

INSTITUTO RUAS

Memória de Dimensionamento
(Pavimento e Drenagem)

Estrada CAXAMBÚ

Castro - PR

DEZEMBRO/2025

SUMÁRIO

1) Dimensionamento PAVIMENTO 02

2) Dimensionamento DRENAGEM 17

Para o dimensionamento do pavimento de concreto foi utilizado como base o método de cálculo da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) de 1993, sendo utilizado também o método *Pavement Designer*, da *American Concrete Pavement Association* (ACPA) e o da PCA/84 (*Portland Cement Association*) para algumas simulações e comparativos.

O método da AASHTO envolve a análise de vários fatores: tráfego, drenagem, clima, características do solo, capacidade de transferência de carga, nível de manutenção desejado e o grau de confiabilidade ao qual o projeto é destinado de acordo com o grau de importância do trecho. Todos esses fatores são necessários para prever o comportamento da estrutura do pavimento e impedir que o dano do pavimento atinja o nível de colapso durante sua vida útil.

A equação da AASHTO para o projeto de pavimento rígido de concreto é a seguinte:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_o + 7.35 * \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1+\frac{1.624x10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22-0.32p_t) * \log_{10}\left[\frac{S`_c C_d \left(D^{0.75}-1.132\right)}{215.63 * J\left(D^{0.75}-\frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{K}\right)^{0.25}}\right)}\right]$$

Sendo:

- W_{18}: número previsto de eixos equivalentes de 8,2t no período de projeto;
- Z_R: Confiabilidade adotada em projeto (Desvio padrão normal);
- S_0: Desvio padrão combinado, tráfego e desempenho;
- D: Espessura das lajes (in);
- ΔPSI : Variação de servicibilidade (diferença entre servicibilidade inicial e final de projeto);
- P_t: Índice de servicibilidade final;
- S_c: Módulo de ruptura do concreto (Psi);
- C_d: Coeficiente de drenagem;
- J: Coeficiente de transferência de carga;
- E_c: Módulo de elasticidade do concreto (Psi); e
- K: Módulo de Reação (coeficiente de recalque) do subleito (Psi/in).

O procedimento normal de projeto é assumir uma espessura de pavimento e começar a executar simulações de cálculo. Calculam-se os eixos equivalentes oriundos do tráfego para o período de projeto e, posteriormente, todos os fatores de projeto adicionais, buscando o equilíbrio da equação e consequentemente o resultado do cálculo.

- **PARÂMETROS DE CÁLCULO**

Descrita a equação que estabelece todas as variáveis envolvidas no dimensionamento do pavimento rígido, seguem descritos os parâmetros utilizados para o dimensionamento:

ESPESSURA

A espessura do pavimento de concreto é a variável que se pretende determinar ao realizar um dimensionamento, sendo o resultado afetado por todas as outras condicionantes envolvidas nos cálculos. A espessura deve ser a adequada para suportar os esforços de fadiga e erosão gerados pela passagem dos veículos ao longo do tempo (neste projeto, **considerou-se vida útil de 20 anos**), sendo que uma espessura muito esbelta pode ser um indicativo de maior incidência de manutenção e uma muito robusta, por sua vez, de um elevado custo inicial. O dimensionamento busca, portanto, otimizar este parâmetro. Após as simulações (5,12in / 5,51in / 5,90in / 6,30in) e demais considerações de dimensionamento obteve-se **espessura final de 15cm (5,90in)** para o pavimento de concreto a ser implantado na Estrada CAXAMBÚ, no município de Castro/PR.

Vale ressaltar a necessidade de se atentar ainda para a questão da geometria das placas, que impacta diretamente na definição da espessura de projeto, não sendo portanto um parâmetro definido exclusivamente em função do cálculo.

SERVICIBILIDADE

A servicibilidade é definida como a capacidade de um pavimento servir ao tráfego solicitante ao longo de sua vida útil de projeto. É medida em uma escala de 0 a 5, onde 0 (zero) significa que o pavimento está intransitável e 5 (cinco) que o pavimento está em excelente estado. A servicibilidade é uma medida subjetiva de qualificação do pavimento, contudo, sua especificação por meio de parâmetros mensuráveis é essencial para o dimensionamento.

O índice de servicibilidade inicial (Po) é a condição que um pavimento imediatamente após a sua construção. Utilizando-se de boas técnicas construtivas o pavimento de concreto pode ter um índice Po = 4,7 ou 4,8, representando um projeto que necessitará de pouquíssima manutenção durante o período de vida útil.

O índice de servicibilidade final (Pt) tem a ver com o estado que se espera para o pavimento ao final de sua vida útil, admitindo-se o menor valor antes da necessidade de uma completa reabilitação, reforço ou reconstrução.

Como referência pode-se mencionar a tabela a seguir onde se especificam os valores de Pt recomendados no México:

Tipo de camino	Serviciabilidad final (Pt)
Autopistas	2.5
Carreteras	2.0
Zonas industriales	1.8
Pavimentos urbanos Principales	1.8
Pavimentos urbanos secundarios	1.5

Trata-se apenas de referência, pois conforme mencionado anteriormente, este é um parâmetro subjetivo estritamente ligado à condição do pavimento logo após a construção e posteriormente à sua vida útil de projeto. Para o dimensionamento do trecho em questão foram considerados os seguintes parâmetros:

Índice de servicibilidade inicial (P0) = 4,8 correspondente a uma muito boa técnica de execução;

Índice de servicibilidade final (Pt) = 2,0 corresponde a qualidade de pavimentos esperada para rodovias de tráfego de caminhões pesados, dado assumido em função das experiências locais;

Perda de servicibilidade prevista em projeto (ΔPSI) = 2,8.

TRÁFEGO

Um dos fatores de maior importância no processo de dimensionamento do pavimento, com vistas à determinação das necessidades do projeto, é o estudo e avaliação da solicitação do tráfego. A **metodologia da AASHTO** considera que a vida útil de um pavimento está relacionada ao número de repetições de carga que o pavimento poderá suportar antes de atingir as condições de serviço final pré-determinadas para a via.

