

Fatec – SP Departamento de Transportes e Obras de terra

PROJETO DE PAVIMENTO

COMPOSIÇÃO DO TRÁFEGO PARA FINALIDADE DE PROJETO ESTRUTURAL DE PAVIMENTO

1º Semestre / 2024 Prof. Dr. Edson de Moura

1

Fatec – SP departamento de transportes e obras de terra

Número N

Seus valores anuais e acumulados durante o período de projeto são calculados com base nas projeções do tráfego, sendo necessário para isso o conhecimento qualitativo e quantitativo da sua composição presente e futura.

Esse conhecimento é obtido por meio das pesagens, pesquisas de origem e destino, contagens volumétricas classificatórias e pesquisas de tendências da frota regional ou nacional.

$$N = 365 * P * V_m * FE * FEC * FR$$

Onde: N = número de solicitações da carga de 8,2 t
 P = período em anos
 V_m = VDM (volume diário médio) admitindo uma taxa de crescimento
 FE = fator de eixo
 FEC = fator de equivalência de carga (FC)
 FR = fator climático regional
 FV = FE * FEC

Projeto de Pavimento Prof. Edson

4

Número N

Por definição, número N é o número de solicitações da carga de um eixo padrão (ESRD) de 8,2 t que um pavimento será submetido em sua vida de serviço.

Pela Lei da Balança temos:
 eixo traseiro = 10t + 12,5% = 12,5t
 Dianteiro = 6t + 12,5% = 6,7t
 Total = 19,2t

Capacidade de carga = 19,2 – 8 = 11,2 t

Eixo traseiro sem carga = 5 t Eixo dianteiro sem carga = 3 t

Projeto de Pavimento Prof. Edson

2

Fatec – SP departamento de transportes e obras de terra

Número

O procedimento para a determinação do número N consiste em realizar, contagem quantitativa e qualitativa dos veículos de interesse de forma a determinar o volume diário médio (VDM) ou volume médio (Vm) ou ainda volume diário médio de veículos comercial (VDMC). Tem-se também volume médio diário (VMD)

A contagem é realizada em apenas uma faixa, sendo essa a mais solicitada, quando em rodovias com duas ou mais faixas por direção, caso em pistas simples a contagem pode ser unidirecional ou bidirecional, se bidirecional, deve-se determinar a porcentagem da direção de maior fluxo.

Projeto de Pavimento Prof. Edson

5

Número N

Tipos de veículos aqui considerados tem classificação do DNIT (2006) e são:

CO - comerciais rígidos, não articulados, caminhões e ônibus convencionais

O – comerciais rígidos de maior dimensão

RE – comerciais com reboque - unidade tratora simples, um semirreboque e um reboque denominado de bitrem - 9 eixos

SR – comerciais articulados e um semirreboque

3

Fatec – SP departamento de transportes e obras de terra

Número N

Além da contagem quantitativa e qualitativa, determina-se o fator de carga (FC), também denominado de fator de equivalência de carga (FEC) e por fim o fator de eixo (FE).

Com esses parâmetros acima, se obtém o número N para o 1º ano e com a taxa de crescimento (linear ou geométrica) determinar o valor de N para o período de projeto.

Projeto de Pavimento Prof. Edson

6

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - DER-SP - IP-DE-P00/001 (2006)

Projeto de Pavimento Prof. Edson

7

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - DER-SP - IP-DE-P00/001 (2006)

FV = Fator de veículo de Frota

Para a determinação do FV da frota, é necessário inicialmente determinar o fator equivalente de operações de cada um dos veículos que trafegarão sobre o pavimento, que é o produto entre o fator de eixo, FE, e o fator de carga, FC

FV = FE * FC

Projeto de Pavimento Prof. Edson

10

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - DER-SP - IP-DE-P00/001 (2006)

$$N = \sum_{i=1}^P N_i$$

N = número equivalente de operações de eixo simples de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto;
 P = período de projeto igual a 10 anos para pavimento flexível e 20 anos para pavimento rígido;
 i = 1 = ano de início da vida de projeto;
 Ni = número equivalente de operações do eixo simples (ESRD) padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado durante o ano "i".

Vti = volume total acumulado de veículos comerciais por sentido na faixa de projeto durante o ano "i";
 FV = fator de veículo de frota, que é função do método empregado;
 FR = fator climático regional

$$N_i = V_{ti} * FV * FR$$

Projeto de Pavimento Prof. Edson

8

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - DER-SP - IP-DE-P00/001 (2006)

FE = É um fator que transforma o tráfego em número de veículos padrão de passagens de eixo equivalente (ESRD). Para tanto, calcula-se o número de eixos dos tipos de veículos que passarão pela via:

$$FE = (p_2/100)*2 + (p_3/100)*3 + + (p_n/100)*n$$

| N. eixos | % | FE |
|----------|------------|-----------------|
| 2 | 11 | 11/100*2 = 0,22 |
| 3 | 10 | 0,30 |
| 4 | 22 | 0,88 |
| 5 | 14 | 0,70 |
| 6 | 18 | 1,08 |
| 7 | 13 | 0,91 |
| 9 | 12 | 1,08 |
| Σ | 100 | 5,17 |

Onde: p2 = porcentagem de veículos de 2 eixos
 p3 = porcentagem de veículos de 3 eixos
 pn = porcentagem de veículos de n eixos

Projeto de Pavimento Prof. Edson

11

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - DER-SP - IP-DE-P00/001 (2006)

$$V_{ti} = VDMC * 365 * D * F_p$$

Vti = volume total acumulado de veículos comerciais por sentido na fx. de projeto durante o ano "i";
 VDMC = volume diário médio de veículos comerciais total durante o ano "i";
 D = distribuição direcional (%)
 Fp = porcentagens de veículos comerciais na faixa de projeto (%)

O volume diário médio de veículos comerciais, VDMC, na etapa de estudo:

- preliminar deve ser baseado no Caderno de Estatística de Tráfego do DER/SP.
- Já nas etapas de projetos básico e executivo devem ser realizadas contagens de tráfego de acordo com a Instrução de Projeto de Elaboração de Estudos de Tráfego.

Projeto de Pavimento Prof. Edson

9

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - DER-SP - IP-DE-P00/001 (2006)

Entretanto, caso não se consigam dados de pesagens de veículos e se autorizados pela fiscalização do DER/SP, podem ser adotados os valores de fatores de veículos indicados nas Tabelas 2 e 3.

| Classificação dos Veículos | Tipo | FV | | Combinação de Eixos | | | | Nº de Eixos | |
|----------------------------|--------|----------|--------|---------------------|------|-----|-----|-------------|---|
| | | Flexível | Rígido | ESRS | ESRD | ETD | ETT | | |
| Médio | Com. 1 | 1,98 | 1,36 | 1,37 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| Pesado | Com. 2 | 4,49 | 1,05 | 1,06 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| Semi-Rep. | Com. 3 | 9,89 | 3,04 | 5,26 | 1 | 1 | 0 | 1 | 5 |
| Ônibus | Com. 4 | 2,39 | 1,06 | 1,28 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |

Projeto de Pavimento Prof. Edson

12

Número N - DER-SP - IP-DE-P00/001 (2006)

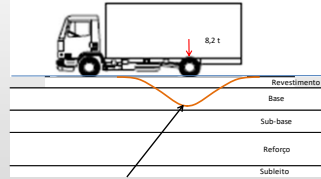
Entretanto, caso não se consigam dados de pesagens de veículos e se autorizados pela fiscalização do DER/SP, podem ser adotados os valores de fatores de veículos indicados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 3 – Fatores de Veículos na Etapa de Projetos Básico e Executivo

| Classificação dos Veículos | Tipo | FV | | | Combinação de Eixos | | | | Nº de Eixos |
|----------------------------|----------|-------|--------|--------|---------------------|------|-----|-----|-------------|
| | | USACE | AASHTO | Rígido | ESRS | ESRD | ETD | ETT | |
| 2C (16) | Com. 1 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 2C (22) | Com. 2 | 2,78 | 1,89 | 1,91 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 3C (20) | Com. 3 | 2,28 | 0,55 | 0,93 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| 3C (22) | Com. 4 | 5,44 | 1,27 | 1,97 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| 2S1 | Com. 5 | 4,09 | 2,81 | 2,99 | 1 | 2 | 0 | 0 | 3 |
| 2S2 | Com. 6 | 6,70 | 3,14 | 3,96 | 1 | 1 | 1 | 0 | 4 |
| 2S3 | Com. 7 | 10,27 | 3,32 | 5,95 | 1 | 1 | 0 | 1 | 5 |
| 3S3 | Com. 8 | 9,42 | 1,90 | 5,01 | 1 | 0 | 1 | 1 | 6 |
| 3D4 | Com. 9 | 17,28 | 4,09 | 6,25 | 1 | 0 | 3 | 0 | 7 |
| 3D6 | Com. 10 | 14,02 | 3,27 | 5,08 | 1 | 0 | 4 | 0 | 9 |
| Ôn. (2C) | Ônibus 2 | 2,81 | 1,68 | 1,90 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| Ôn. (3C) | Ônibus 3 | 2,21 | 0,71 | 1,02 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 |

