



**MEMÓRIA DE CÁLCULO
REGULARIZAÇÃO DE DRENAGEM
BAIRRO MONTE AZUL**

ABRIL 2021

Referências Cadastrais

Cliente	Prefeitura Municipal de Pouso Alegre
Localização	Pouso Alegre, MG.
Título	Regularização de Drenagem Bairro Monte Azul
Contato	Rinaldo Lima Oliveira
E-mail	rinaldololiveira@gmail.com
Líder do Projeto:	Flávia Cristina Barbosa
Coordenador:	Aloisio Caetano Ferreira
Projeto/centro de custo:	ATA 91/2020
Data do documento:	29/04/2021

Elaborador/Autor	Denis de Souza Silva	Engenheiro Hídrico
Verificador/aprovador	Aloisio Caetano Ferreira	Coordenador de Projeto

Isenção de Responsabilidade:

Este documento é confidencial, destinando-se ao uso exclusivo do cliente, não podendo ser reproduzido por qualquer meio (impresso, eletrônico e afins) ainda que em parte, sem a prévia autorização escrita do cliente.

Equipe Técnica

Coordenação

Aloisio Caetano Ferreira	Engenheiro Hídrico
Nº CREA: MG 97.132/D	Nº ART:

Responsável técnico

Denis de Souza Silva	Engenheiro Hídrico
Nº CREA: MG 127.216/D	Nº ART:

Elaboração

Márcia Regina	Assistente Administrativa
Rafael Wasem	Auxiliar de Topografia
Antônio Galvão Jr	Design de Interiores
Érika Prudente	Engenheira Ambiental
Abraão Ramos	Engenheiro Civil
Camila Andrade	Engenheira Civil
Daliani Pereira	Engenheira Civil
Diego Moutinho	Engenheiro Civil
Felipe Guimarães	Engenheiro Civil
Flávia Barbosa	Engenheira Civil
Jonas Guerreiro	Engenheiro Civil
Mara Lucy	Engenheira Civil
Pedro Henrique Justiniano	Engenheiro Civil
Thais Coimbra	Engenheira Civil
Tulio Lemos	Engenheiro Civil
William Baradel	Engenheiro Civil
Giovanni Petrucci	Engenheiro Eletricista
Aloisio Caetano Ferreira	Engenheiro Hídrico
Denis Silva	Engenheiro Hídrico
Henrique Biasi	Engenheiro Hídrico
Igor Lopes	Engenheiro Hídrico

Guilherme Lacerda Lima	Engenheiro de Materiais
Geraldo Tiago Filho	Engenheiro Mecânico
German Lozano	Engenheiro Mecânico
Pedro Costa	Engenheiro Mecânico
Tamara Ventura	Estag. Engenharia Ambiental e Sanitária
Giulia Camerini	Estag. Biologia
Bianca Baruk Rosa	Estag. Engenharia Civil
Cristofer Lucas	Estag. Engenharia Civil
Erica de Souza	Estag. Engenharia Civil
Faycon Crister	Estag. Engenharia Civil
Gabriel Santos	Estag. Engenharia Civil
Gabriel Gomes	Estag. Engenharia Civil
Hans Araujo	Estag. Engenharia Civil
Isabela Couto	Estag. Engenharia Civil
Letícia Noda	Estag. Engenharia Civil
Luana Brandão	Estag. Engenharia Civil
Marcela Cabral	Estag. Engenharia Civil
Thallis Eduardo Cabral	Estag. Engenharia Civil
Nathália Souza	Estag. Engenharia Hídrica
Júlio Del Ducca	Estag. Engenharia Mecânica

1. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos irão determinar as descargas máximas nas áreas em estudo, a fim de dar base ao dimensionamento das estruturas hidráulicas do sistema de drenagem em questão. Para isso, é necessário o diagnóstico do regime pluvial e da natureza das precipitações intensas da região, como é apresentado a seguir.

