



AGÊNCIA DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Código Artesp:  
MD-SP0000083-012.018-007-H01/001

Rev.:  
R0.00

Emissão:  
16/04/10

Folha:  
1 de 42

Emitente:



Resp. Técnico / Projetista:  
Engº Humberto Matsushita / Canhedo Beppu

Resp. Técnico / Concessionária:

Lote:

07

Rodovia:

José Roberto Magalhães Teixeira – SP-083

DE-DER:

Trecho:

Interseção da SP-330 até a interseção com a SP-348

Verificado - ARTESP:

Objeto: Projeto executivo de implantação do prolongamento da SP-083 – Estudos Hidrológicos

Aprovado - ARTESP:

Documentos de Referência:

DE-SP0000083-012.018-007-H01/001 - PLANTA DE BACIAS HIDROLÓGICAS - 1:10.000

MD-SP0000083-012.018-007-H01/002 - ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DA OAE SOBRE O RIO CAPIVARI

Documentos Resultantes:

Observação:

R0	16/04/10	Humberto				
Rev.	Data	Resp. Téc. / Proj	Resp. Téc / Conces	DE-DER	Rev. - ARTESP.	Aprovado - ARTESP

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. COLETA DE DADOS DISPONÍVEIS .....</b>	<b>4</b>
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DOS REGIMES CLIMÁTICO E PLUVIOMÉTRICO .....</b>	<b>5</b>
3.1. Caracterização dos Regimes Climático e Pluviométrico Regionais .....	5
3.2. Geologia Regional .....	13
3.3. Equação de Chuvas Intensas .....	15
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>17</b>
<b>5. AVALIAÇÃO HIDRÁULICA DAS TRAVESSIAS.....</b>	<b>27</b>
5.1. Bacia 1E.....	28
5.2. Bacia 2E.....	29
5.3. Bacia 3E.....	30
5.4. Bacia 1D .....	31
5.5. Bacia 2D .....	32
5.6. Bacia 3D .....	33
5.7. Quadro resumo de todas as bacias .....	35

## 1. INTRODUÇÃO

A **Canhedo Beppu Engenheiros Associados Ltda.** apresenta a **Concessionária Rota das Bandeiras** o seu relatório dos estudos hidrológicos, que contém um resumo dos estudos e análises efetuadas para o desenvolvimento do projeto executivo de implantação do prolongamento da SP-083 - Anel Viário José Roberto Magalhães Teixeira. Tais estudos hidrológicos tiveram como objetivos principais:

- ✓ Definir as características climatológicas, pluviométricas e fluviométricas a serem consideradas na fase subsequente de projeto, quando da elaboração do detalhamento e planejamento construtivo da obra;
- ✓ Fornecer os subsídios e critérios necessários à determinação das vazões de dimensionamento hidráulico das novas obras de drenagem e verificação das obras existentes.

---

## 2. COLETA DE DADOS DISPONÍVEIS

Apresenta-se na seqüência a relação dos principais documentos e bibliografias considerados no desenvolvimento destes estudos hidrológicos:

- Plantas na escala 1:10.000 (EMPLASA) e 1:50.000 (IBGE), elaboradas por restituições aerofotogramétricas;
- “Classificação Climática de Wladimir Köppen”, publicação do DNER;
- “*Handbook of Applied Hydrology*”, de Ven Te Chow – 1964;
- “Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo”, de José Setzer;
- “Análise das Máximas Intensidades de Chuvas na Cidade de Campinas”, de Dirceu Brasil Vieira – IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1981;
- “Engenharia de Drenagem Superficial”, de Paulo Sampaio Wilken (CETESB, 1970);
- “Drenagem Urbana – Manual de Projeto”, DAEE / CETESB, 1980;
- Instrução de Projeto do DER/SP – IP-DE-H00/001 – Estudos Hidrológicos;
- Instrução de Projeto do DER/SP – IP-DE-H00/002 – Projeto de Drenagem.

### **3. CARACTERIZAÇÃO DOS REGIMES CLIMÁTICO E PLUVIOMÉTRICO**

Nos subitens a seguir são apresentadas as informações que caracterizam o clima regional que subsidiam tanto o projeto dos dispositivos de drenagem como o subsequente planejamento da obra.

#### **3.1. Caracterização dos Regimes Climático e Pluviométrico Regionais**

Para a caracterização do clima da região próxima ao local de interesse, foram utilizados os dados das estações pluviométricas existentes nos municípios de Vinhedo, Campinas, Indaiatuba, Monte Mor e Itupeva, além dos dados climatológicos extraídos do Atlas Climatológico do Estado de São Paulo.

Segundo os dados extraídos do Atlas Climatológico, as principais características climáticas da região onde este projeto se insere são as seguintes:

- Temperatura média anual: 20° C;
- Temperatura média do mês mais quente: 23 °C;
- Temperatura média do mês mais frio: 16 °C;
- Média das temperaturas máximas do mês mais quente: 28 °C;
- Média das temperaturas mínimas do mês mais frio: 10 °C;
- Totais anuais de chuvas: 1.350 mm;
- Totais de chuvas do semestre seco: 300 mm;
- Totais de chuvas no mês mais chuvoso: 240 mm (Janeiro);
- Totais de chuvas no mês mais seco: 29 mm (Julho);
- Evapotranspiração – potencial anual: 900 mm;
- Diferença anual entre a chuvas e a evapotranspiração: 350 mm;
- Evapotranspiração potencial – semestre seco: 350 mm;

- Número de dias com geada: 2.

De modo a caracterizar mensalmente o regime de chuvas da região do estudo, também foram utilizados os dados pluviométricos dos seguintes postos:

- ✓ Posto Vinhedo:
  - Código DAEE: E3-017;
  - Município: Vinhedo;
  - Altitude: 700,00 m;
  - Latitude: 23° 02';
  - Longitude: 46° 58'.
- ✓ Posto Salto Grande:
  - Código DAEE: D3-002;
  - Município: Campinas;
  - Altitude: 690,00 m;
  - Latitude: 22° 56';
  - Longitude: 46° 54'.
- ✓ Posto Campinas:
  - Código DAEE: D4-044;
  - Município: Campinas;
  - Altitude: 710,00 m;
  - Latitude: 22° 53';
  - Longitude: 47° 05'.

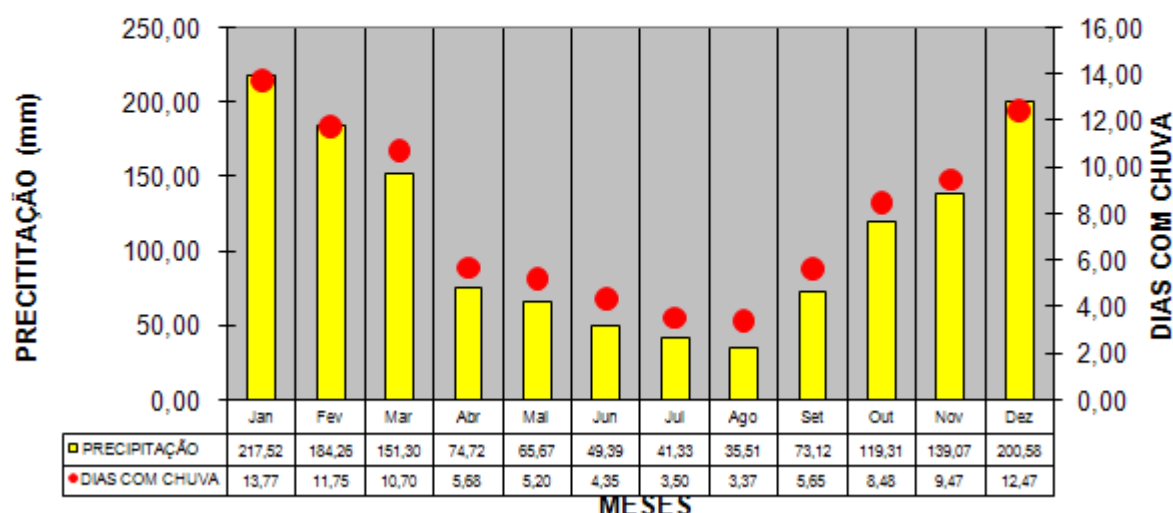
- 
- ✓ Posto Indaiatuba:
    - Código DAEE: E4-015
    - Município: Indaiatuba
    - Altitude: 630,00 m;
    - Latitude: 23° 05';
    - Longitude: 47° 13'.
  - ✓ Posto Bairro Pavioti:
    - Código DAEE: D4-083;
    - Município: Monte Mor;
    - Altitude: 610,00 m;
    - Latitude: 22°56';
    - Longitude: 47°15'.
  - ✓ Posto Faz. Buriti:
    - Código DAEE: E4-062;
    - Município: Itupeva;
    - Altitude: 690,00 m;
    - Latitude: 23°05';
    - Longitude: 47°03'.