Em se tratando de pavimentos rígidos é necessário compreender a quantidade e tipologia dos veículos comerciais que circularão nas vias em projeto (caminhões de lixo, ônibus, caminhões betoneira, etc) visto veículos leves, motocicletas e pequenos veículos de passageiros (vans) não impactarem de forma significativa no dimensionamento. Os números necessitam especificar não só a quantidade como também a tipologia dos veículos comerciais que circularão sobre os pavimentos.

Expostos estes fatores, para efeito de dimensionamento optou-se por majorar as referências de tráfego especificadas pela própria Prefeitura Municipal e confirmadas em campo durante a vistoria adotando-se, portanto, o VDMc (Volume Diário Médio de veículos comerciais) de 100 veículos/dia, distribuídos conforme segue:

Tipo de Veículo	Tipo de Veículo	Hipóteses de Carga	Distribuição (Individual)		
	2C (Caminhão)	Vazio	2,0%	20	20,00%
		75% CML	12,0%		
		100% CML	5,0%		
		105% CML	1,0%		
	3C (Caminhão Trucado)	Vazio	4,0%	40	40,00%
		75% CML	24,0%		
		100% CML	10,0%		
		105% CML	2,0%		
	4C (Caminhão Simples)	Vazio	0,5%	5	5,00%
		75% CML	3,0%		
		100% CML	1,3%		
		105% CML	0,3%		
	2S3 (Caminhão Trator + Semi reboque)	Vazio	0,5%	5	5,00%
		75% CML	3,0%		
		100% CML	1,3%		
		105% CML	0,3%		
	3S3 (Caminhão Trator Trucado + Semi-reboque)	Vazio	1,0%	10	10,00%
		75% CML	6,0%		
		100% CML	2,5%		
		105% CML	0,5%		
	2CB (Ônibus)	Vazio	2,0%	20	20,00%
		75% CML	12,0%		
		100% CML	5,0%		
		105% CML	1,0%		

Tomando-se como referência a Instrução Normativa IP-02 da Prefeitura Municipal de São Paulo, o tráfego adotado corresponde ao de uma via local e coletora com número "N" típico de $5x10^5$.

A metodologia da AASHTO/93, utiliza, complementarmente, em sua equação de cálculo do dimensionamento o número previsto de eixos equivalentes de 8,2t no período de projeto (W_{18}), chamado de Número "N", calculado a partir da aplicação da metodologia da própria AASHTO por meio da seguinte equação:

$$\boldsymbol{N = 365.VDM.P.FV.FR}$$

Onde,

VDM = Volume Diário Médio de veículos - Estimado estatisticamente e/ou por contagem

P = Período de Projeto (Vida útil), em anos

F.V. = Fator de Veículos (Correspondente às tipologias)

F.R. = Fator Regional ou Climático

Em virtude da consideração de tráfego já prever possível crescimento em relação ao atual verificado, adotou-se uma taxa de crescimento anual pouco impactante para efeito de dimensionamento, na ordem de 0,5% a.a.. Foi ainda considerada **vida útil de projeto de 20 anos**, número bastante superior ao previsto na mencionada instrução normativa da Prefeitura Municipal de São Paulo, que aborda o período de 10 anos para as vias urbanas.

Em relação ao fator Regional a de se considerar que a cidade de Castro apresenta um índice de pluviosidade média anual entre 1.400 e 1.600mm (conforme Atlas Climático do Estado do Paraná), o que corresponderia a um F.R. entre 1,0 e 1,4. Contudo, como já fora previsto um tráfego superior ao indicado na Instrução Normativa da Prefeitura de São Paulo, considerou-se no cálculo fator regional, F.R = 1,0.

Já para a definição do Fatos de veículos, F.V., considerou-se que 25% dos veículos comerciais previstos circularão com a carga máxima legal permitida, 60% com 75% desta mesma C.M.L, 5% dos veículos com excedente (sobrecarga) de 5% em relação à carga legal máxima permitida e ainda, que 10% dos veículos comerciais circularão vazios. As tabelas que seguem especificam o cálculo do F.V. para cada tipo de veículo, conforme tipos de eixos aplicáveis:

Tipo de Veículo	Hipóteses de Carga	Distrib.	Tipo de Eixo		Fatores de Carga (FC)		
			ESRS E1	ESRD E2	AASHTO Rígido		
			Carga (tf)		FC_{ESRS}	FC_{ESRD}	FC
2C	Vazio	10%	3,00	5,00	0,017	0,133	0,149
	75% CML	60%	4,50	7,50	0,086	0,702	0,788
	100% CML	25%	6,00	10,00	0,281	2,364	2,645
	105% CML	5%	6,30	10,50	0,343	2,919	3,261
						FV_{2C} =	1,312

2

Tipo de Veículo	Hipóteses de Carga	Distrib.	Tipo de Eixo		Fatores de Carga (FC)		
			ESRS E1	ETD E2 e E3	AASHTO Rígido		
			Carga (tf)		FC_{ESRS}	FC_{ETD}	FC
3C	Vazio	10%	3,00	6,00	0,017	0,041	0,058
	75% CML	60%	4,50	12,75	0,086	0,865	0,951
	100% CML	25%	6,00	17,00	0,281	2,905	3,185
	105% CML	5%	6,30	17,85	0,343	3,585	3,928
						FV_{3C} =	1,569

Tipo de Veículo	Hipóteses de Carga	Distrib.	Tipo de Eixo		Fatores de Carga (FC)		
			ESRS E1	ETT E2, E3 e E4	AASHTO Rígido		
			Carga (tf)		FC_{ESRS}	FC_{ETT}	FC
4C	Vazio	10%	3,00	9,00	0,017	0,071	0,087
	75% CML	60%	4,50	19,13	0,086	1,455	1,541
	100% CML	25%	6,00	25,50	0,281	4,955	5,236
	105% CML	5%	6,30	26,78	0,343	6,126	6,469
						FV_{3C} =	2,566