13

Número N - Fator de equivalência de carga (FEC)



Essa deflexão causa um DANO a estrutura do pavimento

Uma passagem desse eixo (8,2 t) significa que o N = 1

16

Número N - DER-SP - IP-DE-P00/001 (2006)

A determinação do FC (FEC) possui duas metodologias:

- (i) a da United States Army Corps of Engineers – USACE preconizada pelo DNIT,

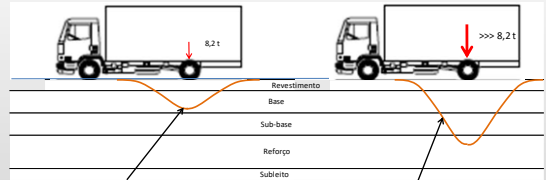
| Tipos de eixo | Faixas de Cargas (t) | Equações (P em t) |
|--------------------------------------|----------------------|---|
| Dianteiro simples e traseiro simples | 0 – 8 | $FC = 2,0762 \times 10^4 \times P^{0,075}$ |
| | ≥ 8 | $FC = 1,8320 \times 10^4 \times P^{0,094}$ |
| Tandem duplo | 0 – 11 | $FC = 1,5820 \times 10^4 \times P^{0,1472}$ |
| | ≥ 11 | $FC = 1,5280 \times 10^4 \times P^{0,149}$ |
| Tandem triplo | 0 – 18 | $FC = 8,0395 \times 10^3 \times P^{0,204}$ |
| | ≥ 18 | $FC = 1,3229 \times 10^4 \times P^{0,198}$ |

- (ii) a da American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO.

| Tipos de eixo | Equações (P em t) |
|-------------------------------|--------------------------|
| Simplex de rodagem simples | $FC = (P / 7,77)^{1,1}$ |
| Simplex de rodagem duplo | $FC = (P / 8,17)^{1,1}$ |
| Tandem duplo (rodagem duplo) | $FC = (P / 15,08)^{1,1}$ |
| Tandem triplo (rodagem duplo) | $FC = (P / 22,90)^{1,1}$ |

14

Número N - Fator de equivalência de carga (FEC)



Essa deflexão causa um DANO a estrutura do pavimento

Uma passagem desse eixo (8,2 t) significa que o N = 1

A deflexão causada é muito maior, logo, o DANO causado à também é muito maior

Assim, uma única passagem dessa carga maior, significa que o N >> 1

17

Fator de equivalência de carga (FEC)

FEC são os chamados fatores do Corpo de Engenheiros dos USA (USACE).

Transformam o efeito de cada carga para o efeito de um eixo simples de roda dupla, tendo como referência o afundamento plástico no subleito, considerado a 70 cm de profundidade.

Dentre os possíveis critérios de equivalência de cargas, optou-se pela igualdade da deformação vertical máxima (deflexão máxima) verificada em uma profundidade igual à espessura total do pavimento.



Caminhão toco



ESRD

15

Número N - Fator de equivalência de carga (FEC)



Eixo simples (ESRD) : 10 t

18

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Fator de equivalência de carga (FEC)

área de sobreposição de eixos

Eixo tandem duplo: $(10 \text{ tf} \times 2) \times 0,85 = 17 \text{ t}$

Projeto de Pavimento Prof. Edson

19

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Fator de equivalência de carga (AASHTO)

De forma análoga, para o dimensionamento de pavimentos flexíveis da AASHTO (1993) tem-se os fatores de equivalência de carga para pavimentos flexíveis e também para pavimentos de concreto.

Os FEC da AASHTO tiveram como base o desempenho da pista experimental associado à perda de serventia expresso em relação ao número estrutural (SN), que projetada a partir de 1951 e construída entre 1956 e 1958 na cidade Ottawa, Illinois - USA, teve seu tráfego, utilizado na elaboração do dimensionamento, monitorado entre 1958 e 1960.

Essa diferenciação resulta em valores de número N bem inferiores quando se utiliza FEC da USACE.

| Tipo de eixo | Equação (carga P em t) |
|--------------|------------------------|
| ESRS | $(P/7,77)^{4,32}$ |
| ESRD | $(P/8,17)^{4,32}$ |
| ETD | $(P/15,08)^{4,14}$ |
| ETT | $(P/22,95)^{4,22}$ |

Projeto de Pavimento Prof. Edson

22

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Fator de equivalência de carga (FEC)

área de sobreposição de eixos

Eixo tandem triplo: $(10 \text{ tf} \times 3) \times 0,85 = 25,5 \text{ t}$

Projeto de Pavimento Prof. Edson

20

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Fator de equivalência de carga (USACE x AASHTO)

Para um mesmo VDM e também para uma mesma taxa de crescimento, tem-se obtido valores de N bem inferiores quando se utiliza os FECs da AASHTO.

| USACE | AASHTO |
|--------------|--------------|
| Revestimento | Revestimento |
| Base | Base |
| Sub-base | Sub-base |
| Reforço | Reforço |
| Subleito | Subleito |

Um ESRD = 13t

FEC (Usace) = 17

FEC (AASHTO) = 7,4

Projeto de Pavimento Prof. Edson

23

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Fator de equivalência de carga (FEC) - USACE

A determinação do FEC com o peso por eixo simples, duplo ou triplo (Ps, Pd, Pt), é dada pelas seguintes equações:

| Tipo de Eixo | Faixas de Cargas (t) | Equações (P em t) |
|--------------------------------------|----------------------|---|
| Dianteiro simples e traseiro simples | 0 - 8 | $FEC = 2,0782 \times 10^{-6} \times p^{1,0175}$ |
| | ≥ 8 | $FEC = 1,8320 \times 10^{-6} \times p^{2,2542}$ |
| Tandem duplo | 0 - 11 | $FEC = 1,5920 \times 10^{-6} \times p^{1,4720}$ |
| | ≥ 11 | $FEC = 1,5280 \times 10^{-6} \times p^{2,4840}$ |
| Tandem triplo | 0 - 18 | $FEC = 8,0359 \times 10^{-6} \times p^{1,3049}$ |
| | ≥ 18 | $FEC = 1,3229 \times 10^{-7} \times p^{2,9789}$ |

Projeto de Pavimento Prof. Edson

21

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Fator de equivalência de carga (USACE x AASHTO)

FECs USACE E AASHTO

| Tipo de eixo | Carga (tf) | | |
|--------------|-------------------|------------|-------|
| | Sobrecarga (30%)* | Carrregado | Vazio |
| ESRS | 7,8 | 6 | 3 |
| ESRD | 13 | 10 | 5 |
| ETD | 22,1 | 17 | 6 |
| ETT | 33,15 | 25,5 | 9 |

(*) sobrecarga como exemplo

Projeto de Pavimento Prof. Edson

24

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Fator de equivalência de carga (USACE x AASHTO)

FECs USACE E AASHTO

| Tipo de eixo | Carga (tf) | | | FEC USACE | | |
|--------------|-------------------|-----------|-------|-------------------|-----------|-------|
| | Sobrecarga (30%)* | Carregado | Vazio | Sobrecarga (30%)* | Carregado | Vazio |
| ESRS | 7,8 | 6 | 3 | 0,8 | 0,28 | 0,02 |
| ESRD | 13 | 10 | 5 | 16,97 | 3,29 | 0,13 |
| ETD | 22,1 | 17 | 6 | 36,04 | 8,55 | 0,08 |
| ETT | 33,15 | 25,5 | 9 | 40,19 | 9,3 | 0,13 |

(*) sobrecarga como exemplo

Projeto de Pavimento Prof. Edson

25

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Contagem de campo

Várias maneiras podem ser empregadas para a obtenção de contagens de veículos em campo.

As contagens obtidas em praças de pedágio, pode ser tomada com ao mais fiel possível.

Entretanto, normalmente, contagens são realizadas em curtos espaços de tempo, algumas horas do dia, muitas vezes em dias não consecutivos e em meses também alternados.

