

Alternativas de PAVIMENTAÇÃO

Seus desdobramentos
ambientais e orçamentários

Empresa Responsável:

PGE Construções LTDA

CNPJ: 04.811.383/0001-39

Equipe Responsável pelo estudo:

Deividi da Silva Pereira | Professor/UFSM

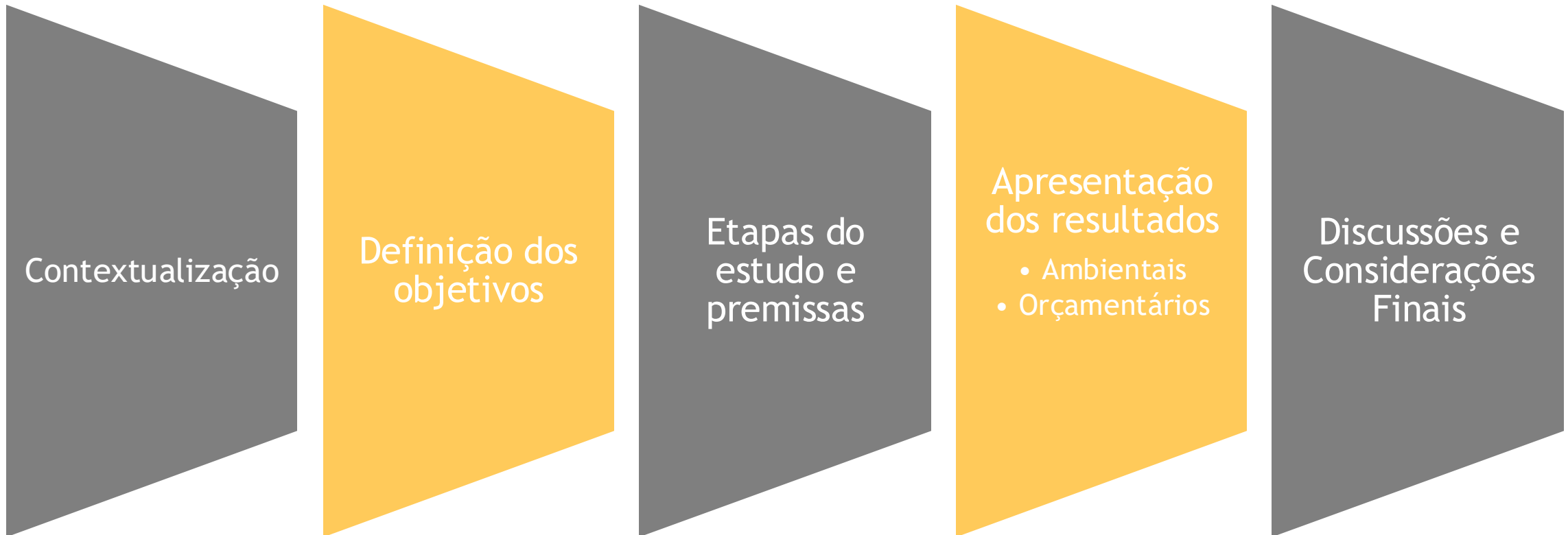
Silvio Lisboa Schuster | Professor/UFSM

Cléber Faccin | Dr. em Engenharia Civil

Luciano Pivoto Specht | Professor/UFSM

Gustavo Lau | Eng. Civil/PGE

Roteiro para a conversa de hoje



Contextualização

A conjuntura internacional do preço do petróleo e do dólar trouxeram a elevação significativa do custo do CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo

A elevação do custo do Cimento Portland não foi tão acentuada quanto a do CAP

Busca legítima de entes privados e públicos por opções de pavimentação mais econômicas
... *sem esquecer o desempenho e a eficiência dos pavimentos*

Dúvidas.....

Qual a alternativa de pavimento é mais atrativa?

Sustentabilidade (ambiental)....emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE)?

Custos de implantação?

Esta atratividade é função do tráfego?

Necessidade de estudo técnico-científico abrangente para melhor estudar os quesitos ambientais e orçamentários das distintas alternativas de pavimentação



Objetivos para hoje

- Avaliar as emissões de CO₂eq para a implantação das diferentes alternativas de pavimentos (CCP e CA)
- Apresentar alguns aspectos relativos aos custos de implantação

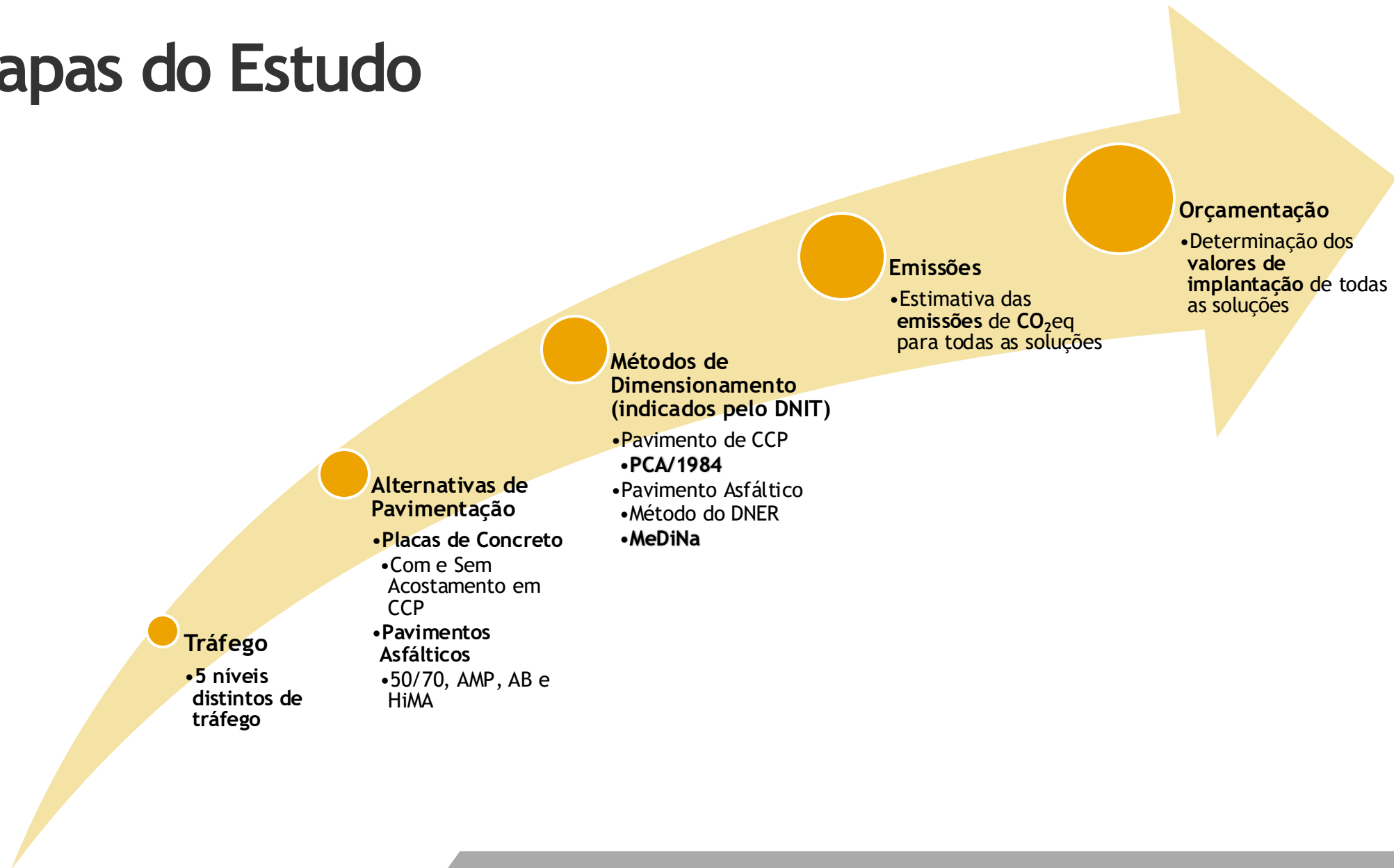


Relatório Técnico Nº 01/2025

Análises Orçamentárias e de Emissões de Carbono na Implantação de Pavimentos Asfálticos e de Concreto de Cimento Portland

CONTRATANTE:		
ABEDA / GRECA		
Equipe de Trabalho:	Deividi da Silva Pereira	Professor/UFSM
	Silvio Lizbia Schuster	Professor/UFSM
	Cleber Faccin	Dr. Engenharia Civil
	Luciano Pivoto Specht	Professor/UFSM
	Gustavo Lau	Eng. Civil / PGE
Data final do Relatório: 15/08/2025		Revisado em: 08/09/2025
Contato: Fone: (51) 3254-1526 / Email: pge@ufsm.br		