Tipo de Veículo	Hipóteses de Carga	Distrib.	Tipo de Eixo			Fatores de Carga (FC)			
			ESRS E1	ESRD E2	ETT E3, E4 e E5	AASHTO Rígido			
			Carga (tf)			FC_{ESRS}	FC_{ESRD}	FC_{ETT}	FC
2S3	Vazio	10%	3,00	5,00	9,00	0,017	0,133	0,071	0,220
	75% CML	60%	4,50	7,50	19,13	0,086	0,702	1,455	2,243
	100% CML	25%	6,00	10,00	25,50	0,281	2,364	4,955	7,600
	105% CML	5%	6,30	10,50	26,78	0,343	2,919	6,126	9,388
								FV_{4CD} =	3,737

Tipo de Veículo	Hipóteses de Carga	Distrib.	Tipo de Eixo			Fatores de Carga (FC)			
			ESRS E1	ETD E2 e E3	ETT E4, E5 e E6	AASHTO Rígido			
			Carga (tf)			FC_{ESRS}	FC_{ETD}	FC_{ETT}	FC
3S3	Vazio	10%	3,00	6,00	9,00	0,017	0,041	0,071	0,129
	75% CML	60%	4,50	12,75	19,13	0,086	0,865	1,455	2,406
	100% CML	25%	6,00	17,00	25,50	0,281	2,905	4,955	8,141
	105% CML	5%	6,30	17,85	26,78	0,343	3,585	6,126	10,054
								FV_{3S3} =	3,994

Tipo de Veículo	Hipóteses de Carga	Distrib.	Tipo de Eixo		Fatores de Carga (FC)		
			ESRS E1	ESRD E2	AASHTO Rígido		
			Carga (tf)		FC_{ESRS}	FC_{ETT}	FC
2CB	Vazio	10%	3,00	5,00	0,017	0,133	0,149
	75% CML	60%	4,50	7,50	0,086	0,702	0,788
	100% CML	25%	6,00	10,00	0,281	2,364	2,645
	105% CML	5%	6,30	10,50	0,343	2,919	3,261
						FV_{3C} =	1,312

Fazendo-se, por fim, a **média ponderada** dos F.Vs. obtidos conforme a distribuição por tipo de veículo (Manual de pavimentos rígidos do DNIT - IPR 714/2005) chega-se a um F.V. = 1,867, conforme demonstra a tabela abaixo:

		Tipo de Veículo (Classe Representativa)					
		2C	3C	4C	2S3	3S3	2CB
Distribuição	100%	20,00%	40,00%	5,00%	5,00%	10,00%	20,00%
FV AASHTO Rígido	**1,867**	1,312	1,569	2,566	3,737	3,994	1,312

Referência: Manual de Estudos de Tráfego DNIT, onde FV = ∑ (Fvi x Vi x Ti), cargas tabela padrão DNIT

Percentuais de veículos com carga total, sobrecarga e/ou vazios, definidos como critério de projeto;

Aplicados então os devidos parâmetros na equação da AASHTO para obtenção do número N, tem-se, para fins de dimensionamento, $\boldsymbol{W_{18} = 7{,}15 \times 10^5}$.

TRANSFERÊNCIA DE CARGA

A chave para um excelente desempenho a longo prazo das juntas é a transferência de carga adequada ao longo da vida útil do pavimento. Conhecido como o coeficiente de transferência de carga (J), este parâmetro pode ser descrito como a capacidade que uma placa de concreto tem em transmitir os esforços de cisalhamento para a sua placa adjacente, a fim de minimizar as deformações e tensões na estrutura do pavimento. Dispositivos de transferência de carga geralmente são recomendados para pavimentos de concreto simples articulados que têm uma espessura de projeto inicial superior a 200mm (AASHTO), porque os níveis de tráfego que requerem tais espessuras para resistência à fadiga também são de um nível que pode resultar em bombeamento e falha das juntas se a transferência de carga dispositivos não estão incluídos nas articulações. Quando a espessura inicial do projeto for inferior a 200 mm, os dispositivos de transferência de carga são recomendados somente se a falha for causada por fadiga.

Dada a característica do tráfego a ser considerado no projeto e demais condicionantes e, visando também a simplicidade executiva, optou-se por considerar apenas a **transferência de carga por entrosagem de agregados, sem a utilização de nenhum tipo de armadura para este fim**.

O suporte lateral das placas (proteção de bordo) foi também desconsiderado no dimensionamento, visto não haver previsão de acostamento, estacionamento e/ou qualquer outro elemento que caracterizasse este quesito, adotando-se portanto, ***J* = 3,8**.

PROPRIEDADES DO CONCRETO

Existem duas propriedades do concreto que influenciam o projeto do pavimento rígido e o seu comportamento ao longo de sua vida útil:

• Resistência característica de ruptura à tração na flexão ou compressão; e

• Módulo de elasticidade do concreto.

Como os pavimentos de concreto trabalham essencialmente à flexão, o projeto considera a resistência do concreto como a característica de ruptura à tração na flexão, especificada aos 28 dias. Para adequação ao hábito comercial brasileiro, pode-se especificar o concreto à compressão, desde que levadas em consideração as características peculiares à região no que diz respeito à correlações verificadas em outras obras para este quesito.

O módulo de elasticidade, por sua vez, está relacionado diretamente a resistência característica de ruptura à tração na flexão e é determinado pela norma ASTM C469. Caso contrário, é possível correlacioná-lo com outras características do material, como sua resistência à compressão (f'c).