Através de alguns modelos matemáticos pode-se obter o número N com relativa precisão

Projeto de Pavimento Prof. Edson

28

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Fator de equivalência de carga (USACE x AASHTO)

FECs USACE E AASHTO

| Tipo de eixo | Carga (tf) | | | FEC USACE | | | FEC AASHTO | | |
|--------------|-------------------|-----------|-------|-------------------|-----------|-------|-------------------|-----------|-------|
| | Sobrecarga (30%)* | Carregado | Vazio | Sobrecarga (30%)* | Carregado | Vazio | Sobrecarga (30%)* | Carregado | Vazio |
| ESRS | 7,8 | 6 | 3 | 0,8 | 0,28 | 0,02 | 1,02 | 0,33 | 0,02 |
| ESRD | 13 | 10 | 5 | 16,97 | 3,29 | 0,13 | 7,44 | 2,39 | 0,12 |
| ETD | 22,1 | 17 | 6 | 36,04 | 8,55 | 0,08 | 4,87 | 1,64 | 0,02 |
| ETT | 33,15 | 25,5 | 9 | 40,19 | 9,3 | 0,13 | 4,72 | 1,56 | 0,02 |

(*) sobrecarga como exemplo

Projeto de Pavimento Prof. Edson

26

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Contagem de campo

A título de exemplo de determinação do número N, foi realizado um levantamento de campo por meio de filmagem dos veículos que solicitam somente a 3ª faixa.

Foram 15 horas de filmagem entre 6:00 h e 21:00 h, distribuídas em três dias 24, 25 e 26/01/2017 (quarta, quinta e sexta feira), na Rodovia BR 376 SC trecho de subida de serra. Através dessa filmagem foi possível quantificar o volume de veículos por classes.

Projeto de Pavimento Prof. Edson

29

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - DER-SP - IP-DE-P00/001 (2006)

Entretanto, caso não se consigam dados de pesagens de veículos e se autorizados pela fiscalização do DER/SP, podem ser adotados os valores de tabelados pelo órgão.

$$V_{ti} = VDM_c * 365 * D * F_p$$

$$N_i = V_{ti} * FV * FR$$

$$N = \sum_{i=1}^p N_i$$

Projeto de Pavimento Prof. Edson

27

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Contagem de campo

O DER-SP, através de um sistema permanente de contagem e controle de tráfego nas rodovias do Estado, publicou o documento técnico n. 8879/00-IX-RL-0102-0 referente a análise da variação do volume de tráfego em praças de pedágio do estado de São Paulo.

Fatores de distribuição do volume de tráfego doc. técnico n. 8879/00-IX-RL-0102-0

| Período | Fator de distribuição (%) |
|------------------------------------|---------------------------|
| Diário 16/24 h (P _{24h}) | 80 |
| Semanal - quarta/quinta/sexta (dp) | 48,3 |
| Mês - janeiro/2009 (pm) | 7,6 |

$$VDM = \frac{\sum_{dp}^{max} VD_{dp}}{365 * P_m * P_{24h}} * 4,35$$

Projeto de Pavimento Prof. Edson

30

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Contagem de campo

VDM na faixa crítica

| Período | Fator de distribuição (%) |
|------------------------------------|---------------------------|
| Diário 16/24 h (P _{24h}) | 80 |
| Semanal - quarta/quinta/sexta (dp) | 48,3 |
| Mês - janeiro/2009 (pm) | 7,6 |

$$VDM = \left[\sum_{dp} \sum_{dp} VD_{dp} \right] = 365 * p_m * P_{24h} * 4,35$$

| Classe | Tipo | Volume (3 dias) | VDMA na faixa |
|--------------|--------|-----------------|---------------|
| 2C | Com. 2 | 117 | 47 |
| 3C | Com. 3 | 560 | 227 |
| 2S2 | Com. 4 | 96 | 38 |
| 2S3 | Com. 5 | 537 | 217 |
| 3S3 | Com. 6 | 479 | 194 |
| 3D4 | Com. 7 | 219 | 88 |
| 3T6 | Com. 9 | 31 | 12 |
| TOTAL | | 2039 | 823 |

(*) Com. 2 - veículo comercial com 2 eixos

Projeto de Pavimento Prof. Edson

31

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - USACE

| Determinação do Número | | FEC DA (X) USACE | | () ASHTO | |
|------------------------|--------|---------------------|------------|------------|-------------|
| Classe | Tipo | Volume (rod. dupl.) | Valor | Individual | Total |
| 2C | Com. 2 | 117 | 36 | 0,0443 | 10,87 |
| 3C | Com. 3 | 560 | 245,33 | 0,3045 | 23,81 |
| 2S2 | Com. 4 | 96 | 36,90 | 0,0458 | 34,10 |
| 2S3 | Com. 5 | 537 | 208,67 | 0,2592 | 36,38 |
| 3S3 | Com. 6 | 479 | 179,35 | 0,2200 | 24,81 |
| 3D4 | Com. 7 | 219 | 87,32 | 0,1085 | 70,28 |
| 3T6 | Com. 9 | 31 | 12,49 | 0,0168 | 10,45 |
| TOTAL | | 2039 | 805 | 1,0 | Soma |

Método de ocorrência de distribuição de carga dos veículos na faixa crítica, carga máxima legal, 10% contra-sobrecarga e 5% vazios

| Classe | Tipo | Volume | VDMA | N anual | N acumulado |
|--------------|--------|------------|------------|-------------|-------------|
| 2C | Com. 2 | 87 | 36 | 1 | 1 |
| 3C | Com. 3 | 568 | 245 | 1 | 2 |
| 2S2 | Com. 4 | 90 | 37 | 1 | 3 |
| 2S3 | Com. 5 | 509 | 200 | 2 | 5 |
| 3S3 | Com. 6 | 438 | 180 | 3 | 8 |
| 3D4 | Com. 7 | 213 | 87 | 6 | 14 |
| 3T6 | Com. 9 | 29 | 12 | 7 | 21 |
| TOTAL | | 805 | 330 | 2019 | 2108 |

Fatores relativos à contagem

| | |
|------------------|-------|
| mensal (3dias) = | 46,8% |
| diário = | 8,7% |
| diário = | 71,4% |

N = 365 * 12,27 * 805 = 3.61E+06 solicitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa de crescimento de 2,0%/ano

$$j = \frac{2 * (P - 1) * 10}{2} = 2$$

N 10 anos = 4,18E+07

Projeto de Pavimento Prof. Edson

34

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Contagem de campo

| Nº EIXOS | CLASSE | VOLUME | ILUSTRAÇÃO |
|--------------|--------|------------|------------|
| 2 | 2C | 109 | |
| | 2CB | 8 | |
| TOTAL | | 117 | |
| 3 | 3CB | 8 | |
| | 3C | 540 | |
| 2B1 | 12 | | |
| TOTAL | | 560 | |
| 4 | 2J3 | 5 | |
| | 4C | 0 | |
| | 2B2 | 90 | |
| 2C2 | 1 | | |
| TOTAL | | 96 | |

Projeto de Pavimento Prof. Edson

32

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - USACE

| Determinação do Número | | FEC DA (X) USACE | | () ASHTO | |
|------------------------|--------|---------------------|------------|------------|-------------|
| Classe | Tipo | Volume (rod. dupl.) | Valor | Individual | Total |
| 2C | Com. 2 | 117 | 36 | 0,0443 | 10,87 |
| 3C | Com. 3 | 560 | 245,33 | 0,3045 | 23,81 |
| 2S2 | Com. 4 | 96 | 36,90 | 0,0458 | 34,10 |
| 2S3 | Com. 5 | 537 | 208,67 | 0,2592 | 36,38 |
| 3S3 | Com. 6 | 479 | 179,35 | 0,2200 | 24,81 |
| 3D4 | Com. 7 | 219 | 87,32 | 0,1085 | 70,28 |
| 3T6 | Com. 9 | 31 | 12,49 | 0,0168 | 10,45 |
| TOTAL | | 2039 | 805 | 1,0 | Soma |

Método de ocorrência de distribuição de carga dos veículos na faixa crítica, carga máxima legal, 10% contra-sobrecarga e 5% vazios

| Classe | Tipo | Volume | VDMA | N anual | N acumulado |
|--------------|--------|------------|------------|-------------|-------------|
| 2C | Com. 2 | 87 | 36 | 1 | 1 |
| 3C | Com. 3 | 568 | 245 | 1 | 2 |
| 2S2 | Com. 4 | 90 | 37 | 1 | 3 |
| 2S3 | Com. 5 | 509 | 200 | 2 | 5 |
| 3S3 | Com. 6 | 438 | 180 | 3 | 8 |
| 3D4 | Com. 7 | 213 | 87 | 6 | 14 |
| 3T6 | Com. 9 | 29 | 12 | 7 | 21 |
| TOTAL | | 805 | 330 | 2019 | 2108 |

Fatores relativos à contagem

| | |
|------------------|-------|
| mensal (3dias) = | 46,8% |
| diário = | 8,7% |
| diário = | 71,4% |