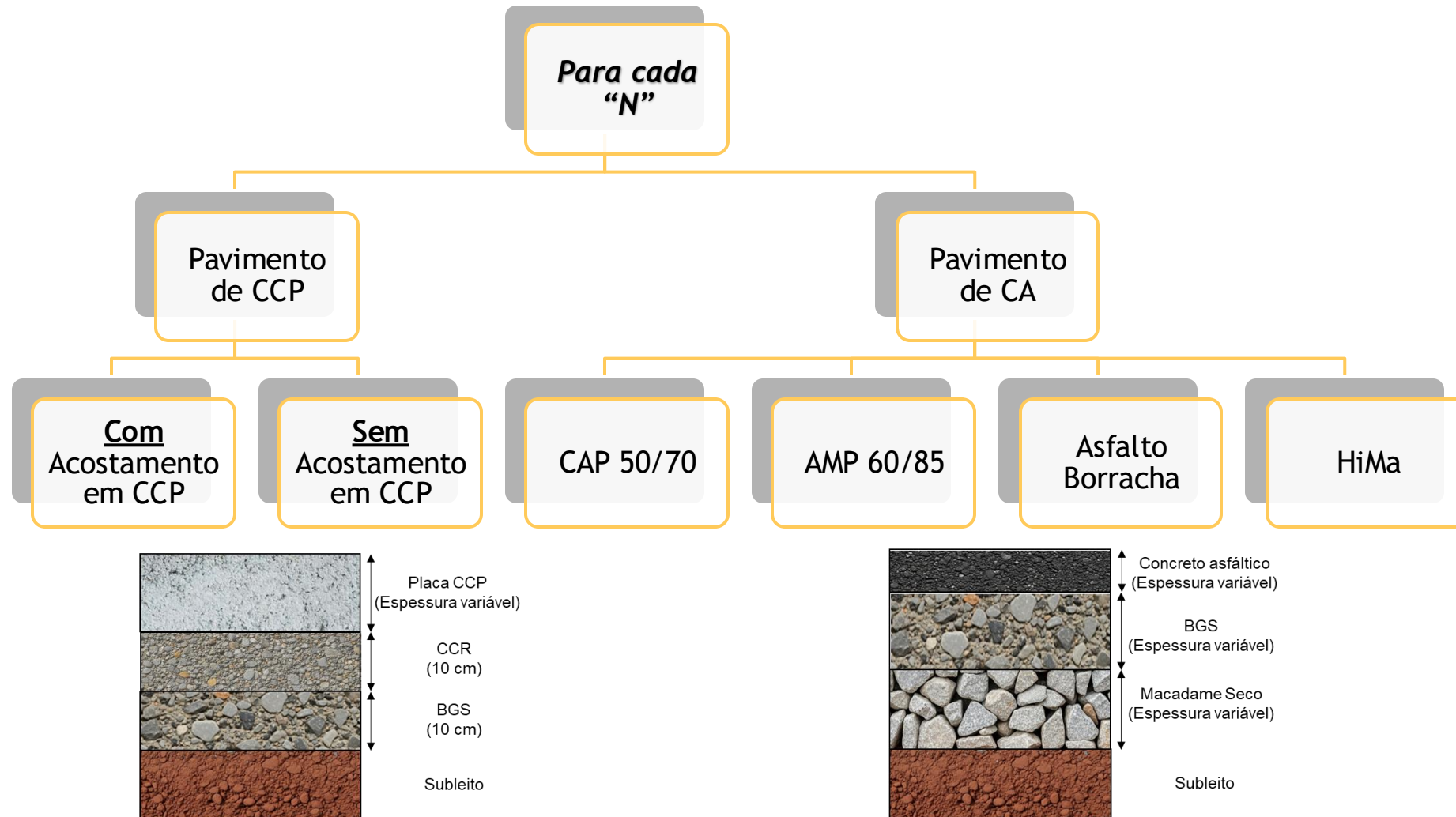
Etapas do Estudo

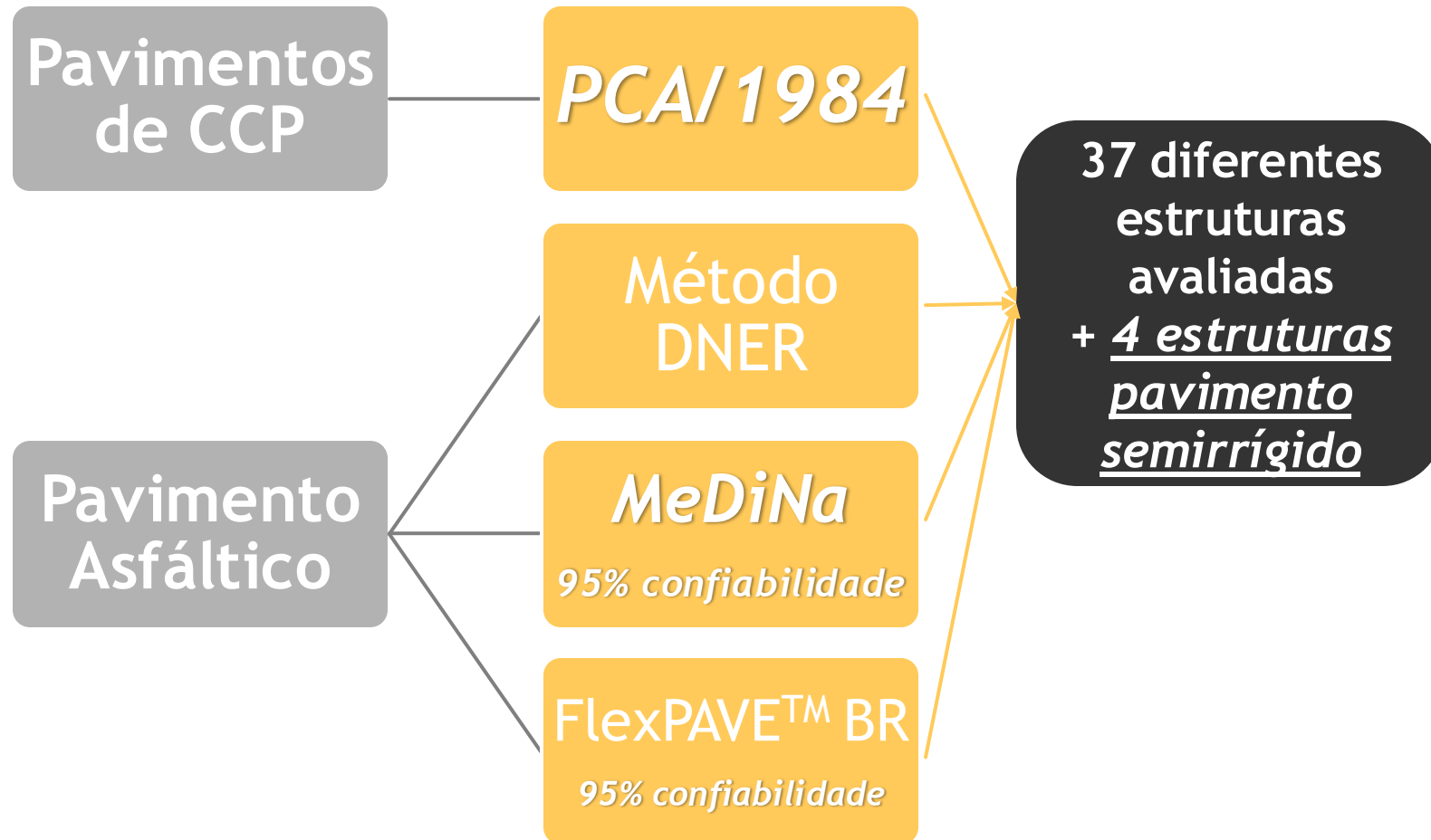


Tráfegos avaliados



Alternativas de pavimentação avaliadas





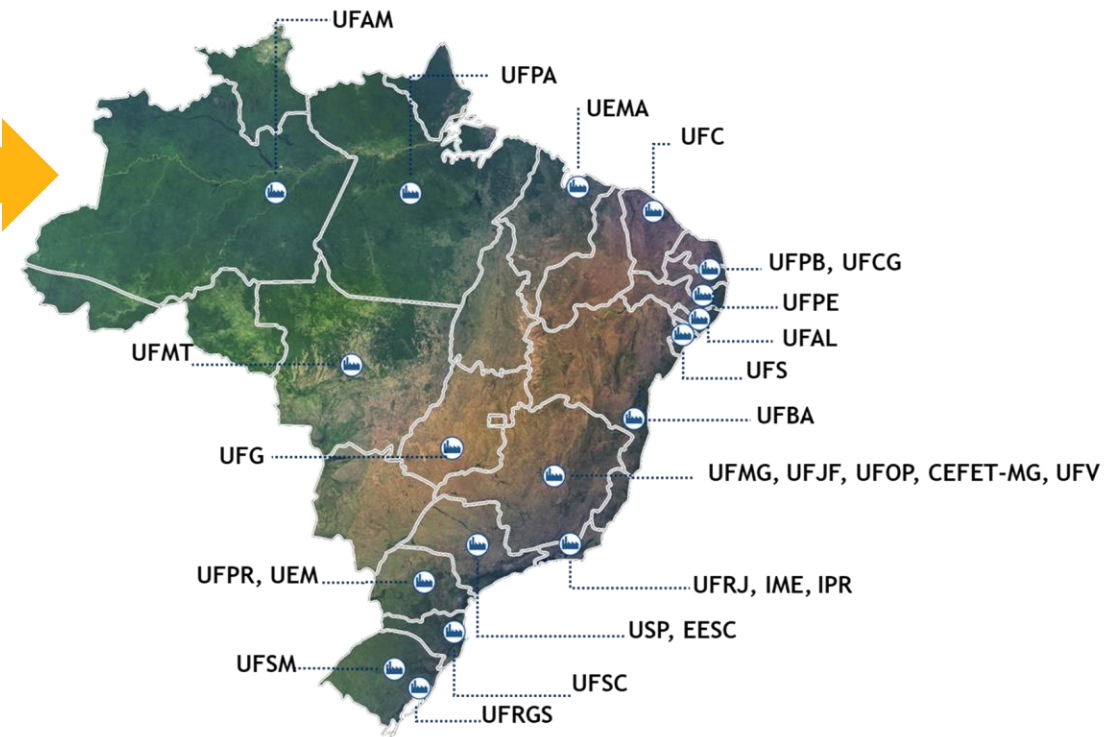
Métodos de Dimensionamento utilizados

Pavimentos Asfálticos

- Rede Temática de P&D em Asfaltos iniciou o desenvolvimento do MeDiNa
- Atualmente, o DNIT assumiu o protagonismo
 - TED's para ampliar os segmentos monitorados e calibrar os modelos de fissuração por fadiga
- Dimensionamento: confiabilidade e calibração

Pavimentos de CCP

- Ficou estacionado nos anos 1980
- Pautado em análises de materiais e condições dos EUA
- Impossibilidade de associação da confiabilidade no dimensionamento
- DNIT/IPR estão atentos - TED com a USP



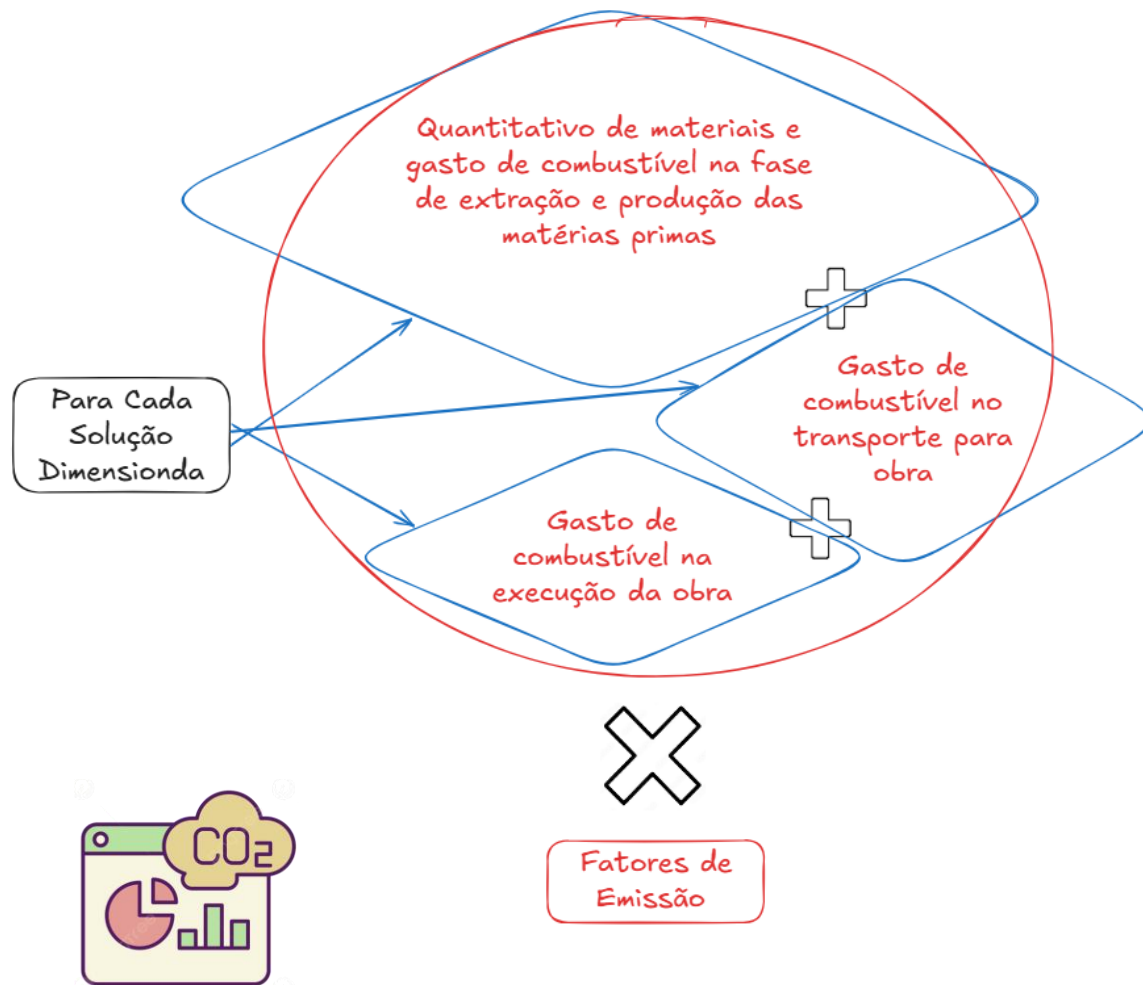
+ parcerias internacionais

Análises das emissões de CO₂eq

Informações sobre o ciclo de vida das obras de construção dentro dos limites de um sistema														
A1-A3			A4-A5		B1-B7					C1-C4				D
Estágio de Produção			Estágio de Construção		Estágio de Uso					Estágio Final				
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4 ^a	B5	C1	C2	C3	C4	
Extração da Matéria Prima	Transporte para Usina	Produção do Material	Transporte para Obra	Execução do Pavimento	Uso	Manutenção (incl. produção, transporte e descarte de material	Reparos (incl. produção, transporte e descarte de material	Substituição (incl. produção, transporte e descarte de material	Reforma (incl. produção, transporte e descarte de material	Demolição	Transporte para descarte ou processamento	Processamento do descarte	Disposição do descarte	Potenciais benefícios líquidos da reutilização, reciclagem e/ou recuperação de energia além dos limites do sistema
					B6 Uso operacional de energia									
					B7 Uso operacional de água									

*(B4) não aplicável ao nível do produto

Análises das emissões de CO₂eq



Critérios adotados

- Cálculo de emissões foi possível a partir do SICRO;
- O SICRO fornece mais do que apenas custos, incluindo dados técnicos como a produção da equipe, *consumo de materiais*, e *potência dos equipamentos e seus consumos*;
- Utilização do método de decomposição das composições de custo unitário:
 - Método também utilizado por Teles et al (2024)
- *Emissões encontradas em referências bibliográficas consolidadas*