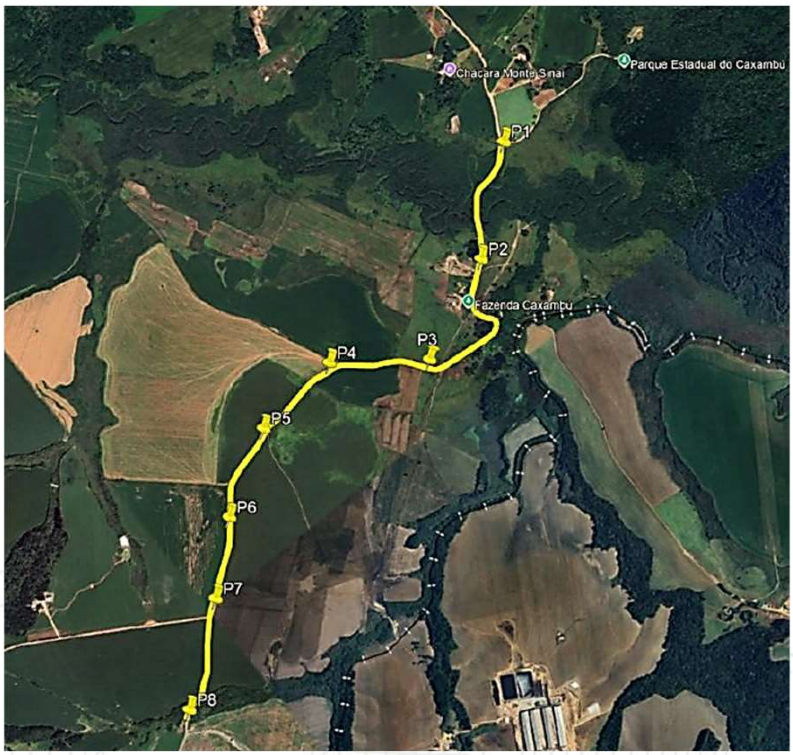
Dado este breve descritivo, para o projeto em questão foi adotado concreto com **resistência característica de ruptura à tração na flexão (Fctm, k) de 4,5 MPa aos 28 dias**, com Módulo de Elasticidade (Ec), em MPa, acima de 27.500. Esta definição apoia-se na visão de obtenção de um dimensionamento mais otimizado, simplificando o processo construtivo e otimizando custos, além de exigir maior critério qualitativo no que tange à empresa fornecedora do concreto, garantindo assim maior qualidade para a obra.

RESISTÊNCIA DO SUBLEITO

A cidade de Castro, no Paraná, está localizada na região dos Campos Gerais, no Segundo Planalto Paranaense, apresentando um relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, com vales e vertentes que podem variar de suaves a moderadamente íngremes. Essa conformação topográfica é essencialmente moldada pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná (principalmente arenitos, siltitos e folhelhos), que formam a base geológica da região e, através de processos de intemperismo, deram origem a uma paisagem caracterizada por solos profundos e de boa qualidade.

Nessa região, predominam os Latossolos Vermelhos e Amarelos. Ambos são solos geralmente profundos, com textura argilosa a média e bem estruturados, oferecendo boa permeabilidade, aeração e drenagem interna.

Dados estes fatores poder-se-ia, pois, estabelecer, um parâmetro K (coeficiente de recalque) para efeito de cálculo da estrutura, entretanto, visando um dimensionamento mais preciso, foram realizados 08 furos de sondagem a trado visando assim a obtenção das características específicas do solo local, conforme indicação abaixo:



OS resultados dos ensaios para cada uma das 8 amostras coletadas segue apresentado:

ID	ISC %	EXPANSÃO %	UMID. ÓTIMA %	D. MÁX (Kg / m³)
P-01	12,50	0,73	5,00	1.651,00
P-02	11,40	0,76	5,30	1.679,00
P-03	13,00	0,64	6,00	1.654,00
P-04	12,90	0,42	5,30	1.684,00
P-05	5,30	1,22	28,40	1.324,00
P-06	11,30	0,40	5,40	1.641,00
P-07	11,30	0,56	4,50	1.595,00
P-08	8,60	0,57	4,80	1.633,00

Observa-se que os solos analisados apresentam baixo índice de expansão, com valores inferiores a 0,8%, indicando comportamento estável frente a variações de umidade. Da mesma forma, as densidades máximas mantêm-se, também, homogêneas, variando normalmente entre 1.595 kg/m³ a 1.684 kg/m³, o que se traduz em boa resposta ao processo de compactação. Em relação ao ISC (Índice de Suporte Califórnia), os resultados mostram variação entre 5,3% e 13,0% com predominância, porém, de valores acima de 10,0%, homogeneidade esta imprescindível para o bom desempenhos dos pavimentos rígidos.

Apenas uma das oito amostras coletadas apresentou valores menos homogêneos, com ISC inferior, na ordem de 5,30%, e expansão mais elevada, de 1,22%, porém assim mesmo, sem comprometer o dimensionamento como um todo.

Dados então os mencionados resultados e, tomando-se a Instrução Normativa de Projeto IP-05/2004, da Prefeitura Municipal de São Paulo, como referência para a determinação do ISC de Projeto, tem-se o seguinte encaminhamento:

$$CBRp = CBRm - \frac{s \; x \; t0{,}90}{\sqrt{n}}$$

Onde:

CBRp é o CBR de projeto;

CBRm é a média aritmética dos CBR das amostras coletadas;

s é o desvio padrão;

t0,90 é o valor encontrado conforme o número de graus de liberdade,
na probabilidade de 0,90, conforme a distribuição de t-*Student*;

n é o número de amostras consideradas.

Calculou-se então os correspondentes **ISC $_{projeto}$** para cada o grupo de amostras obtendo-se **ISC $_{projeto}$ = 9,59%**, correspondente a um Módulo de Reação de **48,0 MPa/m.**

Nas áreas pontuais com ISC inferior a 8,0% (proximidades da amostra 5), caso se constate a existência de deflexões acentuadas e/ou "borrachudos“, deve-se efetuar a substituição do subleito em 30cm de profundidade por material de granulometria mais acentuada e estável (rachão).

DRENAGEM

Em qualquer tipo de pavimento a drenagem é fator importante no comportamento da estrutura ao longo de sua vida útil e, portanto, em seu projeto. Pode ser avaliado pelo coeficiente de drenagem (Cd) que depende dos seguintes fatores:

- Qualidade de drenagem: é determinada pelo tempo que demora para a água infiltrada ser drenada da estrutura do pavimento;
- Exposição à saturação: Porcentagem de tempo por ano que o pavimento é exposto a níveis de umidade próximos da saturação. Este valor depende das condições médias anuais de precipitação e drenagem. É importante evitar a presença de água uma vez que, se presente, afetará muito a resposta estrutural do pavimento.