1.1. METODOLOGIA APLICADA

Para a determinação da precipitação máxima utilizou-se a equação que correlaciona os parâmetros intensidade, duração e frequência de chuvas. Essa relação permite ainda a obtenção de precipitações máximas para diferentes Tempos de Concentração – t_c , e Períodos de Retorno – TR. Nas estimativas de vazões a partir de dados de chuva a grandeza utilizada é a Precipitação Excedente, pelo fato de esta contribuir efetivamente para a formação do escoamento superficial.

As vazões de projeto podem ser estimadas através de métodos estatísticos diretos e indiretos. Estas metodologias são determinadas de acordo com as dimensões das áreas de drenagem, da seguinte forma:

- Sub-bacias com áreas de até 5 km²: utiliza-se o Método Racional;
- Sub-bacias com áreas entre 5 km² e 10 km²: utiliza-se o Método Racional Corrigido;
- Sub-bacias com área acima de 10 km²: utiliza-se o Método de Ven Te Chow.

Desta forma, como a bacia do projeto possui uma área menor que 5 Km², utilizou-se o método racional.

1.2. MÉTODO RACIONAL

O método mais utilizado para o cálculo da vazão a partir da transformação de chuva em vazão para análise em pequenas bacias hidrográficas é o método racional, devido à simplicidade de aplicação e facilidade do conhecimento e controle dos parâmetros necessários.

Admite-se, na sua aplicação, que a chuva apresente uma intensidade constante, uniformemente distribuída sobre a superfície da bacia, e que sua duração seja maior ou igual ao tempo de concentração na bacia. Como a intensidade de chuva decresce com o aumento da duração, a descarga máxima resulta de uma chuva com duração igual ao tempo de concentração da bacia.

Este método, descrito matematicamente pela Equação 1, representa uma relação entre a vazão máxima de escoamento superficial e a intensidade de precipitação, dependendo das seguintes variáveis para a sua determinação: tipo de solo e do uso da terra, duração e intensidade da chuva e características físicas da rede de drenagem existente.

$$Q = 0,00278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Equação 1: Método Racional

Onde:

- Q: Vazão de projeto (m³/s);
- C: Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);
- i: Intensidade da chuva de projeto (mm/h);
- A: Área de drenagem (ha).

1.2.1. COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Coeficiente também denominado por deflúvio superficial ou coeficiente de “runoff”. Variável determinada em função de uma série de fatores, como o tipo do solo, ocupação da bacia, umidade antecedente, intensidade da chuva e outros. Assim, devido às diversas condições e combinações dos fatores citados, apenas parte do volume precipitado sobre a bacia atinge a seção sob a forma de escoamento superficial. Portando adotou-se um coeficiente de escoamento superficial de 0,75, para a área urbanizada, 0,50 para área de aterro, e 0,35 para a área que contém pastagem, conforme valores indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Coeficiente de escoamento superficial

DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DAS BACIAS TRIBUTÁRIAS	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO “C”
Ruas	
Asfalto	0,70 a 0,95
Concreto	0,80 a 0,95
Gramados; solos arenosos	
Plano, 2%	0,05 a 0,10
Médio 2 a 7%	0,10 a 0,15
Íngreme, 7%	0,15 a 0,20
Gramados; solo compacto	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Médio 2 a 7%	0,18 a 0,22
Íngreme, 7%	0,15 a 0,35

1.2.2. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E PERÍODO DE RETORNO

O tempo de concentração é considerado o período, em minutos, que uma gota de água de chuva cai no ponto mais distante da bacia, demora a chegar até a seção de análise. Devido às características das curvas de intensidade, duração e frequência da chuva, o tempo de concentração inicial mínimo adotado para as bacias é de 10 minutos, sendo este mais crítico ao adotado pelo caderno de encargos de Pouso Alegre-MG.

O tempo de retorno ou período de retorno de uma chuva representa o risco que o empreendimento ou projeto está assumindo no dimensionamento de uma obra hidráulica. Ou seja, qual é o grau de segurança que se deseja proporcionar ao empreendimento, sendo que ele é o inverso da frequência com que a chuva ou vazão venha a ser igualada ou ultrapassada num ano qualquer.

