{gr})^2 - 3,53 = 0,02$$

$$C = \frac{G_{gr} \cdot s \cdot D_{35}}{d} \cdot \frac{1}{\left(\frac{U_*}{U}\right)^n} = 861,46 \text{ ppm}$$

$$Q_t = 0,0864 \cdot Q \cdot C = 975,03 \text{ ton/dia}$$

B5 - Método de Van Rijn (1984)

$$Re_y = \frac{4 \cdot Rh \cdot U}{\nu} = 7711764,706$$

$$K_s = 3 \cdot D_{90} = 0,0072 \text{ m}$$

$$\frac{1}{f^{0,5}} = -0,86 \cdot \ln \left[\frac{\left(\frac{K}{4 \cdot Rh}\right)}{3,7} + \frac{2,51}{Re_y \cdot f^{0,5}} \right] = 0,02$$

$$Re_y/f > 8 \cdot 10^6 \rightarrow f_w = 0,197 \cdot (Re_y/f)^{-0,155} = 0,0092$$

$$f_b = f + \frac{2 \cdot d}{B} (f - f_w) = 0,03$$

$$R_b = \frac{A_b}{P_b} = \frac{f_b \cdot U^2}{8 \cdot g \cdot s} = 0,16 \text{ m}$$

$$D_* = D_{50} \cdot \left(\frac{(s-1) \cdot g}{\nu^2} \right)^{1/3} = 12,48$$

$$C = 18 \cdot \log\left(\frac{12 \cdot Rb}{3 \cdot D90}\right) = 43,54$$

$$u_* = \left[\frac{g^{0,5}}{C}\right] \cdot U = 0,08 \text{ m/s}$$

$$10 < D^* \leq 20 \rightarrow \theta_{cr} = 0,04 \cdot D^{*-0,10} = 0,03$$

$$\theta_{cr} = \frac{(u_{cr})^2}{(s-1)gD_{50}} = 0,016$$

$$T = \frac{(u_*')^2 - (u_{*cr})^2}{(u_{*cr})^2} = 26,21$$

$$\frac{qb}{[(s-1) \cdot g]^{0,5} \cdot D50^{1,5}} = 0,053 \cdot \frac{T^{2,1}}{D_*^{0,3}} = 0,001 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

se $K_s \geq 0,01 \cdot d$, então $a = K_s$, senão $a = 0,01 \cdot d$; $a = 0,022$

$$Ca = 0,015 \cdot \frac{D50}{a} \cdot \frac{T^{1,5}}{D_*^{0,3}} = 0,021$$

$$\sigma_s = 0,5 \cdot \left[\frac{D84}{D50} + \frac{D16}{D50} \right] = 1,4$$

$$\frac{Ds}{D50} = 1 + 0,011 \cdot (\sigma_s - 1) \cdot (T - 25) = 0,0005 \text{ m}$$

$$W = 10 \cdot \frac{v}{Ds} \cdot \left[\left(1 + \frac{0,01 \cdot (s-1) \cdot g \cdot Ds^3}{v^2} \right)^{0,5} - 1 \right] = 0,07 \text{ m/s}$$

$$u_* = [g \cdot d \cdot S]^{0,5} = 0,26 \text{ m/s}$$

$$\beta = 1 + 2 \cdot \left(\frac{W}{u_*} \right)^2, \text{ para } 0,1 < \frac{W}{u_*} < 1 = 1,15$$

$$\varphi = 2,5 \cdot \left(\frac{W}{u_*} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{Ca}{Co} \right)^{0,4} \text{ para } 0,01 \leq \frac{W}{u_*} \leq 1 = 0,23$$

$$Z = \frac{W}{\beta \cdot K \cdot u_*} = 0,60$$

$$Z' = Z + \varphi = 0,82$$

$$F = \frac{\left[\frac{a}{d}\right]^Z - \left[\frac{a}{d}\right]^{1,2}}{\left[1 - \frac{a}{d}\right]^Z \cdot [1,2 - Z]} = 0,049$$

$$q_s = F \cdot U \cdot d \cdot c_a = 0,003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$q_T = q_b + q_s = 0,004 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$Q_t = 2,65 \cdot B \cdot q_t \cdot 86400 = 4593,68 \text{ ton}/\text{dia}$$