A seguir são apresentados os histogramas de precipitações médias mensais e do número médio de dias de chuva, referentes às estações pluviométricas anteriormente mencionadas.

### PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL E NÚMERO MÉDIO DE DIAS COM CHUVA

POSTO: VINHEDO- VINHEDO- SP

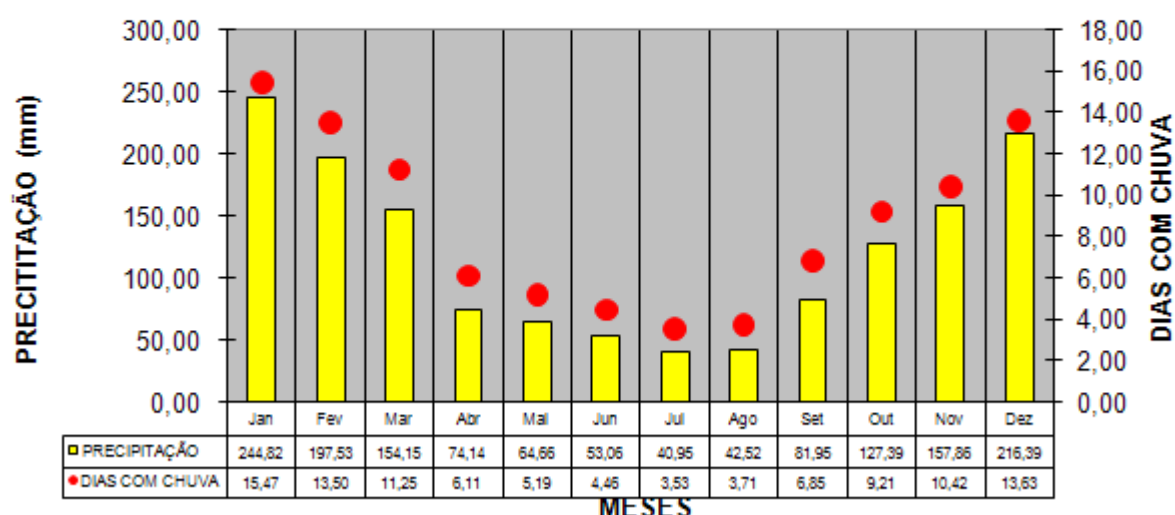
PERÍODO: 1936 A 1995



### PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL E NÚMERO MÉDIO DE DIAS COM CHUVA

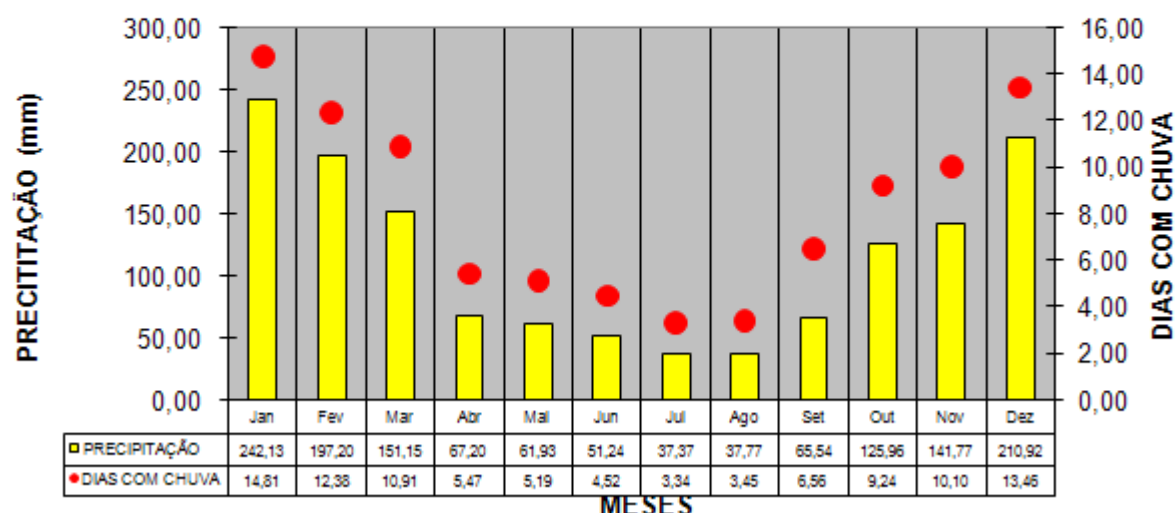
POSTO: SALTO GRANDE- CAMPINAS- SP

PERÍODO: 1931 A 2002

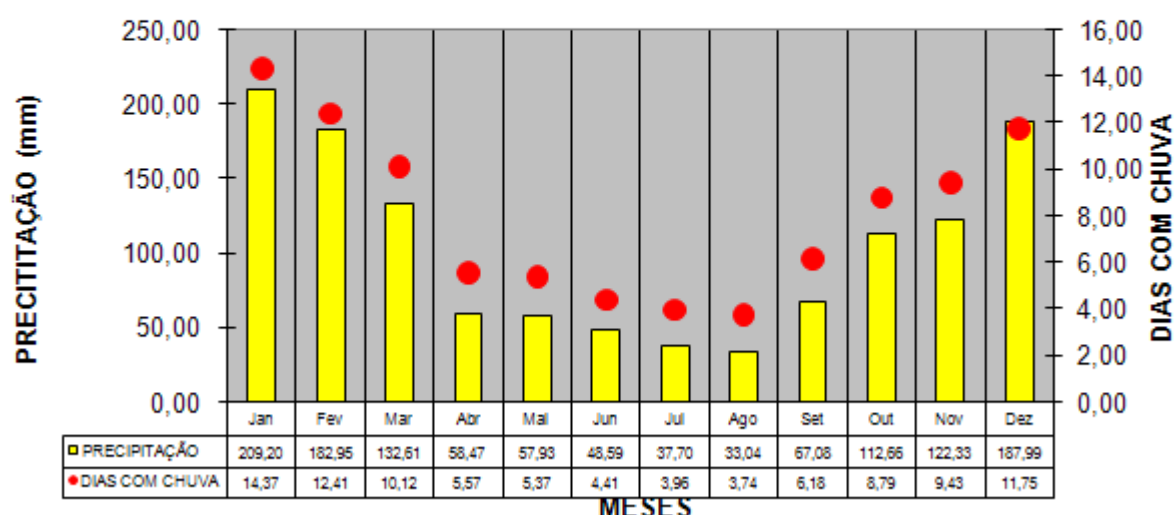




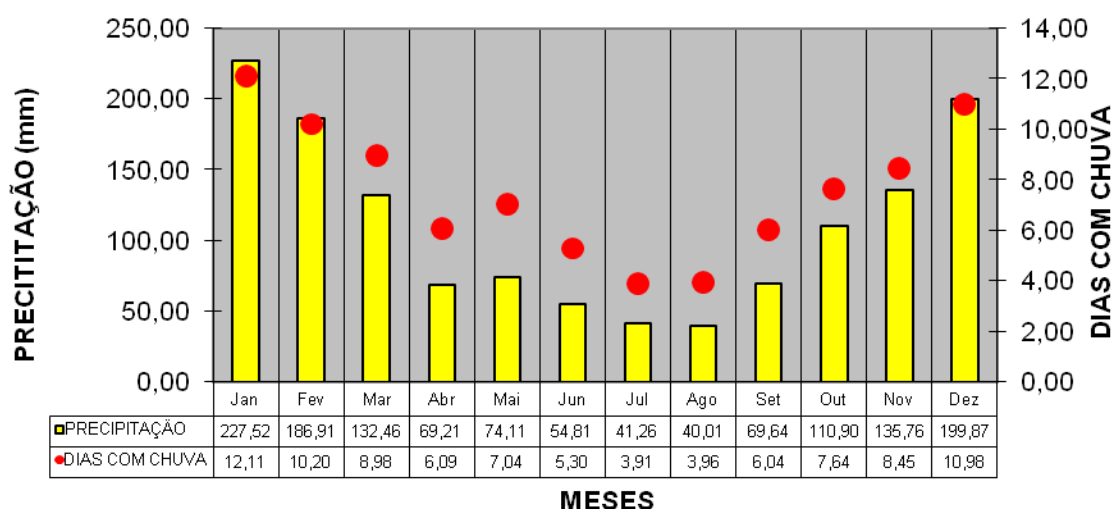
**PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL E  
NÚMERO MÉDIO DE DIAS COM CHUVA**  
POSTO: CAMPINAS - CAMPINAS- SP  
PERÍODO: 1941 A 2004