Para escolher qual o tempo de retorno que irá utilizar no dimensionamento do projeto hidráulico é importante analisar os prejuízos tangíveis e intangíveis que

possam a vir a ser causados por eventos extremos de chuva. Portanto, para o empreendimento em questão foi adotado o período de retorno (TR) igual a 10 anos.

1.2.3. INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

As equações I-D-F, também conhecidas como equação de chuva, são usadas para determinar a intensidade máxima de chuva de um determinado local.

Para cada região, os parâmetros K, a, b e c da equação de intensidade, duração e frequência (Equação 2) são ajustados por meio de regressão linear e não linear. Estes parâmetros (K, a, b e c) são definidos por uma série histórica de dados de chuvas, de mais ou menos 30 anos. Além disso, alterando a frequência e o tempo de concentração é possível obter uma intensidade diferente de chuva para uma mesma região.

$$Im = \frac{K \cdot (TR)^a}{(tc + b)^c}$$

Equação 2 - Equação de Chuva Intensa

Onde:

- Im – Intensidade máxima média de precipitação (mm/h);
- TR- Período de Retorno (anos)
- tc – Tempo de concentração (min);
- K, a, b e c- Parâmetros ajustados com base nos dados pluviométricos da localidade.

No empreendimento em questão, foi utilizada equação de chuva do município de Pouso Alegre gerada pela interpolação de dados do software Plúvio 2.1. Assim, obteve-se a seguinte Intensidade máxima média de precipitação:

$$Im = \frac{667,338 \cdot (10)^{0,184}}{(10 + 20,869)^{0,635}} = 115,478 \text{ mm/h}$$

1.2.4. VAZÃO

A vazão calculada sintetiza as considerações e cálculos realizados em relação ao tempo de concentração do escoamento e à intensidade de chuva, ao coeficiente de escoamento superficial e a área de contribuição de cada sub- bacia do projeto.

2. PROJETO DE DRENAGEM

O projeto de drenagem objetiva definir os dispositivos de coleta, condução e deságue das águas superficiais que precipitam sobre o terreno, bem como sobre os taludes e áreas que convergem ao mesmo.

2.1. VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE ESCOAMENTO DA SARJETA

Para assegurar o bom funcionamento do escoamento superficial, as guias e sarjetas das vias públicas serão limitadas por uma lâmina d'água de largura máxima de 1,67 metros e a sarjeta adotada será do tipo B, conforme 1.

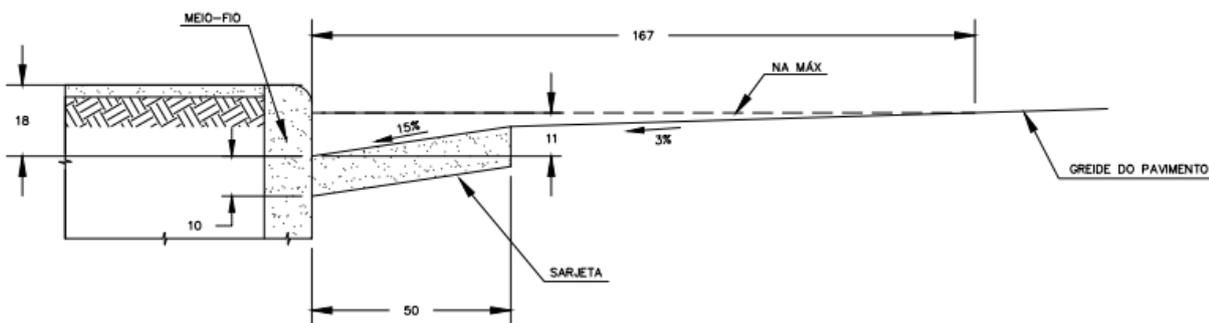


Figura 1: Sarjeta tipo B

Sua vazão pode ser calculada pelo método de Izzard/Manning, conforme a equação a seguir:

$$Q = 0,375 \frac{Z}{n} * y^{\frac{8}{3}} * \sqrt{i}$$

Onde:

- Q= vazão (m³/s);
- Z= inverso da declividade transversal;
- i= declividade longitudinal (m/m);
- y= profundidade junto à linha de fundo (m);
- n= coeficiente de rugosidade.