Análises orçamentárias

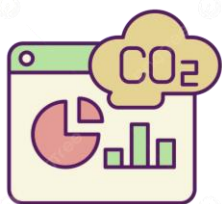
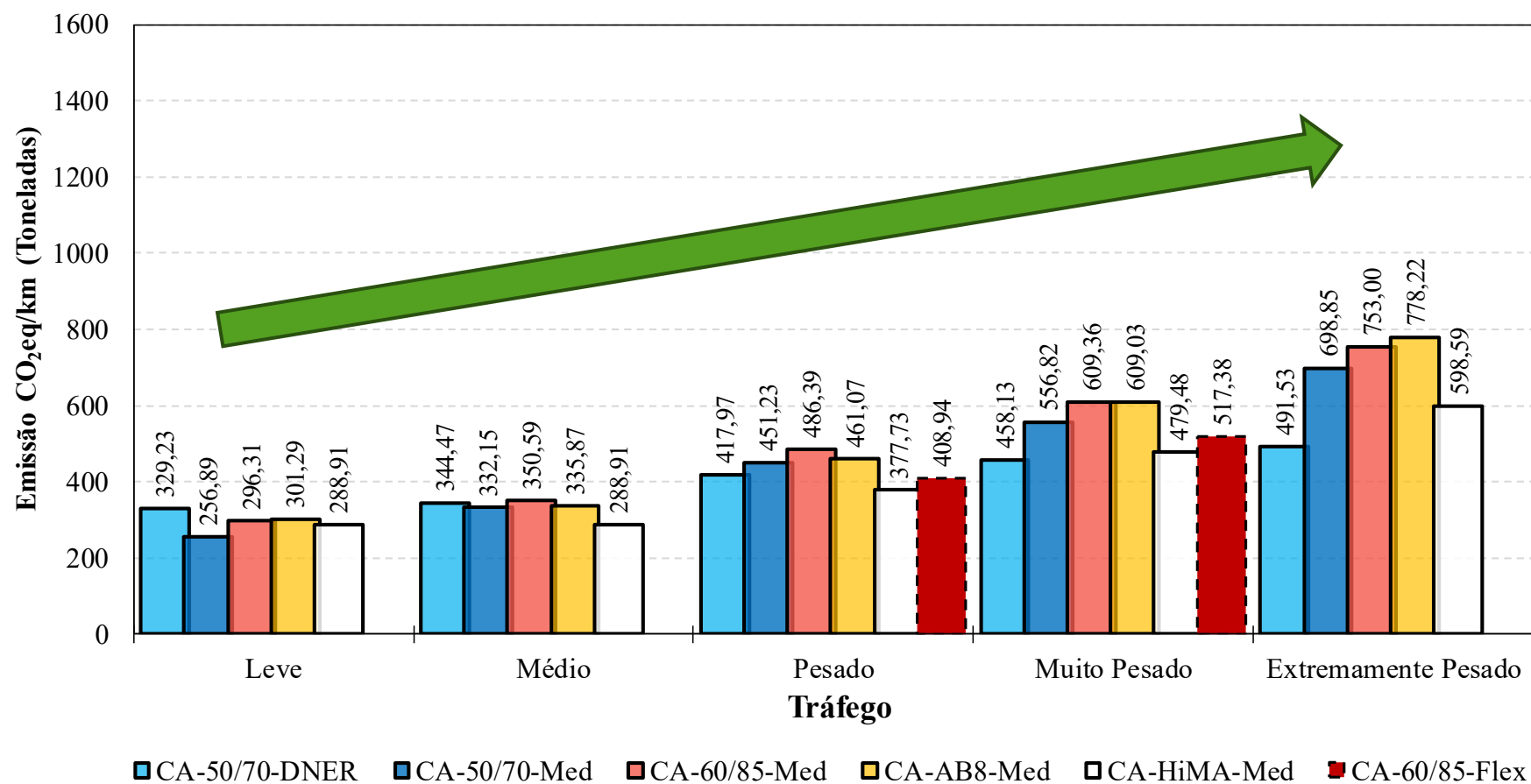
Critérios adotados

- Implantação de 1km de extensão (com pista de 7,20 m de largura total e 5,0 m de largura total de acostamento);
- Apenas custo da superestrutura (sub-base, base e revestimento + sinalização)
- SICRO/*Paraná* (Data-Base: *Jan/2025*);
- *Consumos* (inclusive CAP e Cimento Portland) pautados nos valores de *misturas reais*;
- Preços dos ligantes asfálticos: *Paraná - Tabela ANP* (Portaria DNIT nº 1.977/2017); e orçamentos (HiMA);
- *BDI* - Obra de *médio* porte;
- *BDI* diferenciado ligantes asfálticos;
- *DMT's iguais para todas as soluções*

Resultados - Análises das emissões de CO₂eq

Pavimentos Asfálticos

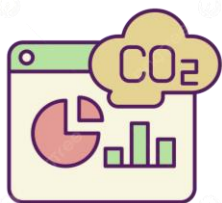
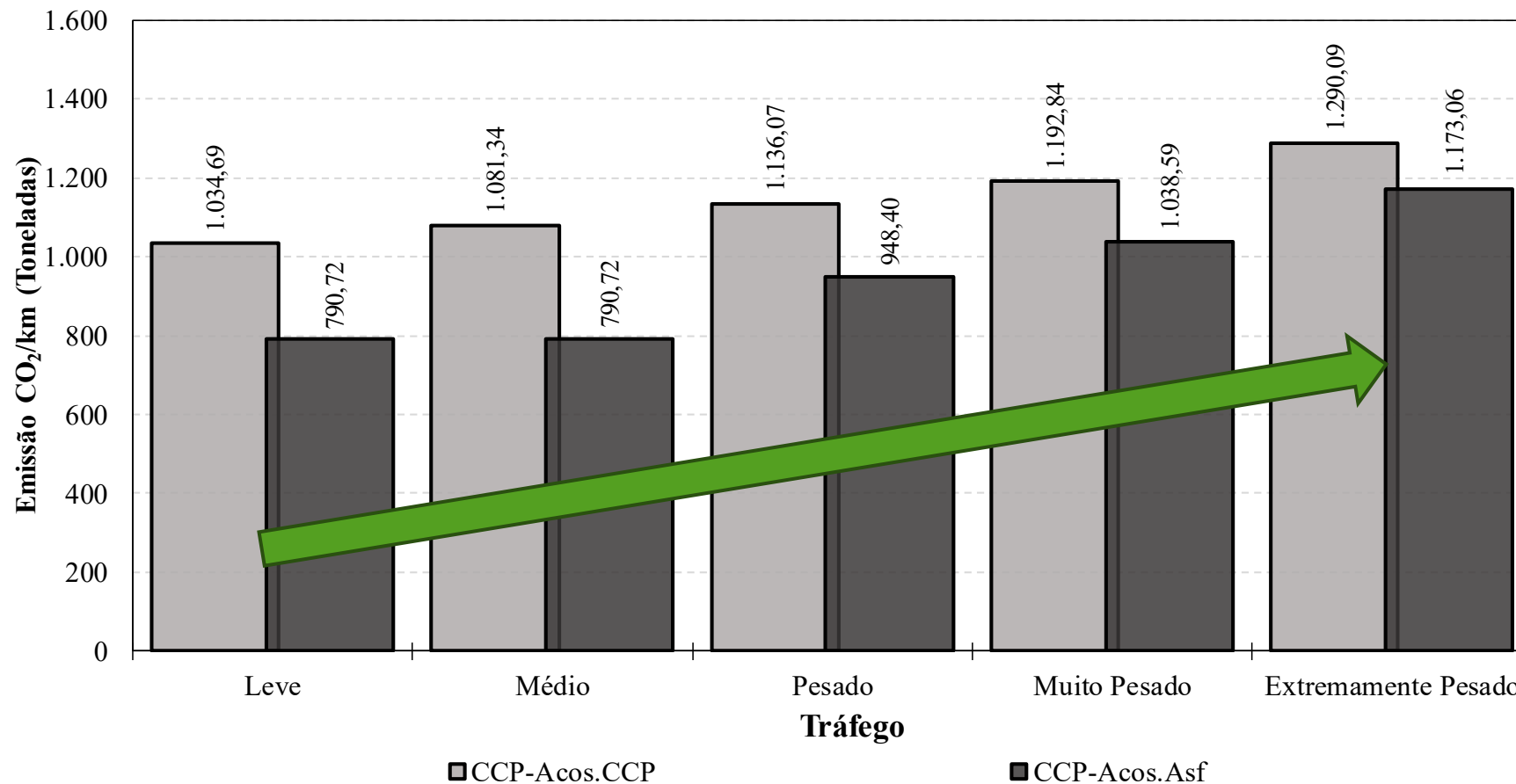
Estimativas dos valores de emissão de CO₂eq das estruturas em pavimento asfáltico