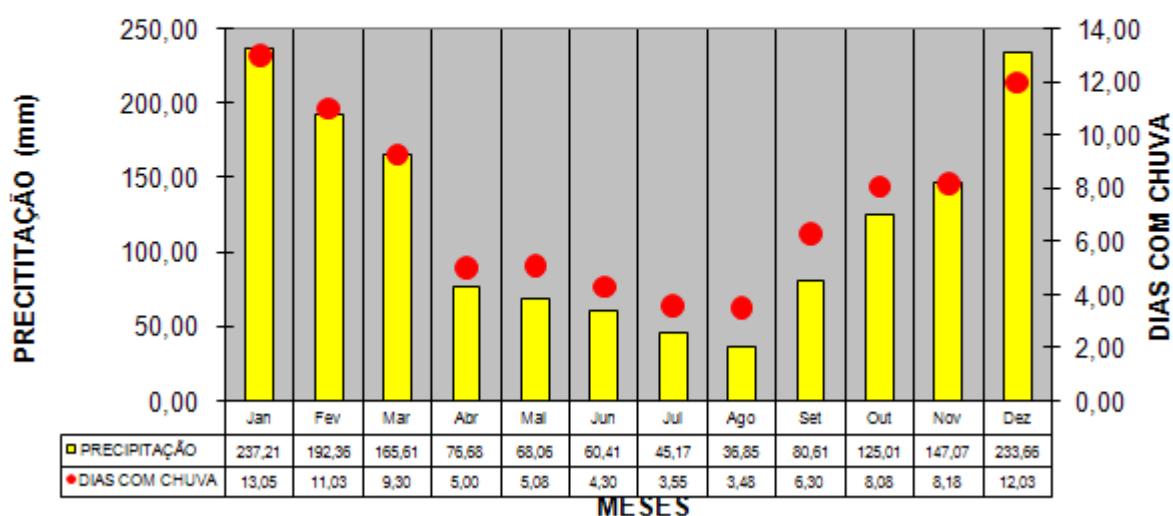
**PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL E  
NÚMERO MÉDIO DE DIAS COM CHUVA**  
POSTO: INDAIATUBA - INDAIATUBA- SP  
PERÍODO: 1937 A 2004



**PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL E  
NÚMERO MÉDIO DE DIAS COM CHUVA  
POSTO: BAIRRO PAVIOTI - MONTE MOR- SP  
PERÍODO: 1951 A 2004**



**PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL E  
NÚMERO MÉDIO DE DIAS COM CHUVA  
POSTO: FAZ. BURITI - ITUPEVA- SP  
PERÍODO: 1963 A 2002**



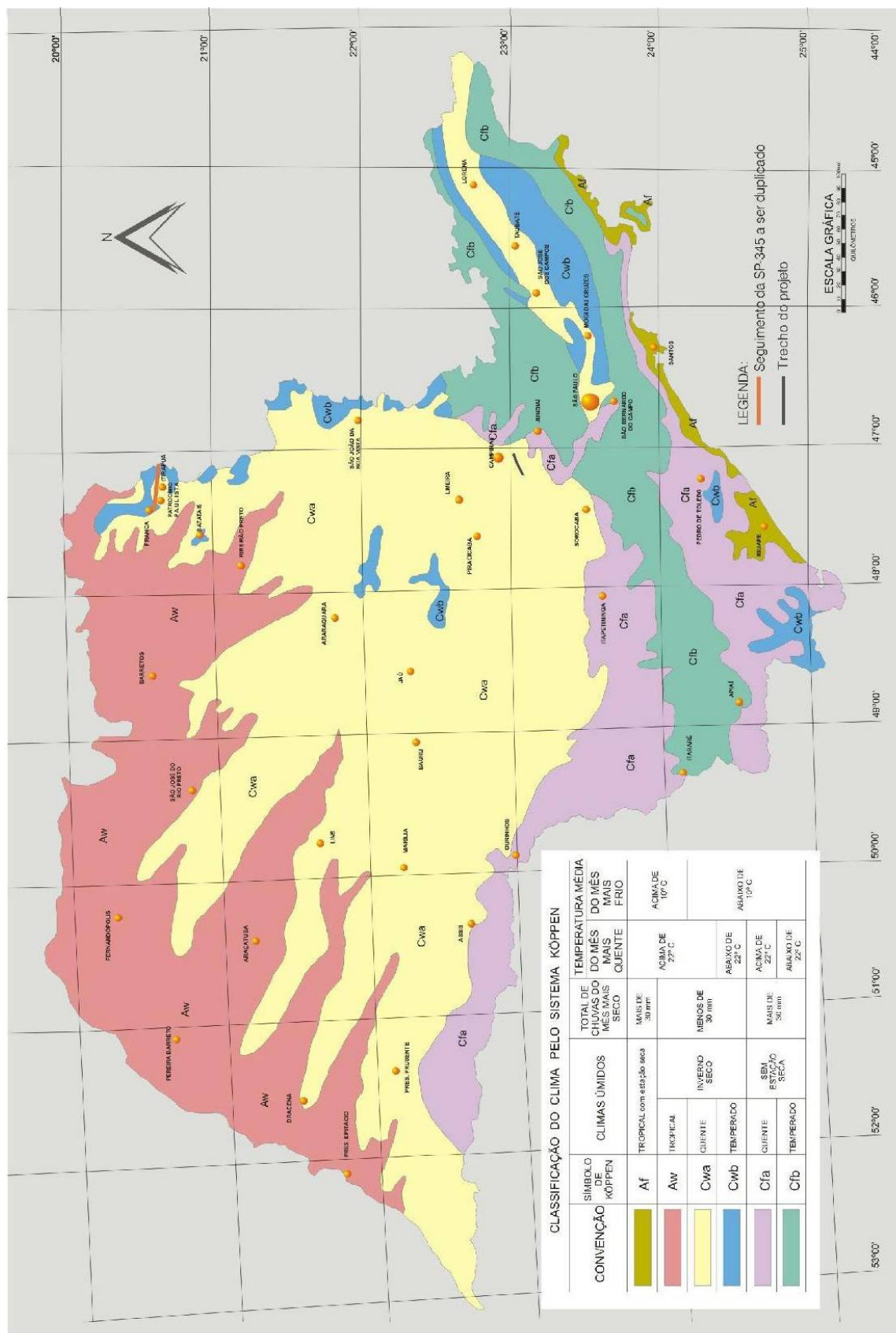
Como se pode observar pela análise destes histogramas, o trimestre mais chuvoso corresponde aos meses de dezembro / janeiro / fevereiro, e o mais seco, aos meses de junho / julho / agosto.

Estes dados climáticos revestem-se de importância principalmente para o planejamento das obras, devendo se evitar nos meses mais úmidos a realização de determinados serviços, especialmente aqueles relacionados à terraplenagem.

Por outro lado, visando efetuar a classificação climatológica da área, foi utilizada a metodologia adotada por Wladimir Köppen, que leva em consideração a quantidade de precipitações, a temperatura média e a umidade relativa.

Deve-se ressaltar que essa metodologia de classificação, assim como outras desenvolvidas com a mesma finalidade, diferencia apenas megazonas climáticas, não apresentando suficiente eficiência para variações locais.