Considerando as características hidráulicas da sarjeta (2), a vazão pode ser calculada pela soma algébrica em cada uma das seções triangulares (seção da sarjeta mais seção da via, descontando sua interseção), conforme 3.

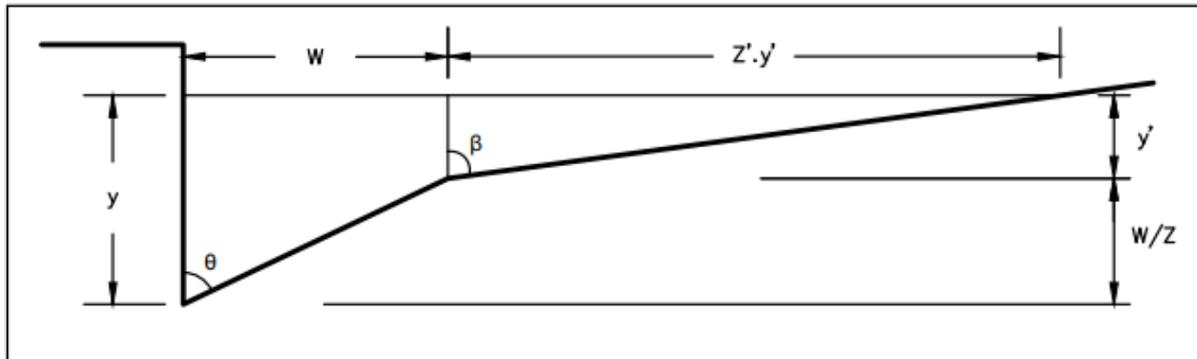


Figura 2: Característica hidráulica da sarjeta.