Resultados - Análises das emissões de CO₂eq

Pavimentos Rígidos

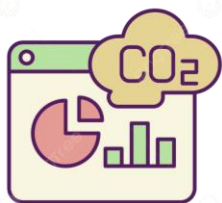
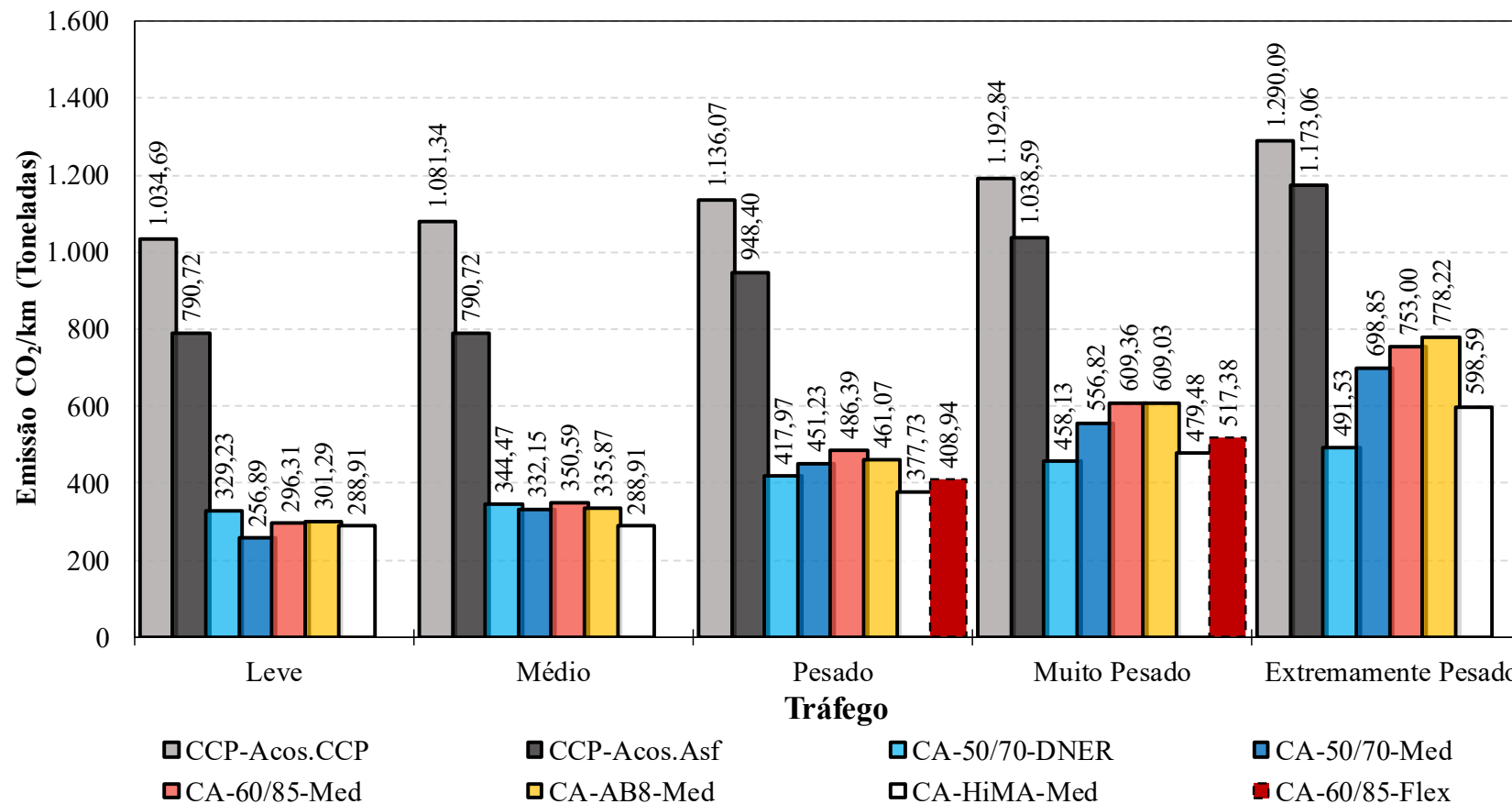
Estimativas dos valores de emissão de CO₂eq das estruturas em pavimento rígido



Resultados - Análises das emissões de CO₂eq

Pavimentos Asfálticos vs. Pavimentos Rígidos

Estimativas dos valores de emissão de CO₂eq das estruturas em pavimento rígido

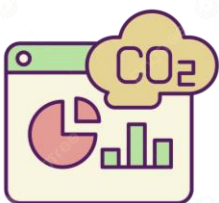


Resultados - Análises das emissões de CO₂eq

Pavimentos Asfálticos vs. Pavimentos Rígidos

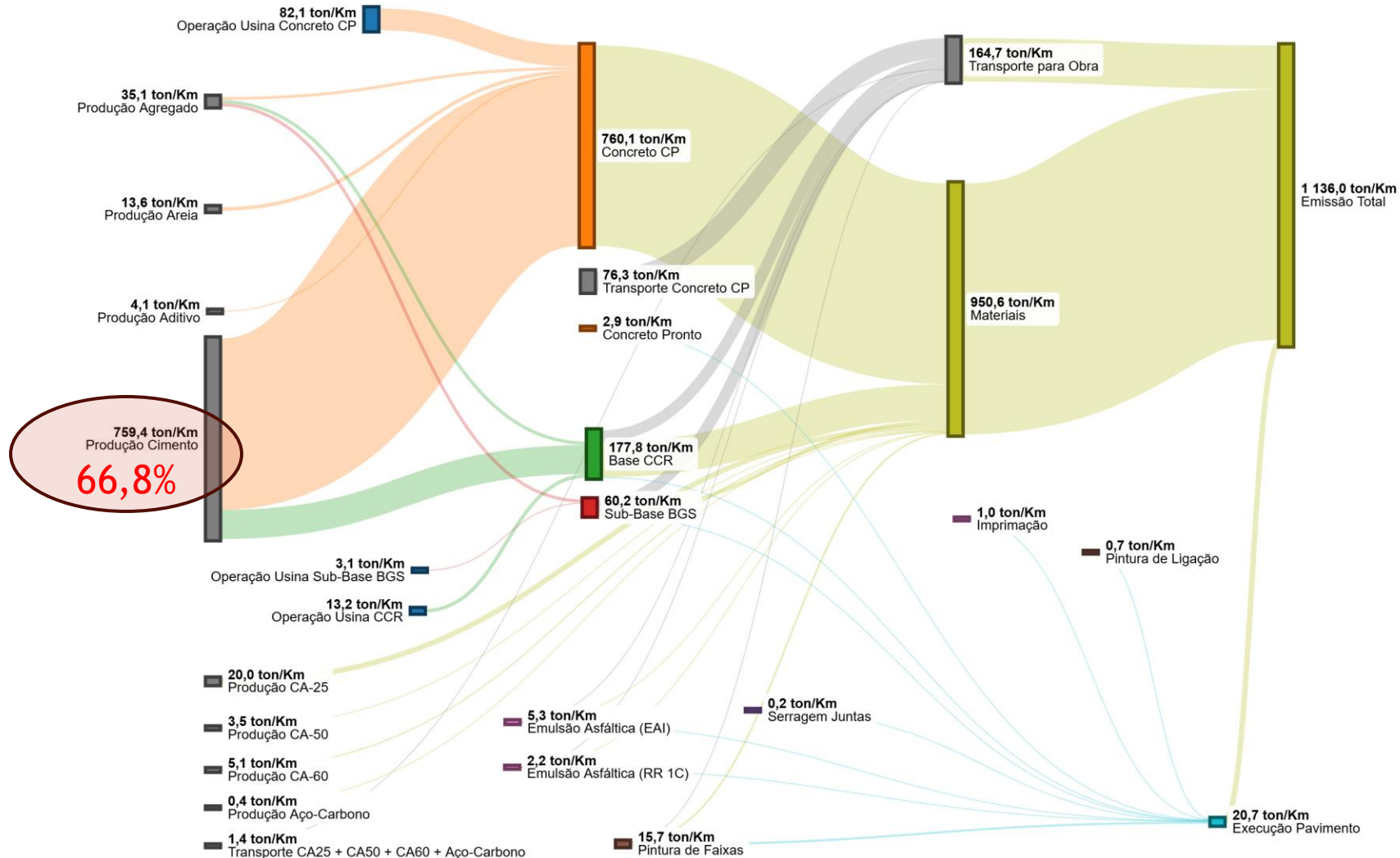
Síntese das diferenças percentuais de emissão de CO₂eq em *relação aos pavimentos rígidos com acostamento em concreto de cimento Portland*

N _{USACE}	CA-50/70-DNER	CA-50/70-Med	CA-60/85-Med	CA-AB8-Med	CA-HiMA-Med	CA-60/85-Flex
Leve	-68,18%	-75,17%	-71,36%	-70,88%	-72,08%	-
Médio	-68,14%	-69,28%	-67,58%	-68,94%	-73,28%	-
Pesado	-	-	-57,19%	-59,41%	-66,75%	-64,00%
Muito Pesado	-	-	-48,91%	-48,94%	-59,80%	-56,62%
Extremamente Pesado	-	-	-41,63%	-39,68%	-53,60%	-