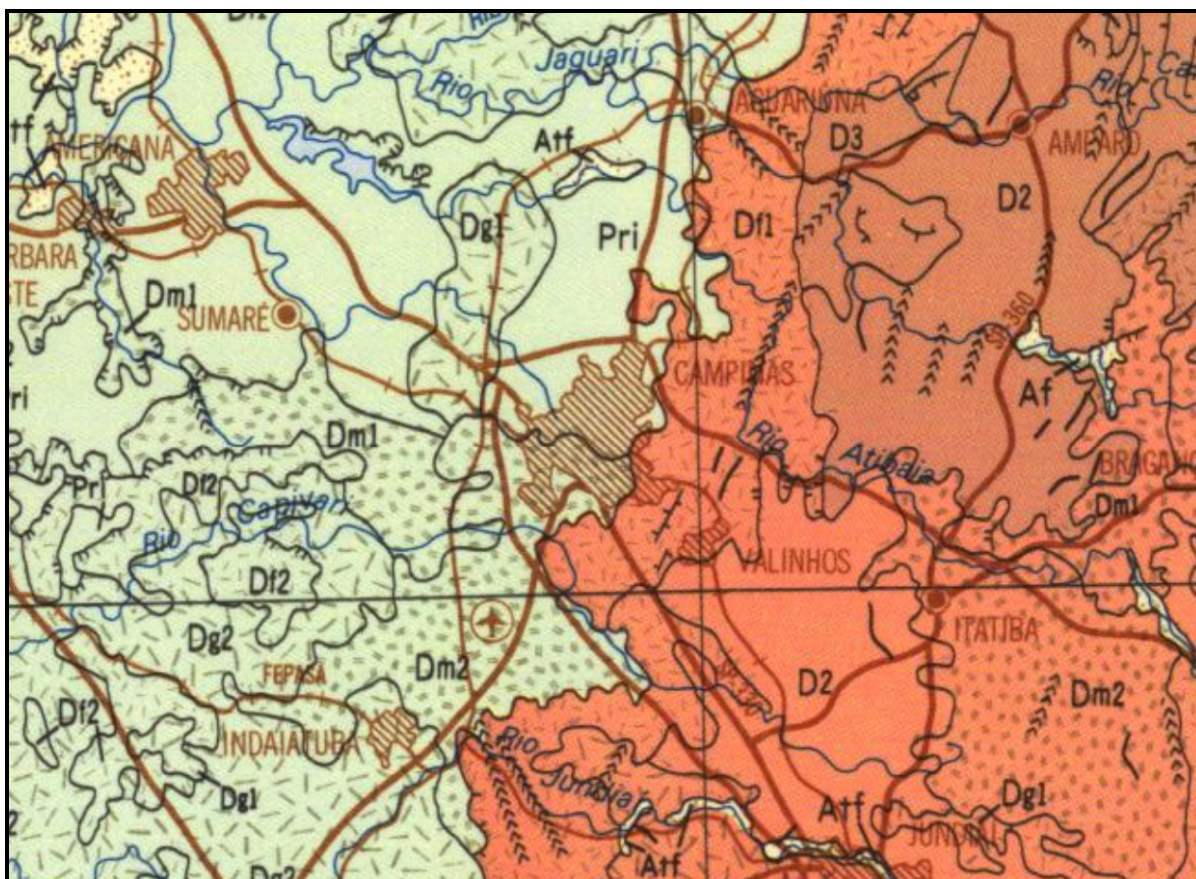
Conforme essa classificação de Köppen, resumida na figura a seguir, o clima da área de interesse pode ser classificado como pertencente ao tipo *Cwa*. Trata-se de clima úmido mesotérmico, onde as chuvas são distribuídas de modo aproximadamente semelhante ao longo da maior parte do ano, sem apresentar uma estação seca claramente definida (a altura de chuva do mês mais seco deve ultrapassar 29 mm). Esse tipo de clima é ainda caracterizado por verões brandos, nos quais a temperatura média do mês mais quente é inferior a 23° C.





### 3.2. Geologia Regional

A unidade geomorfológica na qual se encontra o traçado do prolongamento da SP-083 é conhecida como Planalto de São Roque-Jundiá (Df1) como mostrado no mapa abaixo.



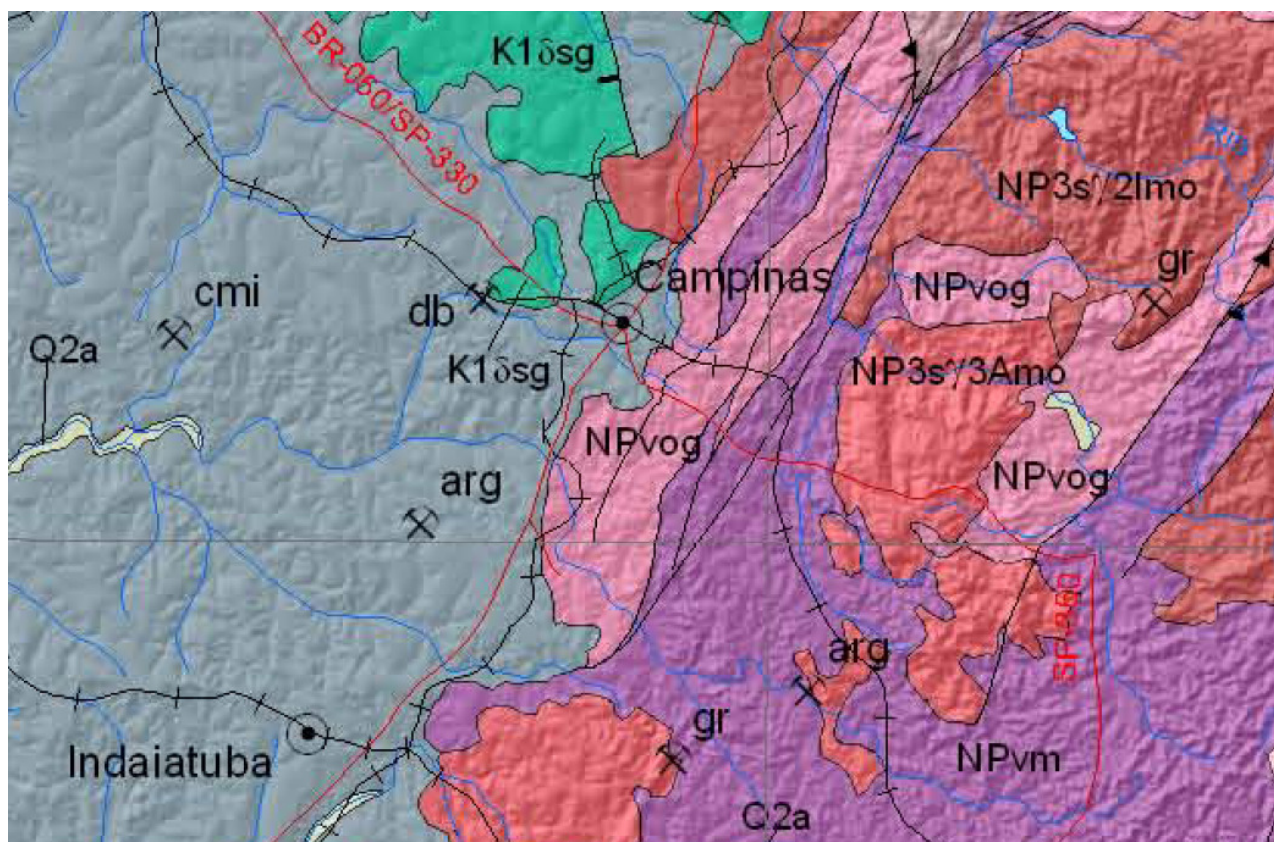
Adaptado do Projeto RadamBrasil; Mapa Geomorfológico Rio de Janeiro/Vitória; Escala 1:1.000.000; 1983

Encontra-se localizada na região do planalto de amparo, que por sua vez está no domínio morfoestrutural das faixas de dobramentos remobilizados. apresentam vertentes com perfis retilíneos a convexos, com declividades médias (entre 15 e 30%) e amplitudes maiores que 100 metros. as drenagens são de padrão pinulado, com vales fechados localmente formando cânions, sendo que os vales principais apresentam fundos chatos.

Os solos compreendem uma associação de argissolo vermelho-amarelo, distrófico e eutrófico com textura média/argilosa, com um cambissolo háplico, também distrófico e eutrófico de textura média e argilosa.

Por apresentar padrão de dissecação baixo com vales pouco entalhados e com densidade de drenagem baixa, esta unidade apresenta, em geral, um nível de fragilidade muito baixo, com baixo potencial erosivo.

O substrato é formado por associações rochosas do complexo Varginha Guaxupé, representado na área de estudo pela **Unidade ortognáissica migmatítica intermediária (NPvog)**, composta por nebulitos de composição granodiorítica intercalados a granitos gnáissicos anatóticos, e pela **Unidade paragnáissica migmatítica superior (NPvm)**, composta por granada-gnaisses bandados, ortognaisses intrusivos, gnaisses calciossilicáticos e intercalações de metabásicas, como mostra o mapa abaixo.