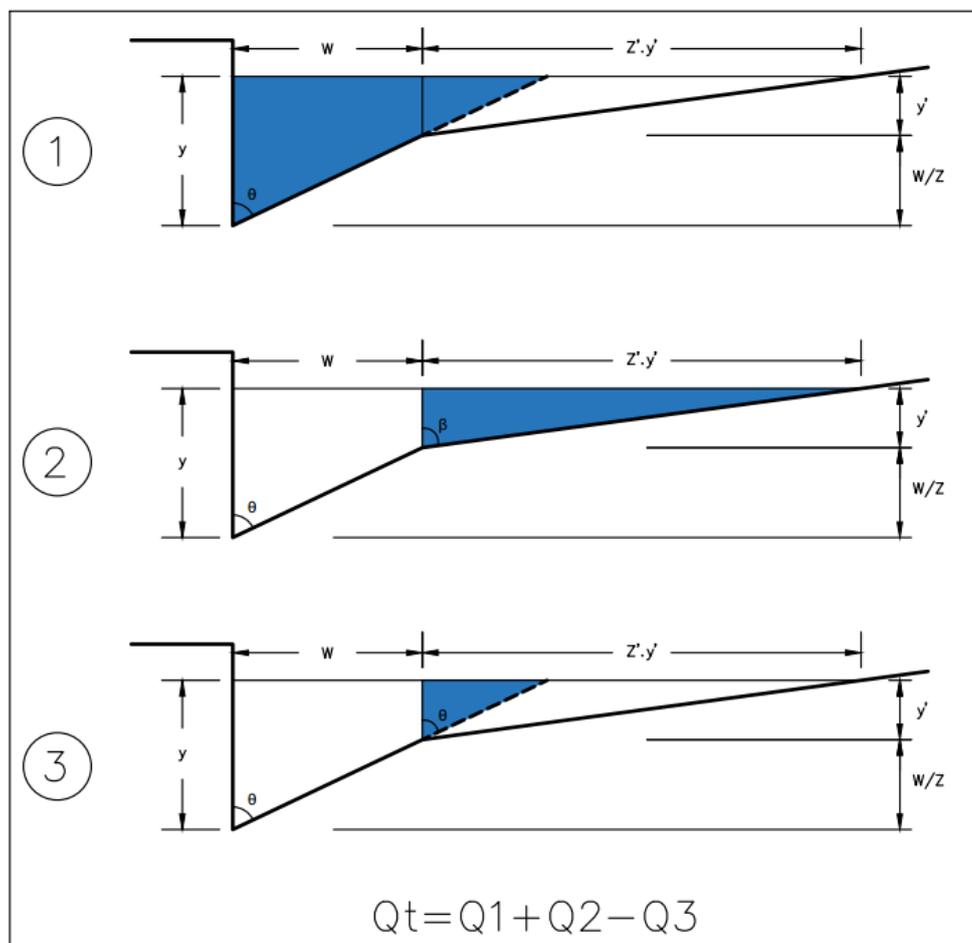


Figura 3: Detalhes hidráulicos das sarjeta.

A verificação da capacidade de escoamento da sarjeta foi realizada calculando a área máxima de escoamento que a sarjeta suporta, considerando-se uma faixa de alagamento máxima de 1,67 metros.

2.2. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DAS GALERIAS

O dimensionamento hidráulico é realizado junto à verificação das vias considerando simultaneamente os tópicos a seguir. Este é mostrado na tabela do Anexo I.

2.2.1. Posicionamento

As galerias deverão ser posicionadas no eixo das vias públicas, devendo ser previstas sempre que houver pelo menos uma das seguintes situações:

- Vazão contribuinte maior do que a capacidade de escoamento das vias;
- Velocidade de escoamento nas vias maior que 5,00 m/s;
- Existência de pontos baixos, onde deverão ser implantadas bocas de lobo.

Após a locação do primeiro poço de visita com as respectivas bocas de lobo, são distribuídos outros poços de visitas conforme a necessidade de novos pontos de coleta do escoamento superficial, curvas em planta ou alterações de declividade ou diâmetro de tubulação. Cada captador tem um limite de capacidade de esgotamento de acordo com o tipo de boca de lobo utilizado.

2.2.2. Diâmetro mínimo

Foi adotado como parâmetro de projeto o diâmetro mínimo de 0,80 m para galeria. Para ligações de ramais entre bocas de lobo e poços de visita adotou-se o diâmetro mínimo de 0,50m.

2.2.3. Cálculo da vazão na galeria

Na mesma etapa do projeto, para o dimensionamento, verifica-se a vazão para cada trecho entre PVs, através do somatório de vazões dos captadores (Exemplo: bocas de lobo contribuintes) e dos ramais de galeria à montante.

2.2.4. Velocidade de escoamento

A velocidade do escoamento é um parâmetro fundamental na definição da galeria a ser projetada ou verificada hidráulicamente. Se, em função da declividade do conduto e de suas dimensões o fluxo na galeria apresentar velocidades baixas, poderá ocorrer assoreamento ao longo de sua extensão. Porém, se a declividade for acentuada e a velocidade ultrapassar o limite máximo recomendado é necessário à adequação da declividade ou o redimensionamento do conduto, de forma a evitar a ocorrência de fenômenos erosivos no interior da galeria, mantendo o tempo de vida útil de seus dispositivos.

Assim, os limites de velocidade d'água no interior das galerias serão os seguintes:

- $V_{\text{mín.}} = 0,75$ (m/s);
- $V_{\text{máx.}} = 6,00$ (m/s) (ou velocidade de seção plena).

A velocidade pode ser calculada através da Equação 3.

$$v = \frac{R_h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I}}{n}$$

Equação 3 – Velocidade

Onde:

- v – Velocidade (m/s);
- I – Declividade do conduto (m/m);
- R_h – Raio hidráulico (m);
- n – Coeficiente de rugosidade (adimensional).