N = 365 * 12,27 * 805 = 3.61E+06 solicitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa de crescimento de 2,0%/ano

$$j = \frac{2 * (P - 1) * 10}{2} = 2$$

N 10 anos = 4,18E+07

Projeto de Pavimento Prof. Edson

35

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - Contagem de campo

| Classe | Tipo | Volume | VDMA |
|--------------------|------|-------------|------|
| 3C2 | 9 | | |
| 3B3 | 407 | | |
| 6 | 3B3 | 48 | |
| | 3J3 | 13 | |
| 3C3 | 2 | | |
| TOTAL | | 479 | |
| 7 | 3D4 | 219 | |
| TOTAL | | 219 | |
| 9 | 3T6 | 31 | |
| TOTAL GERAL | | 31 | |
| TOTAL GERAL | | 2039 | |

Projeto de Pavimento Prof. Edson

33

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N - USACE C

| Classe | Tipo | Volume | VDMA |
|--------------|--------|------------|------|
| 2C | Com. 2 | 87 | 36 |
| 2S2 | Com. 4 | 90 | 37 |
| 2S3 | Com. 5 | 509 | 200 |
| 3S3 | Com. 6 | 438 | 180 |
| 3D4 | Com. 7 | 213 | 87 |
| 3T6 | Com. 9 | 29 | 12 |
| TOTAL | | 805 | |

Fatores relativos à contagem

| | |
|------------------|-------|
| mensal (3dias) = | 46,8% |
| diário = | 8,7% |
| diário = | 71,4% |

VDM = 87 / 0,468 / 0,087 / 0,714 / 365 * 4,35

VDM = 36

Projeto de Pavimento Prof. Edson

36

Fatec - SP

departamento de transportes e obras de terra

Número N - USACE

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO

| Classificação dos Veículos | Classe | Tipo | Nº de Eixos | | | | FEC DA (X) | | FEC D | | USACE | | J (A)ASHITO | |
|----------------------------|--------|------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------|--------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------|
| | | | Simplex (roda simples) | Simplex (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Individual | Total | Subscrevora | Carregado | Subscrevora | Carregado | Individual | Total |
| 2C | Com. 2 | 1 | 1 | - | - | - | 36 | 0,0443 | 10,87 | 3,57 | 0,15 | 0,48 | 0,26 | 0,01 |
| 2C | Com. 3 | 1 | - | 1 | - | - | 245,15 | 0,3045 | 23,61 | 8,83 | 0,30 | 1,05 | 0,39 | 0,00 |
| 252 | Com. 4 | 1 | 1 | 1 | - | - | 36,90 | 0,0458 | 34,50 | 12,12 | 0,23 | 1,53 | 0,54 | 0,01 |
| 253 | Com. 5 | 1 | 1 | - | 1 | - | 208,67 | 0,2592 | 36,58 | 12,87 | 0,28 | 1,62 | 0,57 | 0,01 |
| 353 | Com. 6 | 1 | - | 1 | - | 1 | 179,56 | 0,2230 | 24,81 | 188,89 | 0,32 | 1,10 | 8,34 | 0,01 |
| 354 | Com. 7 | 1 | - | 3 | - | - | 87,32 | 0,1085 | 70,28 | 25,92 | 0,26 | 3,11 | 1,25 | 0,01 |
| 355 | Com. 8 | 1 | - | 4 | - | - | 11,89 | 0,0148 | 103,45 | 37,48 | 0,33 | 4,58 | 3,68 | 0,01 |
| Total | | 1 | | 4 | | 805 | | 1,0 | Somos | | 13,46 | 12,81 | 0,08 | |

Hipótese de ocorrência da distribuição de carga dos veículos na frota: 80% dos veículos - carga máxima legal; 15% com 3 eixos; 5% com 4 eixos.

FC-USACE (fórmula): $N = 365 \cdot 12,27 \cdot 805 = 3,61E+06$ solicitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa de crescimento de 2,00%/ano.

| Classe | Tipo | Volume | VDM | Ano | Índice (I) | USACE |
|---------------------------|--------|--------|-----|------|------------|----------|
| 2C | Com. 2 | 87 | 36 | 2013 | 1 | 3,61E+06 |
| 2C | Com. 3 | 568 | 35 | 2014 | 1 | 3,61E+06 |
| 252 | Com. 4 | 90 | 37 | 2015 | 2 | 3,61E+06 |
| 253 | Com. 5 | 509 | 30 | 2016 | 2 | 3,61E+06 |
| 353 | Com. 6 | 438 | 180 | 2017 | 4 | 3,61E+06 |
| 354 | Com. 7 | 213 | 87 | 2018 | 5 | 3,61E+06 |
| 355 | Com. 8 | 29 | 12 | 2019 | 6 | 3,61E+06 |
| Frota relativa a contagem | | 805 | | | | |
| Integral (Dobro) = | | 46,8% | | | | |
| Integral = | | 8,7% | | | | |
| Básico = | | 71,4% | | | | |

$j = [2 + (P - 1)T / 100]$

N 10 anos = **4,18E+07**

Projeto de Pavimento

Prof. Edson

37

Fatec - SP

departamento de transportes e obras de terra

Número N - USACE

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO

| Classificação dos Veículos | Classe | Tipo | Nº de Eixos | | | | FEC DA (X) | | FEC D | | USACE | | J (A)ASHITO | |
|----------------------------|--------|------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------|--------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------|
| | | | Simplex (roda simples) | Simplex (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Individual | Total | Subscrevora | Carregado | Subscrevora | Carregado | Individual | Total |
| 2C | Com. 2 | 1 | 1 | - | - | - | 36 | 0,0443 | 10,87 | 3,57 | 0,15 | 0,48 | 0,26 | 0,01 |
| 2C | Com. 3 | 1 | - | 1 | - | - | 245,15 | 0,3045 | 23,61 | 8,83 | 0,30 | 1,05 | 0,39 | 0,00 |
| 252 | Com. 4 | 1 | 1 | 1 | - | - | 36,90 | 0,0458 | 34,50 | 12,12 | 0,23 | 1,53 | 0,54 | 0,01 |
| 253 | Com. 5 | 1 | 1 | - | 1 | - | 208,67 | 0,2592 | 36,58 | 12,87 | 0,28 | 1,62 | 0,57 | 0,01 |
| 353 | Com. 6 | 1 | - | 1 | - | 1 | 179,56 | 0,2230 | 24,81 | 188,89 | 0,32 | 1,10 | 8,34 | 0,01 |
| 354 | Com. 7 | 1 | - | 3 | - | - | 87,32 | 0,1085 | 70,28 | 25,92 | 0,26 | 3,11 | 1,25 | 0,01 |
| 355 | Com. 8 | 1 | - | 4 | - | - | 11,89 | 0,0148 | 103,45 | 37,48 | 0,33 | 4,58 | 3,68 | 0,01 |
| Total | | 1 | | 4 | | 805 | | 1,0 | Somos | | 13,46 | 12,81 | 0,08 | |

Hipótese de ocorrência da distribuição de carga dos veículos na frota: 80% dos veículos - carga máxima legal; 15% com 3 eixos; 5% com 4 eixos.

FC-USACE (fórmula): $N = 365 \cdot 12,27 \cdot 805 = 3,61E+06$ solicitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa de crescimento de 2,00%/ano.

| Classe | Tipo | Volume | VDM | Ano | Índice (I) | USACE |
|---------------------------|--------|--------|-----|------|------------|----------|
| 2C | Com. 2 | 87 | 36 | 2013 | 1 | 3,61E+06 |
| 2C | Com. 3 | 568 | 35 | 2014 | 1 | 3,61E+06 |
| 252 | Com. 4 | 90 | 37 | 2015 | 2 | 3,61E+06 |
| 253 | Com. 5 | 509 | 30 | 2016 | 2 | 3,61E+06 |
| 353 | Com. 6 | 438 | 180 | 2017 | 4 | 3,61E+06 |
| 354 | Com. 7 | 213 | 87 | 2018 | 5 | 3,61E+06 |
| 355 | Com. 8 | 29 | 12 | 2019 | 6 | 3,61E+06 |
| Frota relativa a contagem | | 805 | | | | |
| Integral (Dobro) = | | 46,8% | | | | |
| Integral = | | 8,7% | | | | |
| Básico = | | 71,4% | | | | |