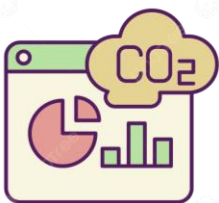
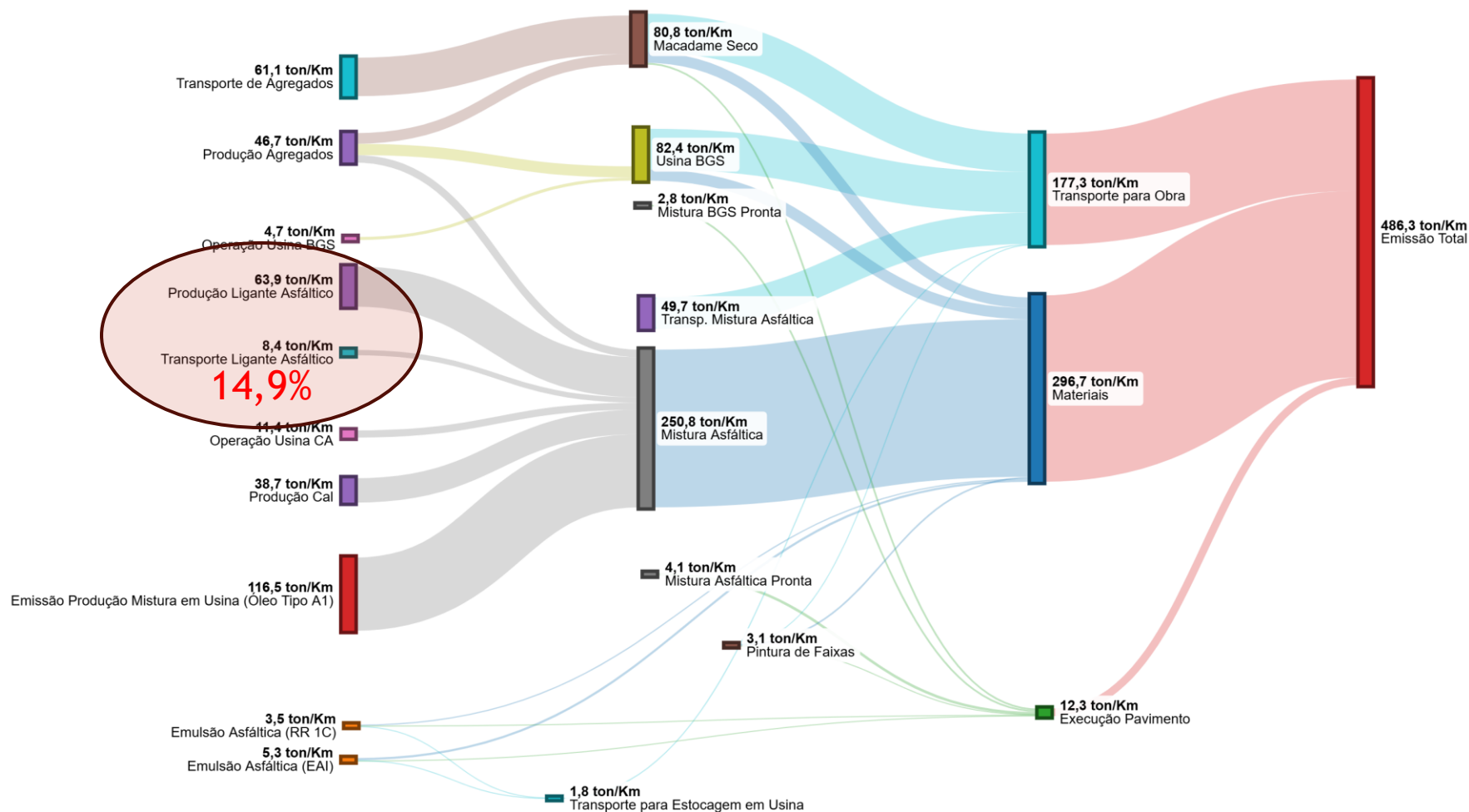
Resultados - Análises das emissões de CO₂eq

Avaliações complementares - Impacto de materiais e serviços CCP Acos CCP - Tráfego Pesado



Resultados - Análises das emissões de CO₂eq

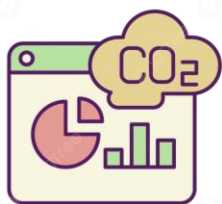
Avaliações complementares - Impacto de materiais e serviços AMP 60/85 - Tráfego Pesado



Resultados - Análises das emissões de CO₂eq

Análise de sensibilidade

- Fator de emissão de CO₂eq do ligante (Petrobras, 2025)¹
 - CAP 50/70 de 264 kgCO₂eq /t
 - Valores menores, função:
 - Linhas de produção de petróleo no Brasil são menos emissivas
 - Matriz energética mais limpa
 - *Maior número de produtos nas refinarias da Petrobras*
- Valor empregado originalmente: 369,05 kgCO₂eq /t

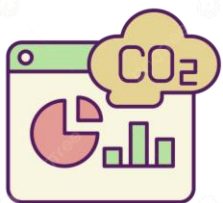


¹Apresentação da Dra. Montserrat Motas Carbonell no evento online “27° Encontro do Asfalto” do Instituto Brasileiro do Petróleo (IBP) no dia 07/08/25 (https://www.youtube.com/watch?v=_tiLsFLhIOM).

Resultados - Análises das emissões de CO₂eq

Análise de sensibilidade

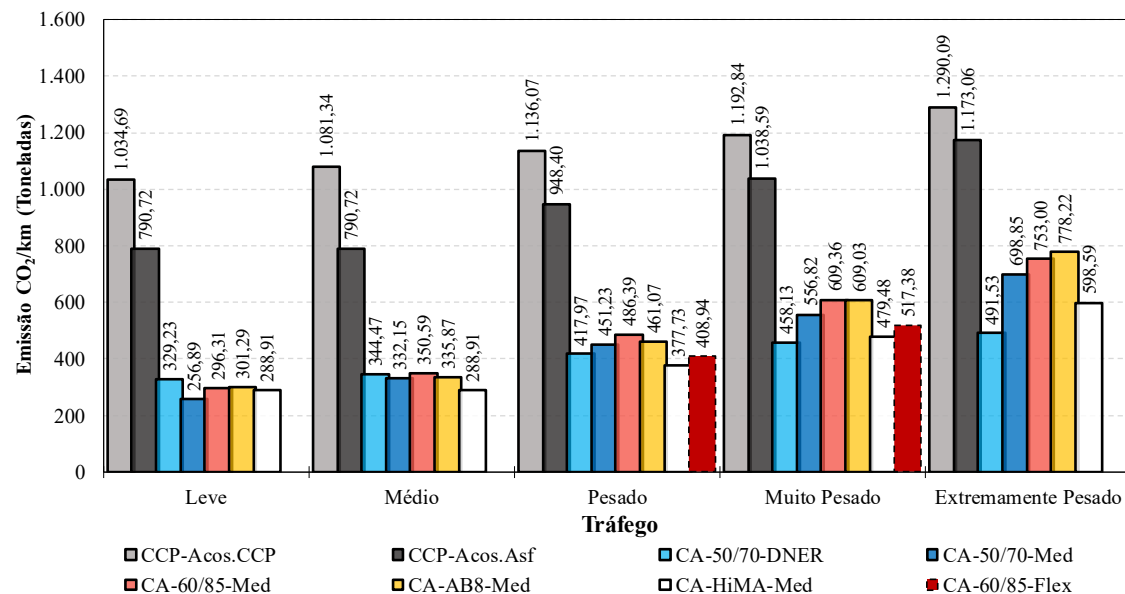
- Fator de emissão de CO₂eq do ligante (Petrobras 2025)
 - CAP 50/70 de 264 kgCO₂eq /t
 - Valor empregado originalmente: 369,05 kgCO₂eq /t
- Em função do valor para CAP 50/70 estimou-se os demais ligantes modificados
 - 389,9 kgCO₂eq/t para AMP 60/85; *originalmente 494,95 kgCO₂eq /t*
 - 293,74 kgCO₂eq/t para AB-08; *originalmente 398,79 kgCO₂eq /t*
 - 515,8 kgCO₂eq/t para HiMA; *originalmente 620,85 kgCO₂eq /t*