O raio hidráulico (R_h) é obtido por meio da Equação 4:

$$R_h = \frac{A_m}{R_m}$$

Equação 4 - Raio hidráulico

Em que:

- A_m – Área da seção molhada (m^2);
- P_m – Perímetro molhado (m).

O coeficiente de rugosidade é adotado conforme o material empregado no dispositivo, como determinado na 2.

Tabela 2 – Valores do coeficiente de rugosidade para diferentes materiais de revestimento

Material	Coeficiente (n)
Tubos em PEAD	0,010
Galerias ou bueiros em concreto	0,014
Canais trapezoidais ou retangulares:	
Em concreto	0,013
Alvenaria de Pedra Argamassada	0,025
Em gabiões	0,029
Em gabiões revestidos com concreto magro	0,018
Sem revestimento	0,030
Asfalto	0,013
Em concreto irregular	0,033
Revestido com grama em placas	0,030
Revestido com enrocamento bem construído	0,030
Concreto para sarjeta	0,015

2.2.5. Capacidade máxima da galeria

Para a obtenção do valor máximo suportado pela via e para o dimensionamento das galerias é empregada a equação da continuidade. Assim, a vazão máxima à seção plena nos condutos é obtida pela equação a seguir.

$$Q = v \cdot S$$

Equação 5 - Vazão

Em que:

- Q – Vazão (m³/s);
- v – Velocidade a seção plena, apresentada no Item 2.2.7: Velocidade de escoamento (m/s);
- S – Área da seção (m²).

Portanto, como critério de dimensionamento, a capacidade máxima da galeria deve ser superior à vazão que se deseja transportar.

2.2.6. Recobrimento mínimo da galeria

Nos locais por onde a tubulação passa e que fazem parte do sistema viário foi utilizado o recobrimento mínimo de 1 metro de forma a garantir a segurança estrutural das galerias, exceto nos locais onde não haverá pavimento que foi adotado 60 centímetros de recobrimento mínimo.

2.2.7. Descarte

O descarte será realizado na Avenida Scodeler, próximo a Água Mineral Pouso Alegre, onde foi projetado um ramal de espera, conforme indica o projeto.

2.2.8. Dimensionamento hidráulico das canaletas

O dimensionamento hidráulico das canaletas foi realizado conforme o livro *Hidráulica Básica* de Rodrigo de Melo Porto, com a utilização da tabela de cálculo da altura d'água normal. O seu dimensionamento pode ser verificado nas tabelas 3 e 4 abaixo.

Tabela 3: Dimensionamento das canaletas parte 1.

CANALETA	COMP. L (m)	VAZÃO Q (m³/s)	COEFICIENTE MANNING n	DECLIVIDADE I0 (m/m)	TIPOS DE CANALETAS			Z (m)	FOLGA f (m)
					TIPO	BASE b(m)	ALTURA (h)		
1	86,70	0,241	0,02	0,077	DR-3B-7	0,40	0,40	1	0,08
2	82,30	0,218	0,02	0,042	DR-3B-7	0,40	0,40	1	0,08
3	135,80	0,309	0,02	0,025	DR-3B-7	0,40	0,40	1	0,08
4	91,80	0,200	0,02	0,050	DR-3B-7	0,40	0,40	1	0,08
5	75,00	0,050	0,02	0,072	DR-3B-7	0,40	0,40	1	0,08

Tabela 4: Dimensionamento das canaletas parte 2.