$j = [2 + (P - 1)T / 100]$

N 10 anos = **4,18E+07**

Projeto de Pavimento

Prof. Edson

40

Fatec - SP

departamento de transportes e obras de terra

Número N - USACE

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO

| Classificação dos Veículos | Classe | Tipo | Nº de Eixos | | | | FEC DA (X) | | FEC D | | USACE | | J (A)ASHITO | |
|----------------------------|--------|------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------|--------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------|
| | | | Simplex (roda simples) | Simplex (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Individual | Total | Subscrevora | Carregado | Subscrevora | Carregado | Individual | Total |
| 2C | Com. 2 | 1 | 1 | - | - | - | 36 | 0,0443 | 10,87 | 3,57 | 0,15 | 0,48 | 0,26 | 0,01 |
| 2C | Com. 3 | 1 | - | 1 | - | - | 245,15 | 0,3045 | 23,61 | 8,83 | 0,30 | 1,05 | 0,39 | 0,00 |
| 252 | Com. 4 | 1 | 1 | 1 | - | - | 36,90 | 0,0458 | 34,50 | 12,12 | 0,23 | 1,53 | 0,54 | 0,01 |
| 253 | Com. 5 | 1 | 1 | - | 1 | - | 208,67 | 0,2592 | 36,58 | 12,87 | 0,28 | 1,62 | 0,57 | 0,01 |
| 353 | Com. 6 | 1 | - | 1 | - | 1 | 179,56 | 0,2230 | 24,81 | 188,89 | 0,32 | 1,10 | 8,34 | 0,01 |
| 354 | Com. 7 | 1 | - | 3 | - | - | 87,32 | 0,1085 | 70,28 | 25,92 | 0,26 | 3,11 | 1,25 | 0,01 |
| 355 | Com. 8 | 1 | - | 4 | - | - | 11,89 | 0,0148 | 103,45 | 37,48 | 0,33 | 4,58 | 3,68 | 0,01 |
| Total | | 1 | | 4 | | 805 | | 1,0 | Somos | | 13,46 | 12,81 | 0,08 | |

Hipótese de ocorrência da distribuição de carga dos veículos na frota: 80% dos veículos - carga máxima legal; 15% com 3 eixos; 5% com 4 eixos.

FC-USACE (fórmula): $N = 365 \cdot 12,27 \cdot 805 = 3,61E+06$ solicitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa de crescimento de 2,00%/ano.

| Classe | Tipo | Volume | VDM | Ano | Índice (I) | USACE |
|---------------------------|--------|--------|-----|------|------------|----------|
| 2C | Com. 2 | 87 | 36 | 2013 | 1 | 3,61E+06 |
| 2C | Com. 3 | 568 | 35 | 2014 | 1 | 3,61E+06 |
| 252 | Com. 4 | 90 | 37 | 2015 | 2 | 3,61E+06 |
| 253 | Com. 5 | 509 | 30 | 2016 | 2 | 3,61E+06 |
| 353 | Com. 6 | 438 | 180 | 2017 | 4 | 3,61E+06 |
| 354 | Com. 7 | 213 | 87 | 2018 | 5 | 3,61E+06 |
| 355 | Com. 8 | 29 | 12 | 2019 | 6 | 3,61E+06 |
| Frota relativa a contagem | | 805 | | | | |
| Integral (Dobro) = | | 46,8% | | | | |
| Integral = | | 8,7% | | | | |
| Básico = | | 71,4% | | | | |

$j = [2 + (P - 1)T / 100]$

N 10 anos = **4,18E+07**

Transferir o VDM calculado, fazer a somatória (805)

Calcular as porcentagens de cada VDM

% = 36/805 = 0,0443 ou
% = 36/805 * 100 = 4,43%

Projeto de Pavimento

Prof. Edson

38

Fatec - SP

departamento de transportes e obras de terra

Número N - USACE

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO

| Classificação dos Veículos | Classe | Tipo | Nº de Eixos | | | | FEC DA (X) | | FEC D | | USACE | | J (A)ASHITO | |
|----------------------------|--------|------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------|--------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------|
| | | | Simplex (roda simples) | Simplex (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Individual | Total | Subscrevora | Carregado | Subscrevora | Carregado | Individual | Total |
| 2C | Com. 2 | 1 | 1 | - | - | - | 36 | 0,0443 | 10,87 | 3,57 | 0,15 | 0,48 | 0,26 | 0,01 |
| 2C | Com. 3 | 1 | - | 1 | - | - | 245,15 | 0,3045 | 23,61 | 8,83 | 0,30 | 1,05 | 0,39 | 0,00 |
| 252 | Com. 4 | 1 | 1 | 1 | - | - | 36,90 | 0,0458 | 34,50 | 12,12 | 0,23 | 1,53 | 0,54 | 0,01 |
| 253 | Com. 5 | 1 | 1 | - | 1 | - | 208,67 | 0,2592 | 36,58 | 12,87 | 0,28 | 1,62 | 0,57 | 0,01 |
| 353 | Com. 6 | 1 | - | 1 | - | 1 | 179,56 | 0,2230 | 24,81 | 188,89 | 0,32 | 1,10 | 8,34 | 0,01 |
| 354 | Com. 7 | 1 | - | 3 | - | - | 87,32 | 0,1085 | 70,28 | 25,92 | 0,26 | 3,11 | 1,25 | 0,01 |
| 355 | Com. 8 | 1 | - | 4 | - | - | 11,89 | 0,0148 | 103,45 | 37,48 | 0,33 | 4,58 | 3,68 | 0,01 |
| Total | | 1 | | 4 | | 805 | | 1,0 | Somos | | 13,46 | 12,81 | 0,08 | |

Hipótese de ocorrência da distribuição de carga dos veículos na frota: 80% dos veículos - carga máxima legal; 15% com 3 eixos; 5% com 4 eixos.

FC-USACE (fórmula): $N = 365 \cdot 12,27 \cdot 805 = 3,61E+06$ solicitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa de crescimento de 2,00%/ano.

| Classe | Tipo | Volume | VDM | Ano | Índice (I) | USACE |
|---------------------------|--------|--------|-----|------|------------|----------|
| 2C | Com. 2 | 87 | 36 | 2013 | 1 | 3,61E+06 |
| 2C | Com. 3 | 568 | 35 | 2014 | 1 | 3,61E+06 |
| 252 | Com. 4 | 90 | 37 | 2015 | 2 | 3,61E+06 |
| 253 | Com. 5 | 509 | 30 | 2016 | 2 | 3,61E+06 |
| 353 | Com. 6 | 438 | 180 | 2017 | 4 | 3,61E+06 |
| 354 | Com. 7 | 213 | 87 | 2018 | 5 | 3,61E+06 |
| 355 | Com. 8 | 29 | 12 | 2019 | 6 | 3,61E+06 |
| Frota relativa a contagem | | 805 | | | | |
| Integral (Dobro) = | | 46,8% | | | | |
| Integral = | | 8,7% | | | | |
| Básico = | | 71,4% | | | | |

$j = [2 + (P - 1)T / 100]$

N 10 anos = **4,18E+07**

Projeto de Pavimento

Prof. Edson

41

Fatec - SP

departamento de transportes e obras de terra

Número N - USACE

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO

| Classificação dos Veículos | Classe | Tipo | Nº de Eixos | | | | FEC DA (X) | | FEC D | | USACE | | J (A)ASHITO | |
|----------------------------|--------|------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------|--------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------|
| | | | Simplex (roda simples) | Simplex (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Individual | Total | Subscrevora | Carregado | Subscrevora | Carregado | Individual | Total |
| 2C | Com. 2 | 1 | 1 | - | - | - | 36 | 0,0443 | 10,87 | 3,57 | 0,15 | 0,48 | 0,26 | 0,01 |
| 2C | Com. 3 | 1 | - | 1 | - | - | 245,15 | 0,3045 | 23,61 | 8,83 | 0,30 | 1,05 | 0,39 | 0,00 |
| 252 | Com. 4 | 1 | 1 | 1 | - | - | 36,90 | 0,0458 | 34,50 | 12,12 | 0,23 | 1,53 | 0,54 | 0,01 |
| 253 | Com. 5 | 1 | 1 | - | 1 | - | 208,67 | 0,2592 | 36,58 | 12,87 | 0,28 | 1,62 | 0,57 | 0,01 |
| 353 | Com. 6 | 1 | - | 1 | - | 1 | 179,56 | 0,2230 | 24,81 | 188,89 | 0,32 | 1,10 | 8,34 | 0,01 |
| 354 | Com. 7 | 1 | - | 3 | - | - | 87,32 | 0,1085 | 70,28 | 25,92 | 0,26 | 3,11 | 1,25 | 0,01 |
| 355 | Com. 8 | 1 | - | 4 | - | - | 11,89 | 0,0148 | 103,45 | 37,48 | 0,33 | 4,58 | 3,68 | 0,01 |
| Total | | 1 | | 4 | | 805 | | 1,0 | Somos | | 13,46 | 12,81 | 0,08 | |

Hipótese de ocorrência da distribuição de carga dos veículos na frota: 80% dos veículos - carga máxima legal; 15% com 3 eixos; 5% com 4 eixos.