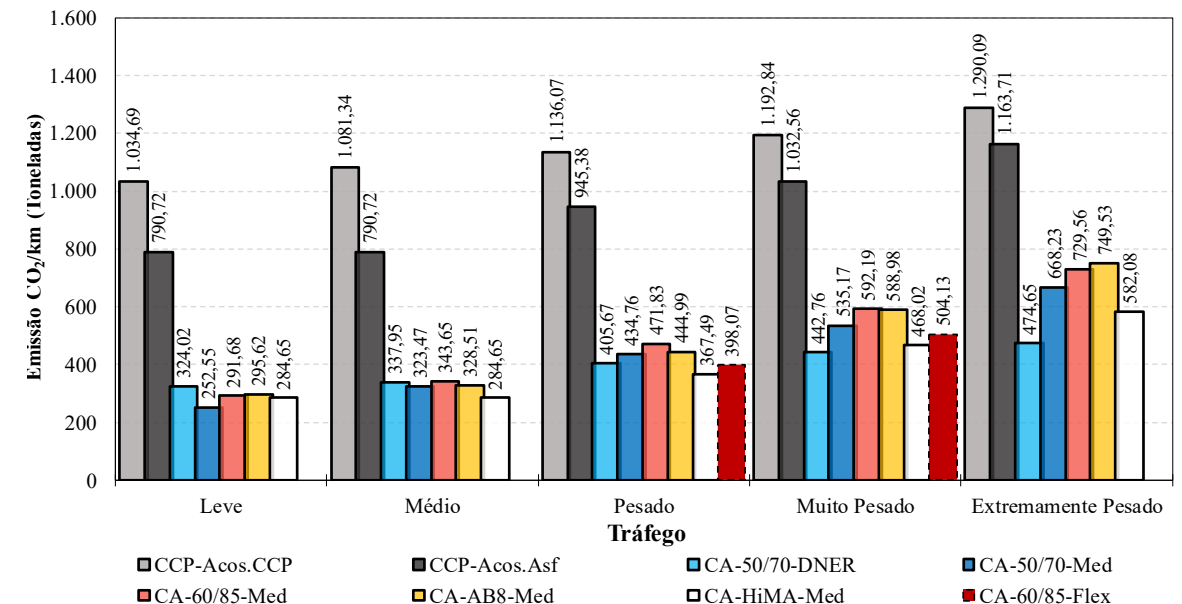
Resultados - Análises das emissões de CO₂eq

Análise de sensibilidade

Fator de emissão para ligantes de literatura



Fator de emissão Petrobras 2025

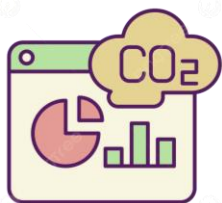
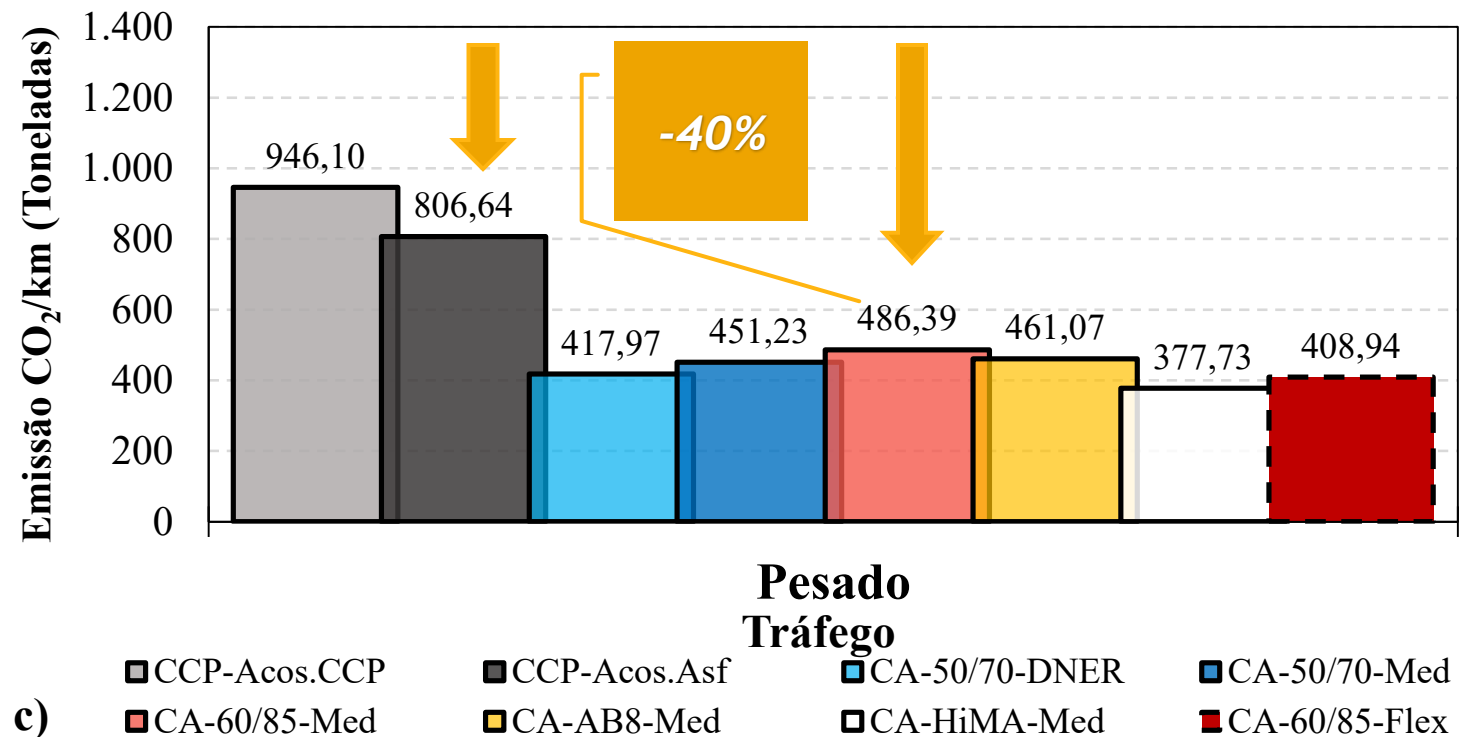


Resultados - Análises das emissões de CO₂eq

Análise de sensibilidade

- Fator de emissão de CO₂eq do ligante (ABCP, 2024)¹
 - Cimento Portland de 564 kgCO₂eq /t
 - Valor empregado originalmente: 752,34 kgCO₂eq /t

Fator de emissão para CAP da literatura e da ABCP para o Cimento Portland



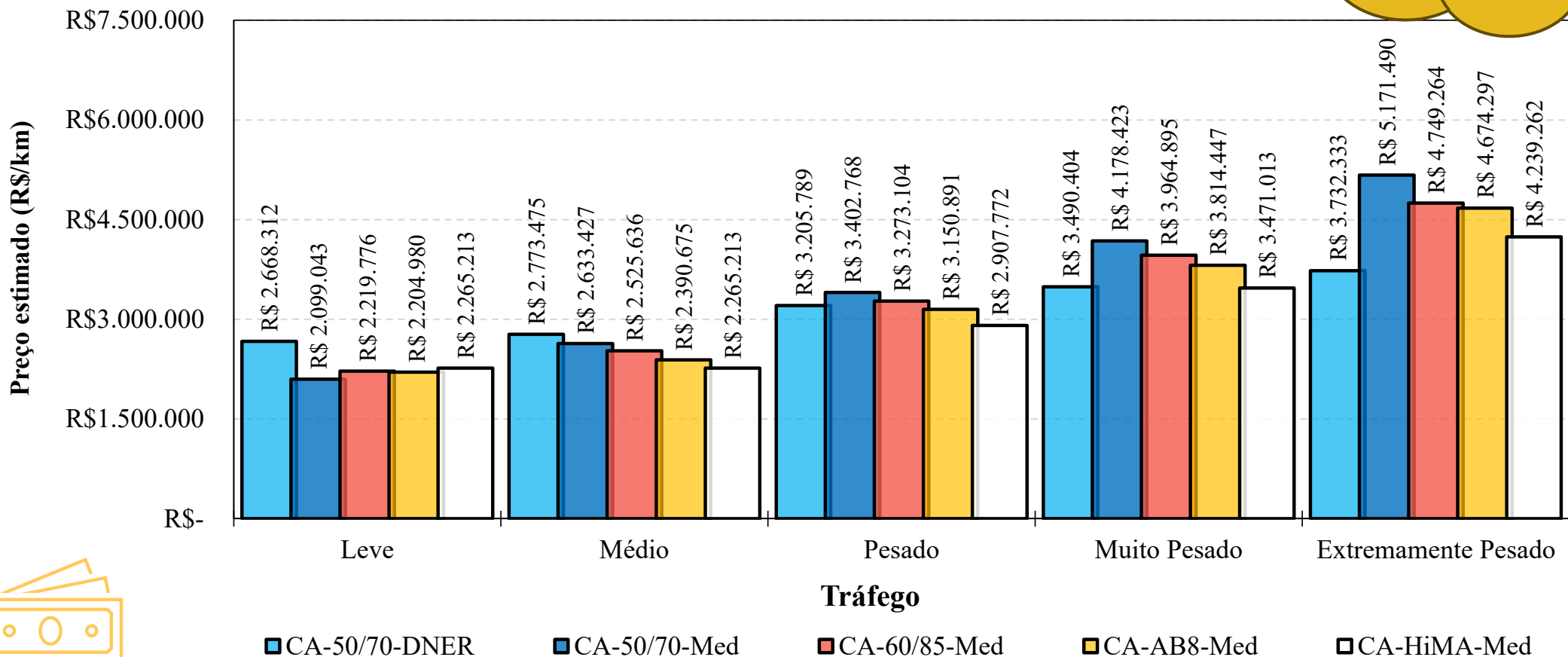
¹A partir de matéria veiculada no dia 15/04/2025 no site da ABCP que traz o valor do fator de emissão atual do cimento no Brasil de 564 kgCO₂/t de cimento produzido