B6 - Método de Karim (1998)

$$W = \left(\sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{g \cdot \Delta \cdot D_{50}^3}} - \sqrt{\frac{36v^2}{g \cdot \Delta \cdot D_{50}^3}} \right) \sqrt{g \cdot \Delta \cdot D_{50}} = 0,06 \text{ m/s}$$

$$\frac{q_s}{\sqrt{g \cdot \Delta \cdot D_{50}^3}} = 0,00139 \left(\frac{V}{\sqrt{g \cdot \Delta \cdot D_{50}}} \right)^{2,97} \left(\frac{u^*}{W} \right)^{1,47}; q_s = 0,001 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$Q_t = q_s * 2,65 * 86400 * B = 1226,64 \text{ ton}/\text{dia}$$

B7 - Método de Cheng (2002)

$$\Theta = \frac{u_*^2}{\Delta \cdot g \cdot D_{50}} = 8,48$$

$$\Phi = 13\Theta^{1,5} \exp\left(-\frac{0,05}{\Theta^{1,5}}\right) = 320,61$$

$$\Phi = \frac{q_b}{D_{50} \sqrt{\Delta \cdot g \cdot D_{50}}}; q_b = 0,0140 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$Q_t = q_b * B * 86400 * 2,65 = 17665,25 \text{ ton}/\text{dia}$$

ANEXO C – ENSAIOS LABORATORIAIS DE SEDIMENTAÇÃO, TUBO DE RETIRADA PELO FUNDO E PIPETAGEM.

C1 - Ensaio de Sedimentação

O método é descrito na NBR 7181/1984 e objetiva a determinação da granulometria dos sedimentos em suspensão através da precipitação das partículas. O processo de análise é baseado na lei de Stokes. A amostra, com o passar do tempo vai se tornando heterogênea devido a sedimentação das partículas.

A porcentagem de material em suspensão é dada pela seguinte equação:

$$Q_s = N \frac{\delta}{(\delta - \delta_d)} \times \frac{V \delta_c (L - L_d)}{\frac{Ph}{(100 + h)}} \times 100$$

Onde:

Q_s: porcentagem de solo em suspensão no instante da leitura do densímetro;

N: porcentagem de material que passa na peneira 200mm;

δ: massa específica dos grãos de solo (g/cm³);

δ_d: massa específica do meio dispersor (g/cm³);

V: volume da suspensão em cm³;

δ_c: massa específica da água a temperatura de calibração (20°C) em g/cm³;

L: leitura do densímetro na suspensão;

L_d: leitura do densímetro no meio dispersor;

Ph: massa do material úmido (g);

h: umidade higroscópica da amostra;

O diâmetro das partículas de solo em suspensão é dado pela seguinte equação: (Lei de Stokes)

$$d = \sqrt{\frac{1800n \cdot a}{\delta - \delta_d} \cdot t}$$

Onde:

d: diâmetro máximo das partículas em mm;

n: coeficiente de viscosidade (g.s/cm²);

a: altura de queda das partículas com resolução de 0,1 cm, correspondente à leitura

do densímetro, em cm;

t: tempo de sedimentação (s);

δ : massa específica do grão de solo (g/cm^3);

δ_d : massa específica do meio dispersor à temperatura de ensaio (g/cm^3);

O traçado da curva é dado plotando-se os diâmetros dos grãos no eixo das abscissas e as porcentagens das partículas menores do que os diâmetros considerados no eixo das ordenadas.

Tabela C1 – Tabela de cálculo para determinação da curva granulométrica pelo ensaio de Sedimentação.

Tempo		Temperatura	Viscosidade	Densidade	Correção	Altura Queda	Diâmetro	(%) Amost.
Decorrido	T (°C)	m (g.s\cm2)	L	Ld	h (cm)	D (mm)	Total < Diâm.	
30	seg	22.4	9.7011E-06	1.0130	1.00370	17.40	0.0783	11.05
1	min	22.4	9.7011E-06	1.0105	1.00370	17.86	0.0561	8.08
2	min	22.4	9.7011E-06	1.0100	1.00370	17.95	0.0398	7.49
4	min	22.4	9.7011E-06	1.0095	1.00370	16.94	0.0273	6.89
8	min	22.4	9.7011E-06	1.0095	1.00370	16.94	0.0193	6.89
15	min	22.4	9.7011E-06	1.0090	1.00370	17.04	0.0142	6.30
30	min	22.4	9.7011E-06	1.0090	1.00370	17.04	0.0100	6.30
60	min	22.4	9.7011E-06	1.0085	1.00370	17.13	0.0071	5.70
120	min	22.4	9.7011E-06	1.0070	1.00370	17.41	0.0051	3.92
240	min	22.6	9.6559E-06	1.0070	1.00366	17.41	0.0036	3.97
1260	min	25.4	9.0565E-06	1.0060	1.00306	17.59	0.0015	3.49
1440	min	18.8	1.0574E-05	1.0060	1.00436	17.59	0.0015	1.95