FC-USACE (fórmula): $N = 365 \cdot 12,27 \cdot 805 = 3,61E+06$ solicitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa de crescimento de 2,00%/ano.

| Classe | Tipo | Volume | VDM | Ano |
|--------|------|--------|-----|-----|
|--------|------|--------|-----|-----|

Fatec - SP

departamento de transportes e obras de terra

Número N - USACE

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO

| Classificação dos Veículos | Classe | Tipo | Nº de Eixos | | | | Volume Diário Médio Anual (VDM) | FEC DA (X) USACE | Fatores de Veículos - USACE | | Total | | |
|----------------------------|--------|------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------|--------------|-------------|-------|------|
| | | | Simples (roda simples) | Simples (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | | | Individual | Carregado | | Vazio | |
| 2C | Com. 2 | 1 | 1 | 1 | - | 36 | 0,0443 | 10,87 | 3,57 | 0,15 | 0,48 | 0,16 | 0,01 |
| 3C | Com. 3 | 1 | 1 | 1 | - | 245,15 | 0,3045 | 23,81 | 8,83 | 0,10 | 1,05 | 0,39 | 0,00 |
| 252 | Com. 4 | 1 | 1 | 1 | - | 36,90 | 0,0458 | 34,10 | 12,12 | 0,23 | 3,53 | 0,54 | 0,01 |
| 253 | Com. 5 | 1 | 1 | 1 | - | 208,67 | 0,2592 | 36,58 | 12,87 | 0,28 | 1,62 | 0,57 | 0,01 |
| 353 | Com. 6 | 1 | 1 | 1 | - | 179,56 | 0,2230 | 24,81 | 188,39 | 0,32 | 1,10 | 8,34 | 0,01 |
| 304 | Com. 7 | 1 | 1 | 3 | - | 87,32 | 0,1085 | 70,28 | 25,92 | 0,26 | 3,11 | 1,15 | 0,01 |
| 316 | Com. 9 | 1 | 1 | 4 | - | 11,89 | 0,0148 | 103,45 | 37,48 | 0,53 | 4,58 | 1,66 | 0,02 |
| Total | | | | | | 805 | 1,0 | 134,6 | 13,46 | 12,81 | 0,08 | | |

Hipótese de ocorrência da distribuição de carga dos veículos na frota: 80% dos veículos carga máxima legal, 15% com sobrecarga e 5% trafegando a taxa d

FC-USAICE (fórmula)

| Carregado | Vazio | FC-USAICE (fórmula) | | | |
|-----------|-------|---------------------|-------|------|------|
| 7,2 | 6,0 | 3,0 | 0,58 | 0,28 | 0,02 |
| 12,0 | 10,0 | 5,0 | 10,29 | 9,29 | 0,13 |
| 20,4 | 17,0 | 6,0 | 23,23 | 8,55 | 0,08 |
| 30,6 | 25,5 | 9,0 | 25,72 | 9,30 | 0,13 |

N_{10 anos} = 365*12,27*805 = 3.61E+06 solitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa de crescimento de 2,62%/ano

N_{10 anos} = 4,18E+07

Equação 1

$$j = \frac{[2 + (P - 1)T + 100]}{2}$$

N_{10 anos} = 4,18E+07

Fatores relativos a carregagem:

| | |
|--------------------|-------|
| Normal (Definição) | 46,8% |
| Normal + | 8,7% |
| Abuso + | 71,4% |

Projeto de Pavimento

Prof. Edson

43

Fatec - SP

departamento de transportes e obras de terra

Número N

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO

| Classificação dos Veículos | Classe | Tipo | Nº de Eixos | | | | Volume Diário Médio Anual (VDM) | FEC DA (X) USACE | Fatores de Veículos - USACE | | Total | | |
|----------------------------|--------|------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------|--------------|-------------|-------|------|
| | | | Simples (roda simples) | Simples (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | | | Individual | Carregado | | Vazio | |
| 2C | Com. 2 | 1 | 1 | 1 | - | 36 | 0,0443 | 10,87 | 3,57 | 0,15 | 0,48 | 0,16 | 0,01 |
| 3C | Com. 3 | 1 | 1 | 1 | - | 245,15 | 0,3045 | 23,81 | 8,83 | 0,10 | 1,05 | 0,39 | 0,00 |
| 252 | Com. 4 | 1 | 1 | 1 | - | 36,90 | 0,0458 | 34,10 | 12,12 | 0,23 | 3,53 | 0,54 | 0,01 |
| 253 | Com. 5 | 1 | 1 | 1 | - | 208,67 | 0,2592 | 36,58 | 12,87 | 0,28 | 1,62 | 0,57 | 0,01 |
| 353 | Com. 6 | 1 | 1 | 1 | - | 179,56 | 0,2230 | 24,81 | 188,39 | 0,32 | 1,10 | 8,34 | 0,01 |
| 304 | Com. 7 | 1 | 1 | 3 | - | 87,32 | 0,1085 | 70,28 | 25,92 | 0,26 | 3,11 | 1,15 | 0,01 |
| 316 | Com. 9 | 1 | 1 | 4 | - | 11,89 | 0,0148 | 103,45 | 37,48 | 0,53 | 4,58 | 1,66 | 0,02 |
| Total | | | | | | 805 | 1,0 | 134,6 | 13,46 | 12,81 | 0,08 | | |

Hipótese de ocorrência da distribuição de carga dos veículos na frota: 80% dos veículos carga máxima legal, 15% com sobrecarga e 5% trafegando a taxa d

FC-USAICE (fórmula)

| Carregado | Vazio | FC-USAICE (fórmula) | | | |
|-----------|-------|---------------------|-------|------|------|
| 7,2 | 6,0 | 3,0 | 0,58 | 0,28 | 0,02 |
| 12,0 | 10,0 | 5,0 | 10,29 | 9,29 | 0,13 |
| 20,4 | 17,0 | 6,0 | 23,23 | 8,55 | 0,08 |
| 30,6 | 25,5 | 9,0 | 25,72 | 9,30 | 0,13 |

N_{10 anos} = 365*12,27*805 = 3.61E+06 solitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa de crescimento de 2,62%/ano

N_{10 anos} = 4,18E+07

Equação 1

$$j = \frac{[2 + (P - 1)T + 100]}{2}$$

N_{10 anos} = 4,18E+07

Fatores relativos a carregagem:

| | |
|--------------------|-------|
| Normal (Definição) | 46,8% |
| Normal + | 8,7% |
| Abuso + | 71,4% |

% * Sobrecarga individual = Sobrecarga total
0,043 * 10,87 = 0,48

Repetir para as condições: carregado e vazio

Projeto de Pavimento

Prof. Edson

46

Fatec - SP

departamento de transportes e obras de terra

Número N - USACE

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO

| Classificação dos Veículos | Classe | Tipo | Nº de Eixos | | | | Volume Diário Médio Anual (VDM) | FEC DA (X) USACE | Fatores de Veículos - USACE | | Total | | |
|----------------------------|--------|------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------|--------------|-------------|-------|------|
| | | | Simples (roda simples) | Simples (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | | | Individual | Carregado | | Vazio | |
| 2C | Com. 2 | 1 | 1 | 1 | - | 36 | 0,0443 | 10,87 | 3,57 | 0,15 | 0,48 | 0,16 | 0,01 |
| 3C | Com. 3 | 1 | 1 | 1 | - | 245,15 | 0,3045 | 23,81 | 8,83 | 0,10 | 1,05 | 0,39 | 0,00 |
| 252 | Com. 4 | 1 | 1 | 1 | - | 36,90 | 0,0458 | 34,10 | 12,12 | 0,23 | 3,53 | 0,54 | 0,01 |
| 253 | Com. 5 | 1 | 1 | 1 | - | 208,67 | 0,2592 | 36,58 | 12,87 | 0,28 | 1,62 | 0,57 | 0,01 |
| 353 | Com. 6 | 1 | 1 | 1 | - | 179,56 | 0,2230 | 24,81 | 188,39 | 0,32 | 1,10 | 8,34 | 0,01 |
| 304 | Com. 7 | 1 | 1 | 3 | - | 87,32 | 0,1085 | 70,28 | 25,92 | 0,26 | 3,11 | 1,15 | 0,01 |
| 316 | Com. 9 | 1 | 1 | 4 | - | 11,89 | 0,0148 | 103,45 | 37,48 | 0,53 | 4,58 | 1,66 | 0,02 |
| Total | | | | | | 805 | 1,0 | 134,6 | 13,46 | 12,81 | 0,08 | | |

Hipótese de ocorrência da distribuição de carga dos veículos na frota: 80% dos veículos carga máxima legal, 15% com sobrecarga e 5% trafegando a taxa d