Adaptado do Mapa Geológico do Estado de São Paulo – Escala 1:750.000 – CPRM 2006



### 3.3. Equação de Chuvas Intensas

A relação entre precipitação, intensidade, duração e frequência de chuvas analisada no presente estudo é dada pela equação de D. B. Vieira, com base no Posto Meteorológico do Instituto Agrônomo de Campinas (Latitude: 22° 54' S; Longitude: 47° 03' W), conforme o trabalho “Análise das Máximas Intensidades de Chuvas na Cidade de Campinas”, apresentado pelo autor no IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos (Fortaleza, 1981):

$$I = \frac{2524,86 \cdot T^{0,1359}}{(t+20)^{0,9483} \cdot T^{-0,007}}$$

Onde:

I = intensidade pluviométrica máxima, em mm por hora;

T = período de recorrência, em anos;

t = duração da precipitação pluviométrica, em minutos.

Os dados utilizados neste trabalho foram extraídos dos pluviogramas registrados pelo pluviógrafo instalado e operado no Instituto Agrônomo de Campinas, e referem-se ao período de 1980 a 1989.

A equação de D. B. Vieira teve como base as maiores precipitações registradas em um dia, com durações variáveis entre 5 e 120 minutos.

No quadro a seguir estão apresentados os valores obtidos a partir das equações analisadas para chuvas intensas, com durações entre 5 e 1.440 minutos, e períodos de retorno de 10, 20, 25, 50 e 100 anos.

INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA (mm/min)					
DURAÇÃO (min)	PERÍODO DE RECORRÊNCIA (anos)				
	10	20	25	50	100
5	2,854	3,182	3,296	3,674	4,095
10	2,408	2,687	2,783	3,105	3,464
15	2,085	2,328	2,412	2,693	3,007
20	1,841	2,057	2,131	2,381	2,660
25	1,649	1,844	1,911	2,136	2,387
30	1,495	1,672	1,733	1,938	2,167
60	0,964	1,081	1,121	1,256	1,407
90	0,716	0,804	0,834	0,936	1,051
120	0,572	0,643	0,667	0,750	0,842
240	0,321	0,362	0,376	0,423	0,477
360	0,225	0,254	0,264	0,298	0,337
480	0,174	0,197	0,205	0,232	0,262
540	0,157	0,177	0,185	0,209	0,236
600	0,143	0,161	0,168	0,190	0,215
660	0,131	0,148	0,154	0,174	0,197
720	0,121	0,137	0,142	0,161	0,183
780	0,112	0,127	0,133	0,150	0,170
840	0,105	0,119	0,124	0,140	0,159
900	0,099	0,112	0,116	0,132	0,149
960	0,093	0,105	0,110	0,124	0,141
1.020	0,088	0,100	0,104	0,118	0,134
1.080	0,084	0,095	0,099	0,112	0,127
1.140	0,080	0,090	0,094	0,107	0,121
1.200	0,076	0,086	0,090	0,102	0,115
1.260	0,073	0,082	0,086	0,097	0,110
1.320	0,069	0,079	0,082	0,093	0,106
1.380	0,067	0,076	0,079	0,090	0,102
1.440	0,064	0,073	0,076	0,086	0,098



#### 4. METODOLOGIA

As vazões de dimensionamento das obras hidráulicas que compõem o sistema de drenagem poderiam ser obtidas através das seguintes metodologias:

MÉTODO	ÁREA DE DRENAGEM (km <sup>2</sup> )
Racional	Inferior ou igual a 2,00
Hidrograma Unitário, do <i>U.S. Soil Conservation Service</i>	Entre 2,00 e 50,00
Estatístico Direto	Superior a 50,00

##### a) Método Racional

O cálculo da vazão de dimensionamento é baseado na fórmula Racional:

$$Q = \frac{c.i.A}{6}$$

Onde:

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

c = Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

A = Área de drenagem (ha);

i = Intensidade pluviométrica (mm/min).

##### ✓ Coeficiente de escoamento superficial

Para a determinação do coeficiente, são levadas em consideração as características físicas da bacia, bem como o tipo de solo da região. No quadro a seguir são apresentados os critérios e valores dos coeficientes de escoamento superficial de projeto.

## VALORES DOS COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (RUNOFF)

TIPO DE ÁREA DE DRENAGEM	COEFICIENTE (RUNOFF)
<b>ÁREAS NÃO URBANIZADAS</b>	
Solo arenoso, declividade média inferior a 2 %	0,05 – 0,10
Solo arenoso, declividade média entre 2 a 7 %	0,10 – 0,15
Solo arenoso, declividade média superior a 7 %	0,15 – 0,20
Solo argiloso, declividade média inferior a 2 %	0,15 – 0,20
Solo argiloso, declividade média entre 2 a 7 %	0,20 – 0,25
Solo argiloso, declividade média superior a 7 %	0,25 – 0,30
<b>ÁREAS COMERCIAIS</b>	
Áreas centrais	0,70 – 0,95
Áreas periféricas	0,50 – 0,70
<b>ÁREAS RESIDENCIAIS</b>	
Áreas comuns	0,30 – 0,50
Múltiplas unidades, separadas	0,40 – 0,60
Múltiplas unidades, conjugadas	0,60 – 0,75
Áreas com lotes de 2.000 m <sup>2</sup> ou maiores	0,30 – 0,45
Áreas suburbanas	0,25 – 0,40
Área de concentração de edifício	0,50 – 0,70
<b>ÁREAS INDUSTRIAIS</b>	
Área com ocupação esparsa	0,50 – 0,80
Área com ocupação densa	0,60 – 0,90
<b>RUAS</b>	
Revestimento asfáltico	0,70 – 0,95
Revestimento de cimento	0,80 – 0,95
Revestimento primário	0,70 – 0,85
<b>PARQUES E CEMITÉRIOS</b>	0,10 – 0,25

### ✓ **Tempo de Concentração**

O tempo de concentração da bacia pode ser calculado pela fórmula do “*California Highways and Public Roads*”, expressa por:

$$tc = 57. \left( \frac{L^2}{I_{eq}} \right)^{0,385}$$

Onde:

tc = Tempo de concentração (min);

L = Comprimento do talvegue (km);

I<sub>eq</sub> = Declividade média do talvegue (m/km).

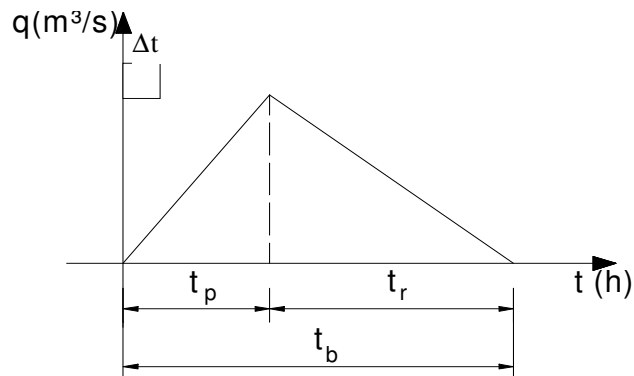
### ✓ **Intensidade Pluviométrica**

A intensidade pluviométrica pode ser calculada a partir da aplicação da equação de chuvas válida para a área em estudo, para duração da chuva igual ao tempo de concentração da bacia. A duração da chuva mínima será de 5 minutos, para as obras de drenagem superficial, e de 10 minutos, para os bueiros.

### **b) Método do Hidrograma Unitário (*Soil Conservation Service*)**

Este método baseia-se em um hidrograma adimensional, para construção de um hidrograma unitário sintético.

✓ **Parâmetros do Hidrograma Unitário**



Sendo:

$q_p$  = vazão máxima do Hidrograma Unitário, em  $m^3/s$ ;

$A$  = área da bacia contribuinte, em  $km^2$ ;

$t_p$  = tempo de pico, em horas;

$t_c$  = tempo de concentração, em horas;

$$q_p = \frac{2,08 \cdot A}{t_p}$$

$$t_p = \frac{\Delta t}{2} + 0,6 \cdot t_c$$

$\Delta t = t_c / K$  – tempo unitário, em horas;

$t_r = 1,67 t_p$  – tempo de descida, em horas;

$t_b = 2,67 t_p$  – tempo base, em horas.

O tempo de concentração foi calculado conforme a expressão recomendada pela “*California Highways and Public Roads*”, já descrita anteriormente.