A tabela a seguir apresenta os parâmetros recomendados pela AASHTO para os coeficientes de drenagem a partir das prerrogativas descritas:

Calidad del drenaje	% del tiempo en que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1%-5%	5%-25%	>25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80.0.70	0.70

Prevendo-se então uma boa qualidade de drenagem para efeito de dimensionamento (pois tem-se a percepção de que não haverá acúmulo de água sobre o pavimento visto a declividade ser dada na execução do pavimento, neste dimensionado a partir do greide de projeto, adequado para o não acúmulo de água na superfície) e, ainda, que o pavimento estará exposto a teores de umidade próximos aos de saturação em menos de 5%, considerou-se no dimensionamento coeficiente de drenagem $\mathbf{C_d = 1,15}$.

CONFIABILIDADE

Confiabilidade é definida como a probabilidade de um sistema de pavimento se comportar satisfatoriamente durante o seu período de vida útil e em suas condições adequadas de funcionamento, traduzindo-se, de certa forma, como um parâmetro variável com o qual se pode trabalhar a fim de obter uma maior ou menor garantia destas condições ("fator de segurança").

A American *Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) recomenda, de acordo com a tipologia de obra, os seguintes parâmetros para esta variável:

Clasificación funcional	Urbano (%)	Rural (%)
Autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-99
colectoras	80-95	75-95
locales	50-80	50-80

Dadas as condições de tráfego da via em questão, onde já se previu um incremento bastante considerável em relação ao existente, considerou-se, para este projeto, a **confiabilidade de 75%**, conforme recomendação da AASHTO para estradas rurais.

A partir da confiabilidade especificada para o projeto, encontra-se o inverso da distribuição cumulativa normal padrão (coeficiente de distribuição de *Student*), Z_R, que será então aplicado na equação para o dimensionamento. Pode-se também calculá-lo a partir do fator de segurança AASHTO, que por sua vez está baseado no desvio padrão combinado, conforme descreve a tabela a seguir:

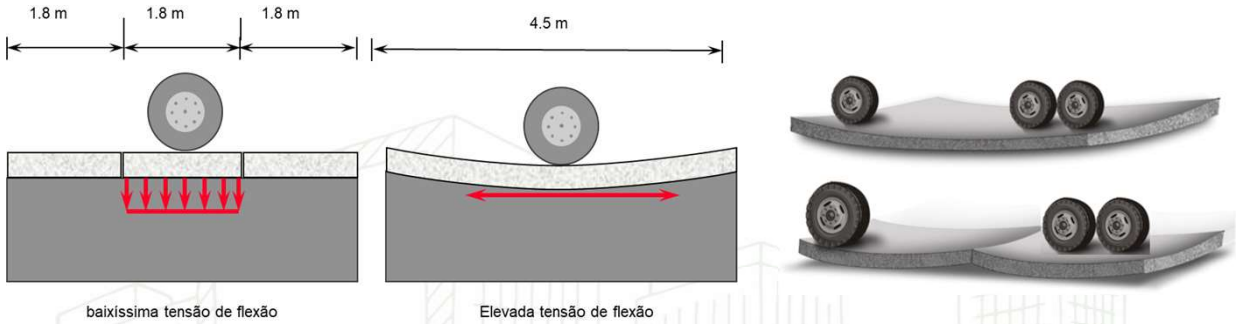
Desviación estándar S_o	Confiabilidad R					
	50%	60%	70%	80%	90%	95%
0.30	1.00	1.19	1.44	1.79	2.42	3.12
0.35	1.00	1.23	1.53	1.97	2.81	3.76
0.39	1.00	1.26	1.60	2.13	3.16	4.38
0.40	1.00	1.26	1.62	2.17	3.26	4.55

Adotando-se um desvio padrão combinado S_0 **= 0,30** para uma confiabilidade de 75% tem-se um FS_{AASHTO} = 1,62, correspondendo, a partir da aplicação na equação abaixo discriminada (Fator de segurança AASHTO) a um fator Z_R **= - 0,674**.

DIMENSÃO DAS PLACAS / LAJES

No método da AASHTO/93 o espaçamento das juntas não é considerado como uma variável de entrada do projeto, mas sim calculado de forma a reduzir as tensões internas nas placas de concreto. Por meio de observações de campo realizadas pela ACPA (*American Concrete Pavement Association*) nos EUA, o espaçamento de junta recomendado é calculado como 5,25X o raio de rigidez relativa, pois assim fornece um risco mínimo de fissuras *in situ*. Como alternativa, pode-se considerar o espaçamento das juntas, para subleitos ou bases granulares, 21X a espessura dimensionada.

Independente da forma de cálculo das dimensões das placas vale ressaltar que estas interferem diretamente no funcionamento e durabilidade do pavimento, visto as tensões aplicadas variarem de acordo com esta geometria, como demonstra as imagens a seguir:



Expostos os aspectos acima e, buscando otimizar a questão relativa à distribuição das tensões aliada à geometria e largura da via optou-se, neste projeto, em função da espessura calculada, por placas de, no máximo, 2,00m x 2,00m, parâmetro bem inferior ao máximo calculado de 2,94m de espaçamento entre as juntas. Esta definição visa também a segurança e vida útil do projeto, contribuindo significativamente para este fim.

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

A partir dos parâmetros/variáveis ora expostos relativos ao concreto, tráfego, fundação e sistemas de transferência de carga, define-se a espessura da placa necessária para suportar as tensões de tração por flexão e as deformações verticais críticas (erosão) produzidas pela passagem dos veículos.