FC-USAICE (fórmula)

| Carregado | Vazio | FC-USAICE (fórmula) | | | |
|-----------|-------|---------------------|-------|------|------|
| 7,2 | 6,0 | 3,0 | 0,58 | 0,28 | 0,02 |
| 12,0 | 10,0 | 5,0 | 10,29 | 9,29 | 0,13 |
| 20,4 | 17,0 | 6,0 | 23,23 | 8,55 | 0,08 |
| 30,6 | 25,5 | 9,0 | 25,72 | 9,30 | 0,13 |

N_{10 anos} = 365*12,27*805 = 3.61E+06 solitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa d

N_{10 anos} = 4,18E+07

Equação 1

$$j = \frac{[2 + (P - 1)T + 100]}{2}$$

N_{10 anos} = 4,18E+07

Fatores relativos a carregagem:

| | |
|--------------------|-------|
| Normal (Definição) | 46,8% |
| Normal + | 8,7% |
| Abuso + | 71,4% |

Projeto de Pavimento

Prof. Edson

44

Fatec - SP

departamento de transportes e obras de terra

Número N

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO

| Classificação dos Veículos | Classe | Tipo | Nº de Eixos | | | | Volume Diário Médio Anual (VDM) | FEC DA (X) USACE | Fatores de Veículos - USACE | | Total | | |
|----------------------------|--------|------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------|--------------|-------------|-------|------|
| | | | Simples (roda simples) | Simples (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | | | Individual | Carregado | | Vazio | |
| 2C | Com. 2 | 1 | 1 | 1 | - | 36 | 0,0443 | 10,87 | 3,57 | 0,15 | 0,48 | 0,16 | 0,01 |
| 3C | Com. 3 | 1 | 1 | 1 | - | 245,15 | 0,3045 | 23,81 | 8,83 | 0,10 | 1,05 | 0,39 | 0,00 |
| 252 | Com. 4 | 1 | 1 | 1 | - | 36,90 | 0,0458 | 34,10 | 12,12 | 0,23 | 3,53 | 0,54 | 0,01 |
| 253 | Com. 5 | 1 | 1 | 1 | - | 208,67 | 0,2592 | 36,58 | 12,87 | 0,28 | 1,62 | 0,57 | 0,01 |
| 353 | Com. 6 | 1 | 1 | 1 | - | 179,56 | 0,2230 | 24,81 | 188,39 | 0,32 | 1,10 | 8,34 | 0,01 |
| 304 | Com. 7 | 1 | 1 | 3 | - | 87,32 | 0,1085 | 70,28 | 25,92 | 0,26 | 3,11 | 1,15 | 0,01 |
| 316 | Com. 9 | 1 | 1 | 4 | - | 11,89 | 0,0148 | 103,45 | 37,48 | 0,53 | 4,58 | 1,66 | 0,02 |
| Total | | | | | | 805 | 1,0 | 134,6 | 13,46 | 12,81 | 0,08 | | |

Hipótese de ocorrência da distribuição de carga dos veículos na frota: 80% dos veículos carga máxima legal, 15% com sobrecarga e 5% trafegando a taxa d

FC-USAICE (fórmula)

| Carregado | Vazio | FC-USAICE (fórmula) | | | |
|-----------|-------|---------------------|-------|------|------|
| 7,2 | 6,0 | 3,0 | 0,58 | 0,28 | 0,02 |
| 12,0 | 10,0 | 5,0 | 10,29 | 9,29 | 0,13 |
| 20,4 | 17,0 | 6,0 | 23,23 | 8,55 | 0,08 |
| 30,6 | 25,5 | 9,0 | 25,72 | 9,30 | 0,13 |

N_{10 anos} = 365*12,27*805 = 3.61E+06 solitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa d

N_{10 anos} = 4,18E+07

Equação 1

$$j = \frac{[2 + (P - 1)T + 100]}{2}$$

N_{10 anos} = 4,18E+07

Fatores relativos a carregagem:

| | |
|--------------------|-------|
| Normal (Definição) | 46,8% |
| Normal + | 8,7% |
| Abuso + | 71,4% |

Hipótese de ocorrência da distribuição de carga dos veículos na frota: 80% dos veículos carga máxima legal, 15% com sobrecarga e 5% trafegando a taxa d

Soma-se os fatores de veículos (FV): Sobrecarga, carregado e vazio e pondera com a % das sobrecargas. No caso do carregado = 12,81

Com as hipóteses de 15% com sobrecarga, multiplica-se pelo FV correspondente. Repete-se para carregado e vazio
FV = 0,15 * 13,46 + 0,8*12,81 + 0,05*0,08 = 12,27

Projeto de Pavimento

Prof. Edson

47

Fatec - SP

departamento de transportes e obras de terra

Número N

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO

| Classificação dos Veículos | Classe | Tipo | Nº de Eixos | | | | Volume Diário Médio Anual (VDM) | FEC DA (X) USACE | Fatores de Veículos - USACE | | Total | | |
|----------------------------|--------|------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------|--------------|-------------|-------|------|
| | | | Simples (roda simples) | Simples (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | | | Individual | Carregado | | Vazio | |
| 2C | Com. 2 | 1 | 1 | 1 | - | 36 | 0,0443 | 10,87 | 3,57 | 0,15 | 0,48 | 0,16 | 0,01 |
| 3C | Com. 3 | 1 | 1 | 1 | - | 245,15 | 0,3045 | 23,81 | 8,83 | 0,10 | 1,05 | 0,39 | 0,00 |
| 252 | Com. 4 | 1 | 1 | 1 | - | 36,90 | 0,0458 | 34,10 | 12,12 | 0,23 | 3,53 | 0,54 | 0,01 |
| 253 | Com. 5 | 1 | 1 | 1 | - | 208,67 | 0,2592 | 36,58 | 12,87 | 0,28 | 1,62 | 0,57 | 0,01 |
| 353 | Com. 6 | 1 | 1 | 1 | - | 179,56 | 0,2230 | 24,81 | 188,39 | 0,32 | 1,10 | 8,34 | 0,01 |
| 304 | Com. 7 | 1 | 1 | 3 | - | 87,32 | 0,1085 | 70,28 | 25,92 | 0,26 | 3,11 | 1,15 | 0,01 |
| 316 | Com. 9 | 1 | 1 | 4 | - | 11,89 | 0,0148 | 103,45 | 37,48 | 0,53 | 4,58 | 1,66 | 0,02 |
| Total | | | | | | 805 | 1,0 | 134,6 | 13,46 | 12,81 | 0,08 | | |

Hipótese de ocorrência da distribuição de carga dos veículos na frota: 80% dos veículos carga máxima legal, 15% com sobrecarga e 5% trafegando a taxa d

FC-USAICE (fórmula)

| Carregado | Vazio | FC-USAICE (fórmula) | | | |
|-----------|-------|---------------------|-------|------|------|
| 7,2 | 6,0 | 3,0 | 0,58 | 0,28 | 0,02 |
| 12,0 | 10,0 | 5,0 | 10,29 | 9,29 | 0,13 |
| 20,4 | 17,0 | 6,0 | 23,23 | 8,55 | 0,08 |
| 30,6 | 25,5 | 9,0 | 25,72 | 9,30 | 0,13 |

N_{10 anos} = 365*12,27*805 = 3.61E+06 solitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa de crescimento de 2,62%/ano

N_{10 anos} = 4,18E+07

Equação 1

$$j = \frac{[2 + (P - 1)T + 100]}{2}$$

N_{10 anos} = 4,18E+07

Fatores relativos a carregagem:

| | |
|--------------------|-------|
| Normal (Definição) | 46,8% |
| Normal + | 8,7% |
| Abuso + | 71,4% |

Projeto de Pavimento

Prof. Edson

45

Fatec - SP

departamento de transportes e obras de terra

Número N

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO

| Classificação dos Veículos | Classe | Tipo | Nº de Eixos | | | | Volume Diário Médio Anual (VDM) | FEC DA (X) USACE | Fatores de Veículos - USACE | | Total | | |
|----------------------------|--------|------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------|-----------|-------|-------|------|
| | | | Simples (roda simples) | Simples (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | Tandem (roda dupla) | | | Individual | Carregado | | Vazio | |
| 2C | Com. 2 | 1 | 1 | 1 | - | 36 | 0,0443 | 10,87 | 3,57 | 0,15 | 0,48 | 0,16 | 0,01 |
| 3C | Com. 3 | 1 | 1 | 1 | - | 245,15 | 0,3045 | 23,81 | 8,83 | 0,10 | 1,05 | 0,39 | 0,00 |
| 252 | Com. 4 | 1 | 1 | 1 | - | 36,90 | 0,0458 | | | | | | |