## ✓ Precipitação efetiva

A avaliação da precipitação efetiva ( $P_e$ ), a partir da precipitação total ( $P$ ), de acordo com o método proposto pelo *U.S. Soil Conservation Service*, é feita em função das características do solo, vegetação e utilização das áreas das bacias hidrológicas, escolhendo um número de curva ( $N$ ) que as caracterize.

Para a determinação do número de curva ( $N$ ), foi seguido o procedimento recomendado na publicação “Tentativa de Avaliação de Escoamento Superficial de Acordo com o Solo e o seu Recobrimento Vegetal nas Condições do Estado de São Paulo”, elaborado por *José Setzer* e apresentado no Boletim Técnico DAEE nº 2 (maio/agosto – 1979).

A condição antecedente de saturação do solo será aquela em que os solos normalmente se encontram na estação úmida do ano.

No quadro a seguir são apresentados os valores de  $N$  utilizados quando da aplicação do Método do Hidrograma Unitário, empregado na determinação das vazões de projeto para as bacias estudadas, conforme metodologia do *U.S. Soil Conservation Service*.

**VALORES DO NÚMERO DE DEFLÚVIO (N)**

Cobertura Vegetal ou Tipo de Uso do Solo	Defesa Contra a Erosão	Situação Hidrológica de Infiltração	GRUPO HIDROLÓGICO DO SOLO				
			A	B	C	D	E
Arado, quase sem cobertura vegetal	SR	Boas	65	80	88	92	95
	C	Boas	65	78	86	90	92
Cultivo de ciclo curto e arações frequentes	SR	Más	60	72	81	87	90
	SR	Boas	52	66	75	82	86
	C	Más	56	65	78	84	87
	C	Boas	48	60	72	78	82
	C-T	Más	52	62	74	80	84
	C-T	Boas	45	55	67	75	80
	SR	Más	58	65	73	82	88
Cultivos de ciclo médio, araões anuais	SR	Boas	54	62	70	79	85
	C	Más	55	64	72	78	84
	C	Boas	50	60	67	75	83
	T	Más	52	62	70	77	82
	T	Boas	48	55	65	73	80
	SR	Más	56	64	72	80	86
Semeação densa ou a lanço; cobertura curta, mas dens, como a das leguminosas e dos pastos em rodízio	SR	Boas	50	58	66	76	82
	C	Más	54	60	69	76	83
	C	Boas	48	56	64	72	80
	T	Más	50	58	65	75	80
	T	Boas	45	52	60	70	76
	SR	Más	56	64	72	80	86
Pastagem velha com arbustos	SR	Boas	50	58	66	76	82
	C	Más	54	60	69	76	83
	C	Boas	48	56	64	72	80
	T	Más	50	58	65	75	80
	T	Boas	45	52	60	70	76
	SR	Más	56	64	72	80	86
Reflorestamento	SR	Boas	50	58	66	76	82
	C	Más	54	60	69	76	83
	C	Boas	48	56	64	72	80
	T	Más	50	58	65	75	80
	T	Boas	45	52	60	70	76
	SR	Más	56	64	72	80	86
Mata, capoeira velha	SR	Boas	50	58	66	76	82
	C	Más	54	60	69	76	83
	C	Boas	48	56	64	72	80
	T	Más	50	58	65	75	80
	T	Boas	45	52	60	70	76
	SR	Más	56	64	72	80	86
Gramados tratados	SR	Boas	50	58	66	76	82
	C	Más	54	60	69	76	83
	C	Boas	48	56	64	72	80
	T	Más	50	58	65	75	80
	T	Boas	45	52	60	70	76
	SR	Más	56	64	72	80	86
Estradas de terra	SR	Boas	50	58	66	76	82
	C	Más	54	60	69	76	83
	C	Boas	48	56	64	72	80
	T	Más	50	58	65	75	80
	T	Boas	45	52	60	70	76
	SR	Más	56	64	72	80	86
Áreas urbanizadas	SR	Boas	50	58	66	76	82
	C	Más	54	60	69	76	83
	C	Boas	48	56	64	72	80
	T	Más	50	58	65	75	80
	T	Boas	45	52	60	70	76
	SR	Más	56	64	72	80	86

**Observações:** Grupo **A**: Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a uns 8%; não há rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.

Grupo **B**: Solos arenosos menos profundos que os do grupo A e com maior teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas este limite pode subir a 20% graças a maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial.

Grupo **C**: Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até a profundidade de 1,2 m. No caso de terras roxas, estes dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade camada mais densificada que no grupo B mas ainda longe das condições de impermeabilidade.

Grupo **D**: Solos argilosos (30 – 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.

Grupo **E**: Solos barrentos como C, mas com camada argilosa impermeável ou com pedras. Ou sem tal camada, mas o teor total de argila supera 40%. No caso de terras roxas este teor pode subir a 60% (no caso D, 45%).

**SR** = sulcos retos; **C** = cultivo em contorno, paralelamente às curvas de nível; **T** = terraceamento. No caso de estradas de terra, **SR** é quando as águas pluviais são alojadas ao pé de barrancos, a **C** quando não atravessam a estrada. A estimativa dos dados são na condição em que os solos normalmente se encontram na estação úmida do ano.

A seguir é apresentada a descrição do tipo de solo que mais se assemelha ao encontrado na região atravessada pelo segmento rodoviário analisado (tipo 26), conforme descrito na obra “Avaliação Tentativa de Percentagem de Cada um dos Cinco Grupos Hidrológicos de Solo por Zona Ecológica no Estado de São Paulo”, a ser utilizado posteriormente para adoção da curva de deflúvio mais adequada para o método do hidrograma unitário.

Descrição dos tipos de solos	Grupo Hidrológico (percentagens)				
	A	B	C	D	E
Tipo 26 – Solos de gnaisses mesocráticos, micaxistos quartzosos, pegmatitos, quartzodioritos. São geralmente solos mais escuros que os do tipo anterior, com o alaranjado tendendo para o acastanhado e o vermelho para marrom. O teor de areia grossa é bem menor e o de argila maior (20-30%). Horizonte de seixos menos comum mas o argiloso ainda mais freqüente. O cultivo é bastante intenso apesar da topografia acidentada.	-	20	30	30	20

Para o cálculo da precipitação efetiva, as seguintes relações são utilizadas:

$$S = \frac{1000}{N} - 10$$

$$Pe = \frac{(P' - 0,2 \cdot S)^2}{(P' + 0,8 \cdot S)}$$



Onde:

N = Número da curva representativa do complexo solo-vegetação-utilização da área;

S = Variável dependente da retenção e infiltração da bacia;

Pe = Precipitação efetiva, em polegadas;

P' = Precipitação total, em polegadas.

A precipitação total é retirada das relações de altura-duração-recorrência, para períodos de tempo unitário ( $\Delta t$ ). Quando a área da bacia hidrográfica for maior que 25 km<sup>2</sup>, a precipitação deverá ser corrigida, utilizando-se a seguinte expressão:

$$P' = P \cdot \left(1 - 0,10 \cdot \log \frac{A}{25}\right)$$

Onde:

P' = precipitação total corrigida, em centímetros;

P = precipitação total real, em centímetros;

A = área da bacia hidrográfica, em quilômetros quadrados.

#### ✓ **Cálculo das Ordenadas do Hidrograma (Qi)**

Para o cálculo das ordenadas do Hidrograma Unitário, procede-se da seguinte forma:

Para  $t_i \leq t_p$ , emprega-se a equação:

$$q_i = \frac{q_p \cdot t_i}{t_p}$$

E, para  $t_i > t_p$ , emprega-se a equação:

$$q_i = q_p \cdot \frac{t_b - t_i}{t_r}$$

Onde  $t_i$  = duração da precipitação.

### ✓ **Hidrograma de Projeto**

Conhecidas as precipitações efetivas para cada duração, procede-se ao cálculo das vazões de projeto através da “Álgebra dos Hidrogramas”, ou seja, multiplicando-se as precipitações efetivas pelas ordenadas do Hidrograma Unitário, retiradas a intervalos de tempo iguais ao intervalo unitário considerado.

Os valores das descargas do hidrograma de projeto serão dados por:

$$Q_i = Pe_1 \cdot q_i + Pe_2 \cdot q_{i-1} + Pe_3 \cdot q_{i-2} + \dots + Pe_n \cdot q_{i-(n-1)}$$

### **c) Métodos Estatísticos Diretos**

Estes métodos baseiam-se na análise probabilística dos registros fluviométricos existentes em determinado curso d’água.