Para este projeto, o cálculo da estrutura do pavimento de concreto fora realizado por meio da equação da ASSHTO/93, como ora mencionado, cujos parâmetros finais de cálculo segue apresentados:

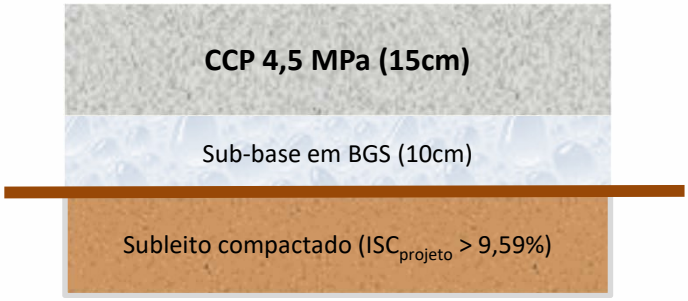
PARÂMETROS DE PROJETO			
15,0	Espessura da placa de concreto (cm)	Resistência à tração na flexão do concreto - $f_{ctM,k}$ (MPa)	4,5
20	Período de Projeto (anos)	Módulo de elasticidade do concreto (MPa)	27.500
75,0%	Nível de confiabilidade	Coeficiente de drenagem	1,15
-0,674	Coeficiente da distribuição de Student	Coeficiente de transferência de carga	3,8
0,30	Desvio padrão de cálculo	Acostamento de concreto / Apoio lateral	Não
4,80	Índice de serventia inicial	Juntas transversais com barra de transferência	Não
2,00	Índice de serventia final		

ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO AASHTO/93	
7,10E+05	Número total de solicitações equivalentes do eixo-padrão AASHTO solicitantes
1,03E+06	Número total de solicitações equivalentes do eixo-padrão AASHTO admissíveis

Conclusão: Espessura de 15 cm da placa de concreto, SUFICIENTE para atender ao tráfego solicitante previsto

Obteve-se, como resultado do dimensionamento, um **número total de solicitações equivalentes do eixo padrão (8,2t), admissíveis, de 1,03 x 10^6** superior às cargas equivalentes solicitantes de **7,15 x 10^5**, confirmando assim que a **espessura de 15cm** é suficiente para atender às demandas de tráfego especificadas.

Segue abaixo apresentada seção típica projetada, então, para as vias a serem implantadas no Município, fazendo-se os devidos ajustes em curvas e interseções:



Nas interseções e áreas em curva, caso necessário, serão instaladas telas soldadas modelo Q-138 ou superior, conforme indicado nos detalhamentos em prancha.

Deverão também ser instaladas barras de ligação na junção das placas (juntas longitudinais), aço CA-50 bitola de 12,5mm, comprimento de 70cm, espaçadas a cada 70cm. Esta medida estará detalhada em prancha.

ESTUDOS HIDROLÓGICOS - PRECIPITAÇÃO e PERÍODO DE RETORNO

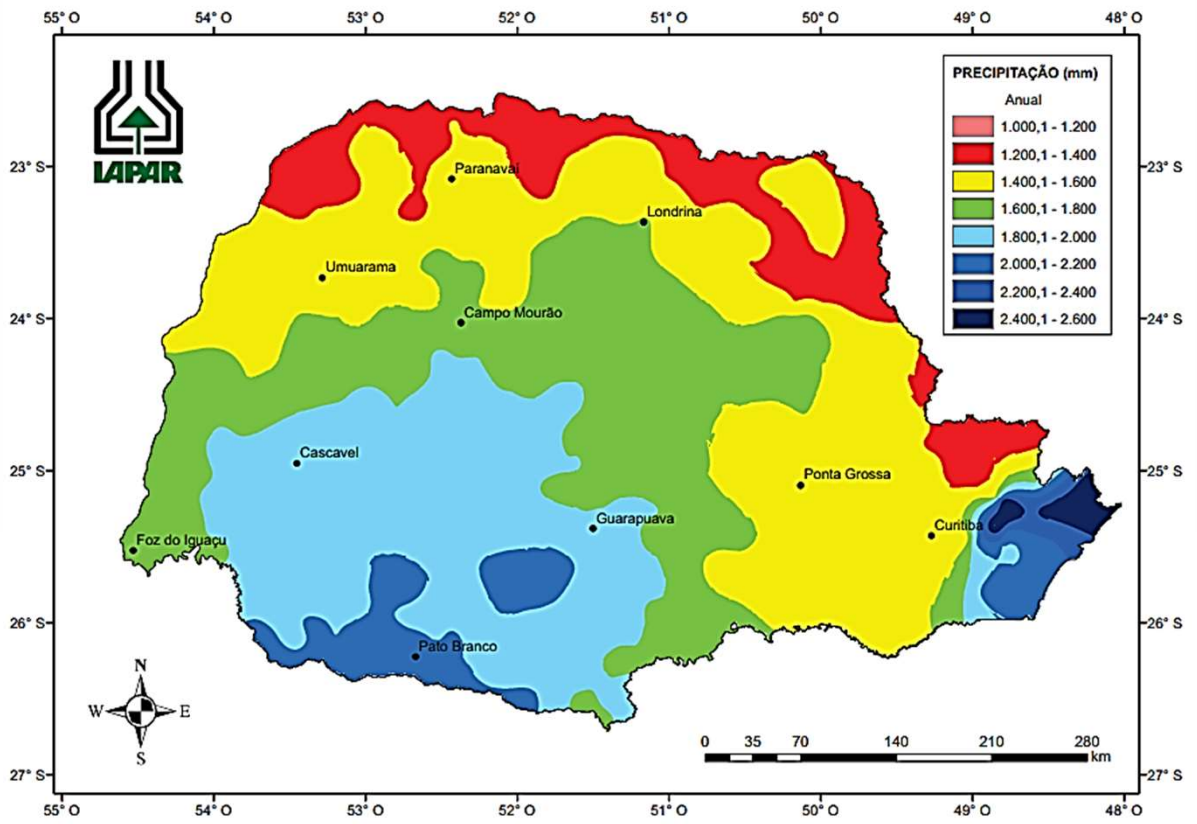
O conhecimento das precipitações prováveis, aquelas que apresentam probabilidade específica de ocorrência, baseada em uma longa série de dados, em termos de infraestrutura urbana, é de fundamental importância para o dimensionamento dos elementos de drenagem das águas pluviais.