COEF. K2	m = y0/b	ALTURA D'ÁGUA y0 (m)	ALTURA TOTAL yt (m)	VERIFICA ALTURA	ÁREA MOLHADA Am (m²)	PERÍMETRO MOLHADO Pm (m)	RAIO HIDRÁULICO Rh (m)	VEL. V (m/s)	BASE MAIOR B (m)
0,200	0,697	0,2786	0,36	OK	0,1891	1,1881	0,16	4,07	1,12
0,245	0,067	0,0269	0,11	OK	0,0115	0,4760	0,02	0,85	0,61
0,446	0,259	0,1037	0,18	OK	0,0522	0,6933	0,08	1,42	0,77
0,206	0,376	0,1504	0,23	OK	0,0828	0,8254	0,10	2,41	0,86
0,043	0,151	0,0603	0,14	OK	0,0278	0,5706	0,05	1,79	0,68

ANEXO I : PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULI

PROJETO DE GALERIA DE ÁGUAS PLUVIAIS																							
BAIRRO MONTE AZUL																							
coef. de esc. superf. :		0,30	0,50	0,75	tc inicial =		10 min																Folha
coef. de manning Concr./PEAD:		0,013	0,010		TR =		10 anos																1
Trecho			Ext. (m)	Área de Contribuição (ha)		Δtc (min)	tc (min)	Intens. (mm/h)	Vazão (m³/s)	Seção (m)	Material	Decliv. (m/m)	Capac. Máxima seção pl. (m³/s)	Vproj (m/s)	y/D	COTAS (m)				Prof. da Galeria (m)		Degrau (m)	
				Mont.	Jus.											Parc.	Acum.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.		Mont.
1	-	2	18,00	0,957	0,957	0,17	10,00	115,478	0,230	0,80	Concreto	0,0074	1,141	1,79	0,30	838,898	839,464	836,998	836,864	1,90	2,60	0,00	
2	-	3	24,00	4,373	5,329	0,08	10,17	115,076	1,278	0,80	Concreto	0,0368	2,535	5,04	0,50	839,464	837,982	836,864	835,982	2,80	2,00	1,00	
3	-	4	58,00	0,000	5,329	0,17	10,25	114,888	1,276	0,80	Concreto	0,0504	2,969	5,73	0,46	837,982	833,558	834,982	832,058	3,00	1,50	1,00	
4	-	5	31,00	0,000	5,329	0,10	10,42	114,491	1,271	0,80	Concreto	0,0417	2,702	5,27	0,48	833,558	831,264	831,058	829,764	2,50	1,50	0,50	
5	-	6	30,00	2,510	7,839	0,09	10,52	114,259	1,510	0,80	Concreto	0,0446	2,792	5,66	0,52	831,264	829,427	829,264	827,927	2,00	1,50	0,50	
6	-	7	20,00	0,000	7,839	0,06	10,61	114,052	1,510	0,80	Concreto	0,0406	2,663	5,46	0,53	829,427	828,116	827,427	826,616	2,00	1,50	0,20	
7	-	8	34,00	1,928	9,767	0,14	10,67	113,914	1,815	1,00	Concreto	0,0172	3,142	4,12	0,54	828,116	827,532	826,416	825,832	1,70	1,70	1,00	
8	-	9	50,00	2,262	12,028	0,16	10,81	113,594	2,029	1,00	Concreto	0,0302	4,164	5,22	0,49	827,532	825,024	824,832	823,324	2,70	1,70	1,00	
9	-	10	50,00	0,000	12,028	0,16	10,97	113,231	2,029	1,00	Concreto	0,0302	4,169	5,23	0,49	825,024	822,512	822,324	820,812	2,70	1,70	2,00	
10	-	11	40,00	1,247	13,276	0,15	11,13	112,871	2,147	1,00	Concreto	0,0184	3,257	4,42	0,59	822,512	819,774	818,812	818,074	3,70	1,70	2,50	
11	-	12	35,28	0,000	13,276	0,13	11,28	112,537	2,147	1,00	Concreto	0,0205	3,434	4,61	0,57	819,774	816,900	815,574	814,850	4,20	2,05	0,50	
13	-	2	8,50	0,713	0,713	0,03	10,00	115,478	0,172	0,80	Concreto	0,1298	4,763	4,36	0,12	840,367	839,464	838,467	837,364	1,90	2,10	0,50	