Para elaboração deste método são necessários alguns procedimentos / estudos mínimos para determinação dos valores caudais de projeto, os quais são:

- Determinação da série de vazões máximas anuais (ideal que as séries históricas sejam superiores a 25 anos);
- Análise de homogeneidade da série;
- Escolha da função de distribuição de probabilidade;
- Determinação das vazões máximas em função do período de recorrência.

## 5. AVALIAÇÃO HIDRÁULICA DAS TRAVESSIAS

Os critérios utilizados para a verificação da capacidade hidráulica das travessias atuais e de seu eventual reforço de seção caudal são aqueles apresentados nas instruções de projeto do DER/SP: IP-DE-H00/001 e 002, Instruções de Projeto de Estudos Hidrológicos e de Projeto de Drenagem, respectivamente.

Além da verificação em regime de escoamento livre, verificou-se a capacidade quanto ao controle de entrada e de saída, este último, principalmente em travessias de grandes extensões e baixas declividades.

Para o referente estudo, verificou-se a necessidade de ampliação somente das travessias onde o projeto interferisse. A seguir é apresentada uma tabela resumo das áreas encontradas de acordo com a planta de bacias DE-SP0000083-012.022-007-H01/001.

BACIAS ETAPA 1	ÁREA (ha)	MÉTODO DE CÁLCULO
1E	13.96	RACIONAL
2E	9.67	RACIONAL
3E	4.89	RACIONAL
4E	22855.96	HUT
1D	2.98	RACIONAL
2D	5.83	RACIONAL
3D	5.97	RACIONAL

Seguindo a Instrução de Projeto do DER/SP – IP-DE-H00/001 – Estudos Hidrológicos e a IP-DE-H00/002 – Projeto de Drenagem, foram adotados para a avaliação das travessias das bacias que influenciam com o prolongamento da SP-083, os seguintes valores:

- Bueiros de talvegue serão calculados para  $T_r=25$  anos de recorrência e verificados para  $T_r=100$  anos, considerando  $\phi_{\min} = 1,00\text{m}$
- Para a avaliação do controle de entrada das travessias a serem implantadas, será adotado um limite de  $H_w/D=1,20$ .

## 5.1. Bacia 1E

A bacia estudada encontra-se à esquerda da rodovia, com travessia próxima ao km 13+790. Sua ocupação é formada basicamente por pequenas propriedades agrícolas, onde cada propriedade possui uma residência, e alguns sítios. A região já possui arruamento, parte em terra, e o restante já asfaltada.

A bacia apresenta área de 13,96 ha ou 0,1369 km<sup>2</sup>, inferior a 2,00 km<sup>2</sup>; logo, o método utilizado para o cálculo das vazões de projeto foi o Método Racional.

Seguem abaixo os dados físicos e as vazões de projeto desta bacia.

NÚMERO DA BACIA	km	ÁREA (ha)	COMPRIMENTO (m)	DESNÍVEL (m)	DECLIVIDADE MÉDIA (m/km)	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (min.)
BACIA 1E	13+790	13,96	613,00	41,00	66,70	0,35	10,00
INTENSIDADE DA CHUVA (mm/min.)				VAZÃO (m³/s)			
10 ANOS	25 ANOS	50 ANOS	100 ANOS	10 ANOS	25 ANOS	50 ANOS	100 ANOS
2,408	2,783	3,105	3,464	1,961	2,266	2,528	2,821

Com base nos valores do dimensionamento hidráulico e do controle de entrada, o bueiro a ser adotado será de Ø1,20m.

Seguem os valores de carga hidráulica para o controle de entrada do BSTC:

- TR = 10 anos -> Hw = 0,99 m, Hw / D = 0,82 < 1,20
- TR = 25 anos -> Hw = 1,12 m, Hw / D = 0,93 < 1,20
- TR = 50 anos -> Hw = 1,24 m, Hw / D = 1,04 < 1,20
- TR = 100 anos -> Hw = 1,40 m, Hw / D = 1,17 < 1,20 ∴ OK

Logo, o BSTC Ø1,20m atende ao limite da carga hidráulica a montante.

A cota de montante do tubo até a borda da rodovia tem aproximadamente 5,0m. A vazão de 100 anos não irá atingir a plataforma da rodovia e também não irá alagar propriedades lindeiras.

## 5.2. Bacia 2E

A bacia estudada encontra-se à esquerda da rodovia, com travessia próxima ao km 14+465. Sua ocupação é formada basicamente por pequenas propriedades agrícolas, onde cada propriedade possui uma residência, e alguns sítios. A região já possui arruamento, parte em terra, e o restante já asfaltada.

A bacia apresenta área de 9,67 ha ou 0,0967 km<sup>2</sup>, inferior a 2,00 km<sup>2</sup>; logo, o método utilizado para o cálculo das vazões de projeto foi o Método Racional.

Seguem abaixo os dados físicos e as vazões de projeto desta bacia.

NÚMERO DA BACIA	km	ÁREA (ha)	COMPRIMENTO (m)	DESNÍVEL (m)	DECLIVIDADE MÉDIA (m/km)	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (min.)
BACIA 2E	14+465	9,67	521,00	23,00	46,86	0,40	10,00
INTENSIDADE DA CHUVA (mm/min.)				VAZÃO (m³/s)			
10 ANOS	25 ANOS	50 ANOS	100 ANOS	10 ANOS	25 ANOS	50 ANOS	100 ANOS
2,408	2,783	3,105	3,464	1,552	1,794	2,002	2,233

Com base nos valores do dimensionamento hidráulico e do controle de entrada, o bueiro a ser adotado será de Ø1,20m.

Seguem os valores de carga hidráulica para o controle de entrada do BSTC:

- TR = 10 anos -> Hw = 0,84 m, Hw / D = 0,70 < 1,20
- TR = 25 anos -> Hw = 0,92 m, Hw / D = 0,77 < 1,20

- TR = 50 anos -> Hw = 1,00 m, Hw / D = 0,83 < 1,20
- TR = 100 anos -> Hw = 1,10 m, Hw / D = 0,92 < 1,20 ∴ OK

Logo, o BSTC Ø1,20m atende ao limite da carga hidráulica a montante.

A travessia encontra-se numa região de corte, com aproximadamente 18,0m de altura. A precipitação que ocorre nessa bacia será captada com valetas de proteção e encaminhada pelo bueiro de grotá até o deságüe no talvegue existente.

### 5.3. Bacia 3E

A bacia estudada encontra-se à esquerda da rodovia, com travessia próxima ao km 14+670. Sua ocupação é formada basicamente por pequenas propriedades agrícolas, onde cada propriedade possui uma residência, e alguns sítios. A região já possui arruamento, parte em terra, e o restante já asfaltado.

A bacia apresenta área de 4,89 ha ou 0,0489 km<sup>2</sup>, inferior a 2,00 km<sup>2</sup>; logo, o método utilizado para o cálculo das vazões de projeto foi o Método Racional.

Seguem abaixo os dados físicos e as vazões de projeto desta bacia.

NÚMERO DA BACIA	km	ÁREA (ha)	COMPRIMENTO (m)	DESNÍVEL (m)	DECLIVIDADE MÉDIA (m/km)	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (min.)
BACIA 3E	14+670	4,89	255,00	27,00	120,08	0,40	10,00
INTENSIDADE DA CHUVA (mm/min.)				VAZÃO (m³/s)			
10 ANOS	25 ANOS	50 ANOS	100 ANOS	10 ANOS	25 ANOS	50 ANOS	100 ANOS
2,408	2,783	3,105	3,464	0,785	0,907	1,012	1,129

De acordo com o IP-DE-H00/002 – Projeto de Drenagem, o bueiro mínimo a ser adotado será de Ø1,00m.

Seguem os valores de carga hidráulica para o controle de entrada do BSTC:

- TR = 10 anos ->  $H_w = 0,63 \text{ m}$ ,  $H_w / D = 0,63 < 1,20$
- TR = 25 anos ->  $H_w = 0,67 \text{ m}$ ,  $H_w / D = 0,67 < 1,20$
- TR = 50 anos ->  $H_w = 0,71 \text{ m}$ ,  $H_w / D = 0,71 < 1,20$
- TR = 100 anos ->  $H_w = 0,77 \text{ m}$ ,  $H_w / D = 0,77 < 1,20$  ∴ OK

Logo, o BSTC  $\varnothing 1,00\text{m}$  atende ao limite da carga hidráulica a montante.