A determinação da chuva de projeto, costumeiramente nos projetos de infraestrutura urbana, é determinada por meio das equações e/ou curvas IDF (Intensidade, Duração, Frequência). Na ausência, porém, das mencionadas curvas IDF para locais próximos à área em estudo, a norma NBR 16.416 recomenda que se deve recorrer à análise estatística de dados de chuva de pluviômetros, coletados em intervalo de tempo diário. A partir desses dados serão estimadas chuvas intensas de um dia de duração, com períodos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos. As chuvas intensas de 1 dia de duração podem ser desagregadas para durações inferiores a um dia usando relações de altura pluviométrica entre duas durações diferentes.

Para definição dos parâmetros utilizados no presente dimensionamento quanto às precipitações na cidade de Rebouças/PR foi utilizada a seguinte referência técnica:

- *ATLAS CLIMÁTICO DO PARANÁ*
  Instituto Agronômico do Paraná
  Governo do Estado do Paraná

No capítulo destinado às precipitações o referido Atlas *(Instituto Agronômico do Paraná, 2019)* traz informações relativas à precipitação pluviométrica anual obtida por meio de medições realizadas na estação meteorológica localizada no município de Ponta Grossa (cidade próxima a Castro), cujo resumo segue apresentado no gráfico a seguir:



A partir das informações apresentadas pode-se verificar que as chuvas estão regularmente distribuídas durante todo o ano, com um índice anual de precipitação entre 1.600mm e 1.800mm, um nível considerado alto.

Por fim, no que se refere à curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência), não há registros para a cidade de Castro, contudo, verifica-se na literatura por Fendrich (1987, *apud* Fest, A. V.), a referência da equação para a cidade de Ponta Grossa, que dista cerca de 40 km de Castro, equação esta que segue apresentada e que será, portanto, utilizada no dimensionamento:

Ponta Grossa (PR)

$$i_{max} = \frac{1.902{,}39 * T_R^{\,0{,}152}}{(t+21)^{0{,}893}}$$

Onde:

i_{max} = intensidade de precipitação pluviométrica média das máximas, em mm/h;

TR = período de retorno, ou de recorrência, em ano;

t = duração da precipitação pluviométrica, em min.

A partir da equação acima especificada e, considerando-se a duração da precipitação de 30min, 1h00, 2h00, 3h00, 4h00 e 24h00 obtém-se os resultados a seguir especificados para a intensidade de precipitação média das máximas, em mm/h:

t	T_2	T_5	T_{10}	T_{25}	T_{50}	T_{75}
30 min	63,12	72,56	80,62	92,67	102,96	109,51
1h	41,76	48	53,34	61,31	68,12	72,45
2h	25,46	29,26	32,51	37,37	41,52	44,16
3h	18,55	21,32	23,69	**27,23**	30,25	32,18
4h	14,69	16,88	18,76	21,56	23,96	25,48
24h	3,16	3,63	4,03	4,63	5,15	5,47

Para o dimensionamento é importante também a definição da altura de chuva em mm, informação esta que, em definindo-se o tempo de retorno a ser considerado, permitirá o cálculo das estruturas de drenagem. A tabela a seguir apresenta estes dados para precipitações de 30min, 1h00, 2h00, 3h00, 4h00 e 24h00 e tempos de retorno de 2, 5 10, 25, 50 e 75 anos:

t	T_2	T_5	T_{10}	T_{25}	T_{50}	T_{75}
30 min	31,56	36,28	40,31	46,33	51,48	54,75
1h	41,76	48	53,34	61,31	68,12	72,45
2h	50,91	58,52	65,02	74,74	83,05	88,33
3h	55,64	63,96	71,07	**81,69**	90,76	96,53
4h	58,76	67,54	75,04	86,26	95,84	101,93
24h	75,72	87,04	96,71	111,16	123,52	131,37

Para efeitos de dimensionamento, principalmente em função das chuvas acentuadas dos últimos anos, optou-se pela adoção de um Tempo de Retorno de 25 anos, tomando-se como base chuvas com duração de 3h.

ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO

As áreas de contribuição analisadas para o dimensionamento dos dispositivos de drenagem foram estimadas, compatíveis com o traçado da estrada e com as características geomorfológicas do entorno, garantindo-se uma margem de segurança adequada ao projeto. Em cada um dos locais previstos para implantação de novos bueiros, considerou-se uma faixa de 100 metros para dentro das propriedades lindeiras, de modo a abranger as contribuições laterais de águas pluviais que efetivamente convergem para a via.

Ressalta-se que essa metodologia, embora simplificada, assegura que as vazões adotadas estejam superdimensionadas em relação ao escoamento real esperado, reduzindo riscos de subdimensionamento. Além disso, o critério é coerente com práticas correntes de projetos em estradas rurais, onde a obtenção de dados topográficos de alta precisão nem sempre é viável.

A equação de Manning foi utilizada neste projeto para verificar a capacidade hidráulica dos bueiros previstos. A partir dela, relacionamos a rugosidade do material (n), a área molhada (A), o raio hidráulico (R) e o declive do conduto (S), determinando a vazão máxima possível. Considerou-se operação parcial dos tubos (50% da seção), representando uma condição de segurança frente a possíveis assoreamentos ou detritos. Assim, calculamos as vazões correspondentes às áreas de contribuição estimadas e, em seguida, comparamos com a capacidade dos bueiros de concreto de 0,60 m. Os resultados demonstraram que o diâmetro atende com folga às vazões de projeto, garantindo segurança e eficiência no escoamento da água pluvial. Foram considerados os seguintes valores:

- Material do bueiro: concreto armado, rugosidade Manning n = 0,013
- Diâmetro nominal: 0,60 m
- Declive do bueiro: S = 0,005 (0,5%)
- Operação hidráulica: seção parcialmente cheia (50%)
- Intensidade da chuva de projeto: 27,23 mm/h
- Coeficiente de escoamento: C = 0,2

CÁLCULO HÍDRICO

O dimensionamento do bueiro foi realizado com base na equação de Manning, considerando operação parcial (50% da seção), área molhada e raio hídrico correspondentes.