C2 - Ensaio do Tubo de Retirada pelo Fundo

O ensaio é descrito em Carvalho (1994) e objetiva a determinação da granulometria e da concentração de sedimentos em suspensão contida na amostra através da precipitação das partículas. O processo de análise é baseado na teoria de Oden e na lei de Stokes. A distribuição granulométrica é dada pelo traçado da curva de Oden: em um papel milimetrado, plota-se, em escala horizontal, o tempo de deposição das partículas de sedimentos (em minutos) e em escala vertical, a

porcentagem de sedimentos em suspensão. Na escala dos tempos usa-se o artifício de superposição de valores, isto é, faz a escala variar nos limites de 0 a 14, 0 a 140, 0 a 1400 e 0 a 14000 minutos. Após traçadas as curvas, emprega-se a tabela de tempo para ser usada com a curva de Oden. A tabela apresenta na primeira coluna, temperaturas de 10 a 32 °C, no alto das colunas seguintes estão os diâmetros das partículas em mm: 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,062, 0,044, 0,031, 0,022, 0,016, 0,011, 0,008, 0,006, 0,004, 0,003 e 0,002. Nas colunas verticais em correspondência com as temperaturas de ensaio lêem-se valores referentes a cada diâmetro padrão. Esses valores são levados ao gráfico da curva de Oden tomando como referência a escala horizontal dos tempos. Por esses pontos são traçadas tangentes à curva até interceptarem o eixo vertical onde encontrarão as porcentagens referentes ao diâmetro considerado.

Tabela C2 - Tabela de cálculo para determinação da curva granulométrica pelo ensaio do Tubo de Retirada pelo fundo.

Altura da coluna:		100.0		Tubo nº:		1		sedim.em tempo p/		ϕ		% < ϕ	
temp.°C (h:mm:ss)		alt.queda		becker		p. s.+ t.		suspens. dep.100cm					
22.0	10:10:00	100.0	-	-	-	(%)	(min.)	(mm)					
22.0	10:10:30	90.3	52	46.9548	46.8594	100.0	0.0	0.0442	50.7				
22.0	10:11:00	80.0	55	45.1032	45.0242	94.9	0.6	0.0312	42.8				
22.0	10:12:00	70.3	1	46.2683	46.1944	92.6	1.3	0.0221	35.0				
22.0	10:15:00	60.5	8	45.5152	45.3435	89.8	2.8	0.0156	27.9				
22.0	10:23:00	50.0	46	45.5108	45.3964	60.5	8.3	0.0110	22.0				
22.0	10:42:00	39.9	32	45.3777	45.3164	38.7	26.0	0.0078	17.2				
22.0	11:30:00	29.9	2	45.7196	45.6838	26.2	80.2	0.0055	13.4				
22.0	12:50:00	20.0	31	44.8277	44.8073	18.9	267.6	0.0039	10.5				
22.0	17:40:00	10.0	51	44.4960	44.4833	16.4	800.0	Areia =	35.5 %				
22.0	17:41:00	0.0	4	45.2119	45.1928	21.5	4500.0	Silte =	54.0 %				
Coleta final (lavagem do tubo):		15	47.0181	46.9994	Conc.:	334.91 mg/l	Argila =	10.5 %					

C3 - Ensaio de Pipetagem

O método é descrito em Carvalho (1994) e objetiva a determinação da granulometria e da concentração de sedimentos em suspensão contida na amostra através da precipitação das partículas. O processo de análise é baseado na lei de Stokes. Para o ensaio da pipeta é usada uma tabela do tempo de pipetagem em função da temperatura, profundidade de retirada e diâmetro das partículas. Traça-se a curva granulométrica onde no eixo das ordenadas são plotadas as porcentagens do material e no eixo das abscissas são plotados os diâmetros conforme a tabela.

Tabela C3 – Tabela de cálculo para determinação da curva granulométrica pelo ensaio de Pipetagem.

tam. (mm)	profund. (cm)	t.retirada (h:mm:ss)	temp. (°C)	caps. nº	sed.+ t. (g)	tara (g)	% < ϕ	intervalo (%)
0.062	10	0:01:00	27.0	50	46.8440	46.7288	63.8	-
0.031	10	0:02:38	27.0	62	45.9329	45.8438	48.8	15.0
0.016	10	0:07:31	27.0	30	44.0634	44.0121	27.1	21.7
0.008	10	0:27:00	27.0	52	46.8937	46.8629	15.4	11.8
0.004	7	1:13:56	27.0	20	45.0903	45.0723	8.0	7.3
0.002	7	4:52:33	27.0	47	45.7455	45.7346	4.0	4.1