A cota de montante do tubo até a borda da rodovia tem aproximadamente 2,0m. A vazão de 100 anos não irá atingir a plataforma da rodovia e também não irá alagar propriedades lindeiras.

#### **5.4. Bacia 4E**

A bacia 4E refere-se à bacia do Rio Capivari, na altura do km 17+500.

Um estudo a parte já foi elaborado e está representado no relatório com código nº MD-SP0000083-012.022-007-H01/002.

#### **5.5. Bacia 1D**

A bacia estudada encontra-se à direita da rodovia, com travessia próxima ao km 15+870. Sua ocupação é formada na sua grande maioria por áreas de cultivo, e um pouco de vegetação rasteira e arbustos.

A bacia apresenta área de 2,98 ha ou 0,0298 km<sup>2</sup>, inferior a 2,00 km<sup>2</sup>; logo, o método utilizado para o cálculo das vazões de projeto foi o Método Racional.

Seguem abaixo os dados físicos e as vazões de projeto desta bacia.

NÚMERO DA BACIA	km	ÁREA (ha)	COMPRIMENTO (m)	DESNÍVEL (m)	DECLIVIDADE MÉDIA (m/km)	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (min.)
BACIA 1D	15+870	2,98	158,00	24,00	176,33	0,35	10,00
INTENSIDADE DA CHUVA (mm/min.)				VAZÃO (m³/s)			
10 ANOS	25 ANOS	50 ANOS	100 ANOS	10 ANOS	25 ANOS	50 ANOS	100 ANOS
2,408	2,783	3,105	3,464	0,419	0,484	0,540	0,602

De acordo com o IP-DE-H00/002 – Projeto de Drenagem, o bueiro a ser adotado será de Ø1,00m.

Seguem os valores de carga hidráulica para o controle de entrada do BSTC:

- TR = 10 anos ->  $H_w = 0,54$  m,  $H_w / D = 0,54 < 1,20$
- TR = 25 anos ->  $H_w = 0,55$  m,  $H_w / D = 0,55 < 1,20$
- TR = 50 anos ->  $H_w = 0,56$  m,  $H_w / D = 0,56 < 1,20$
- TR = 100 anos ->  $H_w = 0,58$  m,  $H_w / D = 0,58 < 1,20$  ∴ OK

Logo, o BSTC Ø1,00m atende ao limite da carga hidráulica a montante.

A cota de montante do tubo até a borda da rodovia tem aproximadamente 17,0m. A vazão de 100 anos não irá atingir a plataforma da rodovia e também não irá alagar propriedades lindeiras.

## 5.6. Bacia 2D

A bacia estudada encontra-se à direita da rodovia, com travessia próxima ao km 16+890. Sua ocupação é formada na sua grande maioria por campos abertos, e um pouco de vegetação rasteira e arbustos.

A bacia apresenta área de 5,83 ha ou 0,0583 km², inferior a 2,00 km²; logo, o método utilizado para o cálculo das vazões de projeto foi o Método Racional.



Seguem abaixo os dados físicos e as vazões de projeto desta bacia.

NÚMERO DA BACIA	km	ÁREA (ha)	COMPRIMENTO (m)	DESNÍVEL (m)	DECLIVIDADE MÉDIA (m/km)	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (min.)
BACIA 2D	16+890	5,83	297,00	20,00	93,09	0,35	10,00
INTENSIDADE DA CHUVA (mm/min.)				VAZÃO (m³/s)			
10 ANOS	25 ANOS	50 ANOS	100 ANOS	10 ANOS	25 ANOS	50 ANOS	100 ANOS
2,408	2,783	3,105	3,464	0,819	0,946	1,056	1,178

De acordo com o IP-DE-H00/002 – Projeto de Drenagem, o bueiro a ser adotado será de Ø1,00m.

Seguem os valores de carga hidráulica para o controle de entrada do BSTC:

- TR = 10 anos ->  $H_w = 0,64$  m,  $H_w / D = 0,64 < 1,20$
- TR = 25 anos ->  $H_w = 0,69$  m,  $H_w / D = 0,69 < 1,20$
- TR = 50 anos ->  $H_w = 0,73$  m,  $H_w / D = 0,73 < 1,20$
- TR = 100 anos ->  $H_w = 0,79$  m,  $H_w / D = 0,79 < 1,20$  ∴ OK

Logo, o BSTC Ø1,00m atende ao limite da carga hidráulica a montante.

A cota de montante do tubo até a borda da rodovia tem aproximadamente 6,0m. A vazão de 100 anos não irá atingir a plataforma da rodovia e também não irá alagar propriedades lindeiras.

## 5.7. Bacia 3D

A bacia estudada encontra-se à direita da rodovia, com travessia próxima ao km 17+250. Sua ocupação é formada por uma boa parte de campos abertos, com um pouco de vegetação rasteira e arbustos, e uma boa porção por árvores de médio porte. No extremo da divisa de bacia à noroeste, encontra-se uma área para mineração.

A bacia apresenta área de 5,97 ha ou 0,0597 km², inferior a 2,00 km²; logo, o método utilizado para o cálculo das vazões de projeto foi o Método Racional.

Seguem abaixo os dados físicos e as vazões de projeto desta bacia.

NÚMERO DA BACIA	km	ÁREA (ha)	COMPRIMENTO (m)	DESNÍVEL (m)	DECLIVIDADE MÉDIA (m/km)	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (min.)
BACIA 3D	17+250	5,97	345,00	32,00	93,91	0,30	10,00
INTENSIDADE DA CHUVA (mm/min.)				VAZÃO (m³/s)			
10 ANOS	25 ANOS	50 ANOS	100 ANOS	10 ANOS	25 ANOS	50 ANOS	100 ANOS
2,408	2,783	3,105	3,464	0,719	0,831	0,927	1,034

De acordo com o IP-DE-H00/002 – Projeto de Drenagem, o bueiro a ser adotado será de Ø1,00m.

Seguem os valores de carga hidráulica para o controle de entrada do BSTC:

- TR = 10 anos ->  $H_w = 0,61 \text{ m}$ ,  $H_w / D = 0,61 < 1,20$
- TR = 25 anos ->  $H_w = 0,64 \text{ m}$ ,  $H_w / D = 0,64 < 1,20$
- TR = 50 anos ->  $H_w = 0,68 \text{ m}$ ,  $H_w / D = 0,68 < 1,20$
- TR = 100 anos ->  $H_w = 0,72 \text{ m}$ ,  $H_w / D = 0,72 < 1,20$  ∴ OK

Logo, o BSTC Ø1,00m atende ao limite da carga hidráulica a montante.

A cota de montante do tubo até a borda da rodovia tem aproximadamente 10,0m. A vazão de 100 anos não irá atingir a plataforma da rodovia e também não irá alagar propriedades lindeiras.

## 5.8. Quadro resumo de todas as bacias

QUADRO RESUMO DAS BACIAS															
BACIA	km	ÁREA (ha)	COMPR. (m)	DESNÍVEL (m)	TC (min.)	C	N	TR = 25 ANOS		TR = 50 ANOS		TR = 100 ANOS		OBRA PROJETADA	OBSERVAÇÃO
								i (mm/min)	Qp (m³/s)	i (mm/min)	Qp (m³/s)	i (mm/min)	Qp (m³/s)		
1D	15+870	2.98	158.00	24.00	10.00	0.35	-	2.783	0.484	3.105	0.540	3.464	0.602	BSTC Ø1,00	
2D	16+890	5.83	297.00	20.00	10.00	0.35	-	2.783	0.946	3.105	1.056	3.464	1.178	BSTC Ø1,00	
3D	17+250	5.97	345.00	32.00	10.00	0.30	-	2.783	0.831	3.105	0.927	3.464	1.034	BSTC Ø1,00	
1E	13+790	13.96	613.00	41.00	10.00	0.35	-	2.783	2.266	3.105	2.528	3.464	2.821	BSTC Ø1,20	
2E	14+465	9.67	521.00	23.00	10.00	0.40	-	2.783	1.794	3.105	2.002	3.464	2.233	BSTC Ø1,20	
3E	14+670	4.89	255.00	27.00	10.00	0.40	-	2.783	0.907	3.105	1.012	3.464	1.129	BSTC Ø1,00	
4E	VER RELATÓRIO MD-SP0000083-012.022-007-H01/002														