A equação utilizada foi:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

Onde:
Q = vazão de projeto (m³/s)
A = área molhada do conduto (m²)
R = raio hidráulico (m)
S = declive do bueiro
n = coeficiente de rugosidade de Manning

Com base na equação de Manning, determinaram-se os diâmetros mínimos necessários para as áreas de contribuição analisadas, verificando-se que o bueiro de 0,60 m atende a todas as situações, mesmo em condição de operação parcial (50% da seção), garantindo ampla margem de segurança.

A aplicação da equação de Manning confere confiabilidade hidráulica ao dimensionamento, assegurando desempenho adequado mesmo diante de condições adversas, como assoreamento ou presença de detritos.

Ressalta-se que as áreas de contribuição foram consideradas de forma aproximada, em razão da ausência de levantamento topográfico detalhado, o que reforça a adoção de margens de segurança no projeto.

Dadas estas considerações, apresenta-se a tabela:

BUEIROS	A = Área de Contribuição (m²)	I = Intensidade da Chuva (mm/h)	C= Coeficiente C	Q= Vazão Total (m³/s)	Diâmetro (mm)
B-46	26000	7,56E-06	0,2	0,039332222	0,25
B-72	32000	7,56E-06	0,2	0,048408889	0,27

Optou-se, assim, pela utilização de tubos circulares de concreto com diâmetro de 0,60 m, solução que atende tanto aos requisitos construtivos e de padronização da obra, quanto às exigências hidráulicas, garantindo capacidade de escoamento muito superior às vazões de projeto e assegurando a durabilidade e eficiência da obra mesmo sob condições de operação parcial.

Seguindo as recomendações do RTV, foi considerado a implantação de bacias de retenção em determinados trechos (detalhados em projeto).

BACIA DE RETENÇÃO	A = Área de Contribuição (m²)	I = Intensidade da Chuva (mm/h)	C= Coeficiente	Q= Vazão Total (m³/s)	Tempo (H)	Profundidade total de chuva (mm)	Volume de Entrada (m3)	Vazão de saída (l/s)	Volume de saída (m3)	Volume Total (m3)
BR-13	3120	27,23	0,2	16991,52	3,00	81,69	50,97	2	21,6	29,37
BR-16	3120	27,23	0,2	16991,52	3,00	81,69	50,97	2	21,6	29,37
BR-19	3120	27,23	0,2	16991,52	3,00	81,69	50,97	2	21,6	29,37
BR-30	3120	27,23	0,2	16991,52	3,00	81,69	50,97	2	21,6	29,37
BR-33	3120	27,23	0,2	16991,52	3,00	81,69	50,97	2	21,6	29,37
BR-56	5200	27,23	0,2	28319,2	3,00	81,69	84,96	2	21,6	63,36
BR-82	5200	27,23	0,2	28319,20	3,00	81,69	84,96	2	21,6	63,36
BR-90	5200	27,23	0,2	28319,2	3,00	81,69	84,96	2	21,6	63,36
BR-105	5200	27,23	0,2	28319,20	3,00	81,69	84,96	2	21,6	63,36
BR-115	5200	27,23	0,2	28319,2	3,00	81,69	84,96	2	21,6	63,36
BR-123	5200	27,23	0,2	28319,20	3,00	81,69	84,96	2	21,6	63,36
BR-139	5200	27,23	0,2	28319,2	3,00	81,69	84,96	2	21,6	63,36
BR-160	3120	27,23	0,2	16991,52	3,00	81,69	50,97	2	21,6	29,37
BR-174	4160	27,23	0,2	22655,36	3,00	81,69	67,97	2	21,6	46,37
BR-186	5200	27,23	0,2	28319,2	3,00	81,69	84,96	2	21,6	63,36
BR-196	5200	27,23	0,2	28319,2	3,00	81,69	84,96	2	21,6	63,36

Onde:
A = área de contribuição (m²)
I = intensidade da chuva (mm/h)
C = coeficiente adotado para área rural
Q = vazão total (m³/s)
H = Tempo(h)

Com base nos dados obtidos, procedeu-se ao cálculo da vazão de pico (Q) para cada área de contribuição das bacias de retenção. Verificou-se que os valores de vazão gerados superam significativamente a vazão máxima de saída permitida, confirmando a necessidade da implantação das bacias de retenção, cujo objetivo é atenuar os picos de cheia e promover a liberação controlada do escoamento.

Para o cálculo da vazão de pico, foi utilizada a equação racional Q = (C × I × A), onde *C* representa o coeficiente de escoamento, *I* a intensidade de chuva e *A* a área de contribuição. A partir dessa vazão, determinou-se o volume total de entrada, considerando a profundidade total de chuva de 27,23 mm/h e duração de 3 horas, conforme o padrão definido em projeto. O volume de entrada foi obtido multiplicando-se a profundidade de escoamento (em metros) pela área de contribuição e pela intensidade da chuva.

O volume total de saída foi determinado com base na vazão máxima de descarga permitida multiplicada pela duração do evento de precipitação. Assim, o volume de armazenamento necessário em cada bacia corresponde à diferença entre o volume total de entrada e o volume total de saída.

Com base nesses parâmetros e na metodologia simplificada adotada, foram dimensionadas as capacidades de armazenamento de cada bacia de retenção (conforme tabela anexa), garantindo a limitação da vazão de descarga e o adequado funcionamento do sistema de drenagem. A solução proposta integra-se de forma eficiente à drenagem existente e aos novos dispositivos previstos em projeto, assegurando a eficiência hidráulica e a segurança da área de intervenção.

Curitiba, 05 de dezembro de 2025.

ALEXSANDER MASCHIO:02764098928
Dados: 2025.12.05 18:55:17 -03'00'

Engº Alexsander Maschio
CREA PR 70.043/D



(41) 3342-4184 / 9.9241-0550
contato@institutoruas.com.br