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N

re legal, 15% comsobrecarga e 5% vazões 15% 80% 5%

$N_{(ano zero)} = 365 \cdot FV \cdot VDM$

N = 365 * 12,27 * 805 = 3,61E+06 solicitações

Projeto de Pavimento Prof. Edson

49

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N

$N = 365 \cdot 12,27 \cdot 805 = 3,61E+06$ solicitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa de crescimento de 2,00%/ano.

| Classe | Tipo | Volume | VDM | ano | Área (p) | Índice (I) | USACAE | USACAE | N anual | N acumulado |
|--------|--------|--------|-----|------|----------|------------|----------|----------|----------|-------------|
| 2C | Com.2 | 87 | 36 | 2013 | 0 | 1 | 3,61E+06 | 3,61E+06 | 3,61E+06 | 3,61E+06 |
| 2C | Com.3 | 998 | 245 | 2014 | 1 | 1 | 3,61E+06 | 7,21E+06 | 7,21E+06 | 7,21E+06 |
| 2C | Com.4 | 90 | 37 | 2015 | 2 | 1,01345 | 3,65E+06 | 1,09E+07 | 1,09E+07 | 1,09E+07 |
| 2C | Com.5 | 1 | 1 | 2016 | 3 | 1,0269 | 3,70E+06 | 1,46E+07 | 1,46E+07 | 1,46E+07 |
| 2C | Com.6 | 438 | 180 | 2017 | 4 | 1,04035 | 3,75E+06 | 1,83E+07 | 1,83E+07 | 1,83E+07 |
| 2C | Com.7 | 213 | 87 | 2018 | 5 | 1,0538 | 3,80E+06 | 2,21E+07 | 2,21E+07 | 2,21E+07 |
| 2C | Com.8 | 29 | 12 | 2019 | 6 | 1,06725 | 3,85E+06 | 2,60E+07 | 2,60E+07 | 2,60E+07 |
| 2C | Com.9 | 29 | 12 | 2020 | 7 | 1,0807 | 3,90E+06 | 2,99E+07 | 2,99E+07 | 2,99E+07 |
| 2C | Com.10 | 29 | 12 | 2021 | 8 | 1,09415 | 3,94E+06 | 3,38E+07 | 3,38E+07 | 3,38E+07 |
| 2C | Com.11 | 29 | 12 | 2022 | 9 | 1,1076 | 3,99E+06 | 3,78E+07 | 3,78E+07 | 3,78E+07 |
| 2C | Com.12 | 29 | 12 | 2023 | 10 | 1,12105 | 4,04E+06 | 4,18E+07 | 4,18E+07 | 4,18E+07 |

N 10 anos = 4,18E+07

Determina-se o valor de N acumulado para o período de 10 anos

Projeto de Pavimento Prof. Edson

52

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO

FECD (X) USACE () AASHTO

| Classificação das Vias | Classe | Tipo | Seções (m/m) | Seções (m/m) | Travessias (m/m) | Travessias (m/m) | Volume de Área Anual (m²/ano) | Fatores de Correção - USACE | | Fatores de Correção - AASHTO | | | | |
|------------------------|--------|------|--------------|--------------|------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------|------------------------------|-------|-------|-------|------|
| | | | | | | | | Individual | Total | Individual | Total | | | |
| 2C | Com.2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 36 | 0,9443 | 10,87 | 3,57 | 0,35 | 0,48 | 0,39 | 0,61 |
| 2C | Com.3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 248,32 | 0,9443 | 23,83 | 8,89 | 0,30 | 1,05 | 0,39 | 0,60 |
| 2C | Com.4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 36,90 | 0,9443 | 54,10 | 12,12 | 0,23 | 1,51 | 0,54 | 0,61 |
| 2C | Com.5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 208,67 | 0,9392 | 36,58 | 12,87 | 0,28 | 1,62 | 0,57 | 0,61 |
| 2C | Com.6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,75 | 0,9392 | 24,81 | 108,39 | 0,12 | 1,50 | 0,54 | 0,61 |
| 2C | Com.7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 87,32 | 0,9385 | 70,48 | 25,92 | 0,26 | 1,11 | 1,15 | 0,61 |
| 2C | Com.8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 13,89 | 0,9348 | 303,45 | 37,48 | 0,13 | 4,58 | 1,49 | 0,62 |
| | | | | | | | 805 | | | | | 13,46 | 12,83 | 0,68 |

$N_{(ano zero)} = 365 \cdot FV \cdot VDM$

N = 365 * 12,27 * 805 = 3,61E+06 solicitações

Determinar o valor de N para um período de 10 anos utilizando uma taxa de crescimento de 2,00%/ano.

| Classe | Tipo | Volume | VDM | ano | Área (p) | Índice (I) | USACAE | USACAE | N anual | N acumulado |
|--------|--------|--------|-----|------|----------|------------|----------|----------|----------|-------------|
| 2C | Com.2 | 87 | 36 | 2013 | 0 | 1 | 3,61E+06 | 3,61E+06 | 3,61E+06 | 3,61E+06 |
| 2C | Com.3 | 998 | 245 | 2014 | 1 | 1 | 3,61E+06 | 7,21E+06 | 7,21E+06 | 7,21E+06 |
| 2C | Com.4 | 90 | 37 | 2015 | 2 | 1,01345 | 3,65E+06 | 1,09E+07 | 1,09E+07 | 1,09E+07 |
| 2C | Com.5 | 1 | 1 | 2016 | 3 | 1,0269 | 3,70E+06 | 1,46E+07 | 1,46E+07 | 1,46E+07 |
| 2C | Com.6 | 438 | 180 | 2017 | 4 | 1,04035 | 3,75E+06 | 1,83E+07 | 1,83E+07 | 1,83E+07 |
| 2C | Com.7 | 213 | 87 | 2018 | 5 | 1,0538 | 3,80E+06 | 2,21E+07 | 2,21E+07 | 2,21E+07 |
| 2C | Com.8 | 29 | 12 | 2019 | 6 | 1,06725 | 3,85E+06 | 2,60E+07 | 2,60E+07 | 2,60E+07 |
| 2C | Com.9 | 29 | 12 | 2020 | 7 | 1,0807 | 3,90E+06 | 2,99E+07 | 2,99E+07 | 2,99E+07 |
| 2C | Com.10 | 29 | 12 | 2021 | 8 | 1,09415 | 3,94E+06 | 3,38E+07 | 3,38E+07 | 3,38E+07 |
| 2C | Com.11 | 29 | 12 | 2022 | 9 | 1,1076 | 3,99E+06 | 3,78E+07 | 3,78E+07 | 3,78E+07 |
| 2C | Com.12 | 29 | 12 | 2023 | 10 | 1,12105 | 4,04E+06 | 4,18E+07 | 4,18E+07 | 4,18E+07 |

N 10 anos = 4,18E+07

Projeto de Pavimento Prof. Edson

50

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N

EXERCÍCIO

$I = (2 + (p-1) \cdot t) \cdot 100 / 2$

Por exemplo, para o ano 2018, temos um valor de p = 5, logo.

$I(p=5) = (2 + (5-1) \cdot 2,69 / 100) / 2 = 1,0538$

Annual (5) = $1,0538 \cdot 3,61 \cdot 10^6 = 2,21 \cdot 10^7$

Projeto de Pavimento Prof. Edson

53

Fatec - SP departamento de transportes e obras de terra

Número N

| ano | Índice (I) | N anual | N acumulado |
|------|------------|----------|-------------|
| 2013 | 0 | 3,61E+06 | 3,61E+06 |
| 2014 | 1 | 3,61E+06 | 7,21E+06 |
| 2015 | 2 | 3,65E+06 | 1,09E+07 |
| 2016 | 3 | 3,70E+06 | 1,46E+07 |
| 2017 | 4 | 3,75E+06 | 1,83E+07 |
| 2018 | 5 | 3,80E+06 | 2,21E+07 |
| 2019 | 6 | 3,85E+06 | 2,60E+07 |
| 2020 | 7 | 3,90E+06 | 2,99E+07 |
| 2021 | 8 | 3,94E+06 | 3,38E+07 |
| 2022 | 9 | 3,99E+06 | 3,78E+07 |
| 2023 | 10 | 4,04E+06 | 4,18E+07 |

$I = (2 + (p-1) \cdot t) \cdot 100 / 2$

Por exemplo, para o ano 2018, temos um valor de p = 5, logo.

$I(p=5) = (2 + (5-1) \cdot 2,69 / 100) / 2 = 1,0538$

Annual (5) = $1,0538 \cdot 3,61 \cdot 10^6 = 2,21 \cdot 10^7$

Projeto de Pavimento Prof. Edson

51