Resultados - Análises orçamentárias.

Pavimentos Asfálticos

Estimativas dos valores de implantação das estruturas em pavimento asfáltico

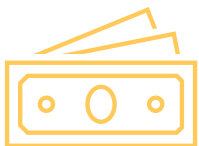
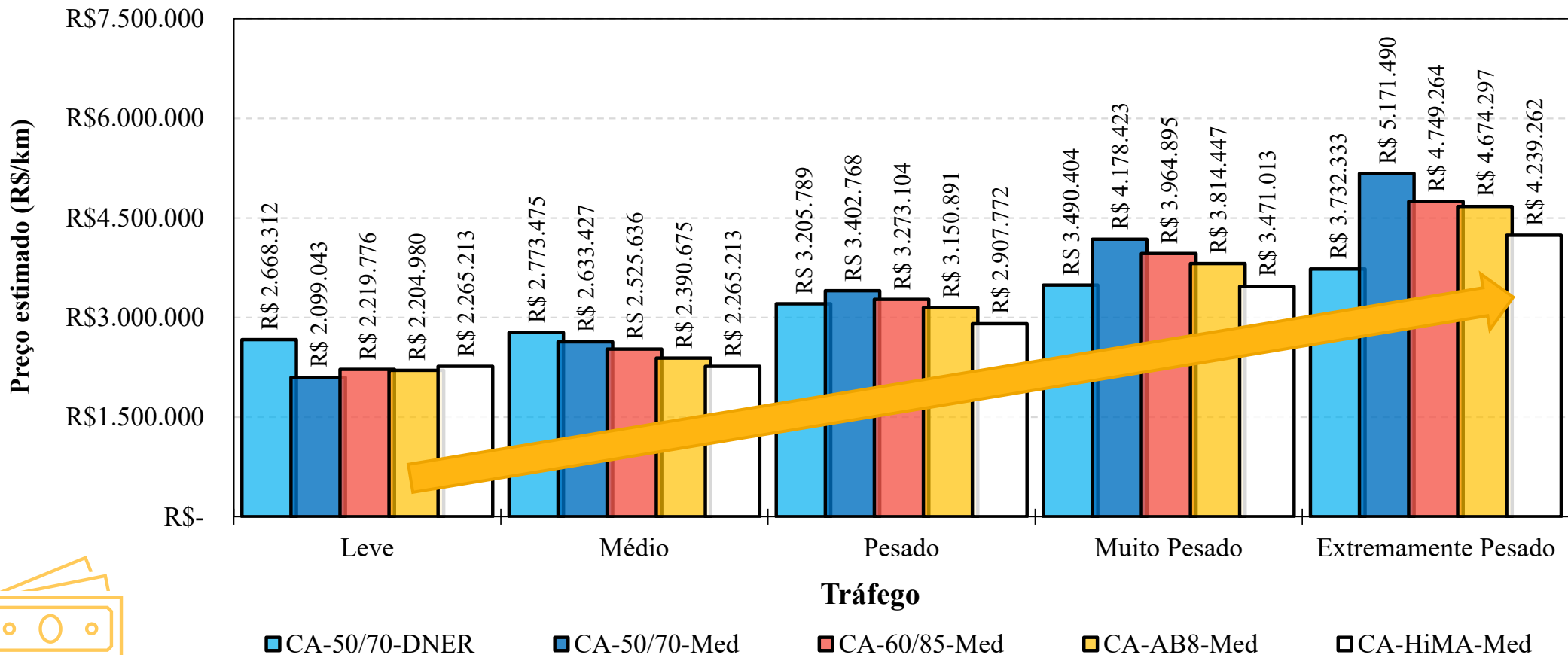
Lembrando que sustentabilidade é um conceito amplo



Resultados - Análises orçamentárias

Pavimentos Asfálticos

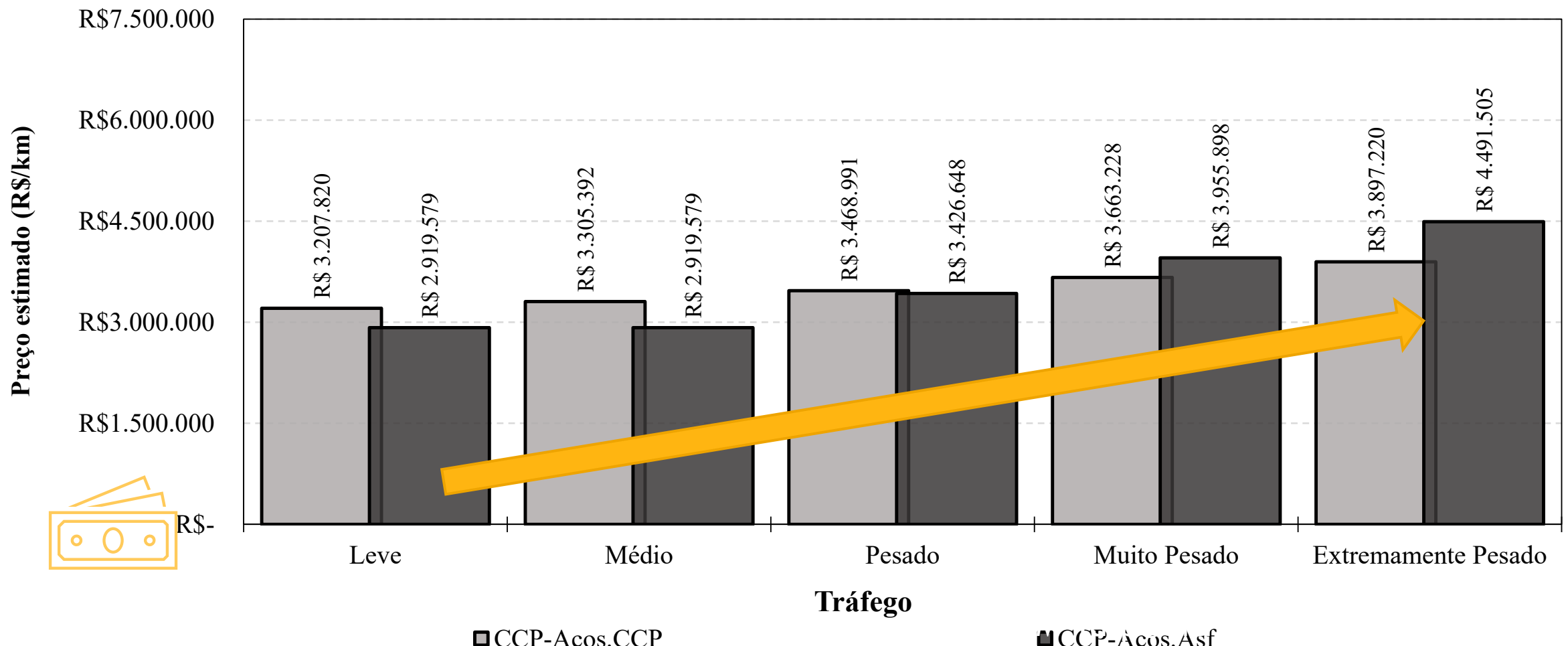
Estimativas dos valores de implantação das estruturas em pavimento asfáltico



Resultados - Análises orçamentárias

Pavimentos Rígidos

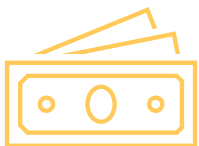
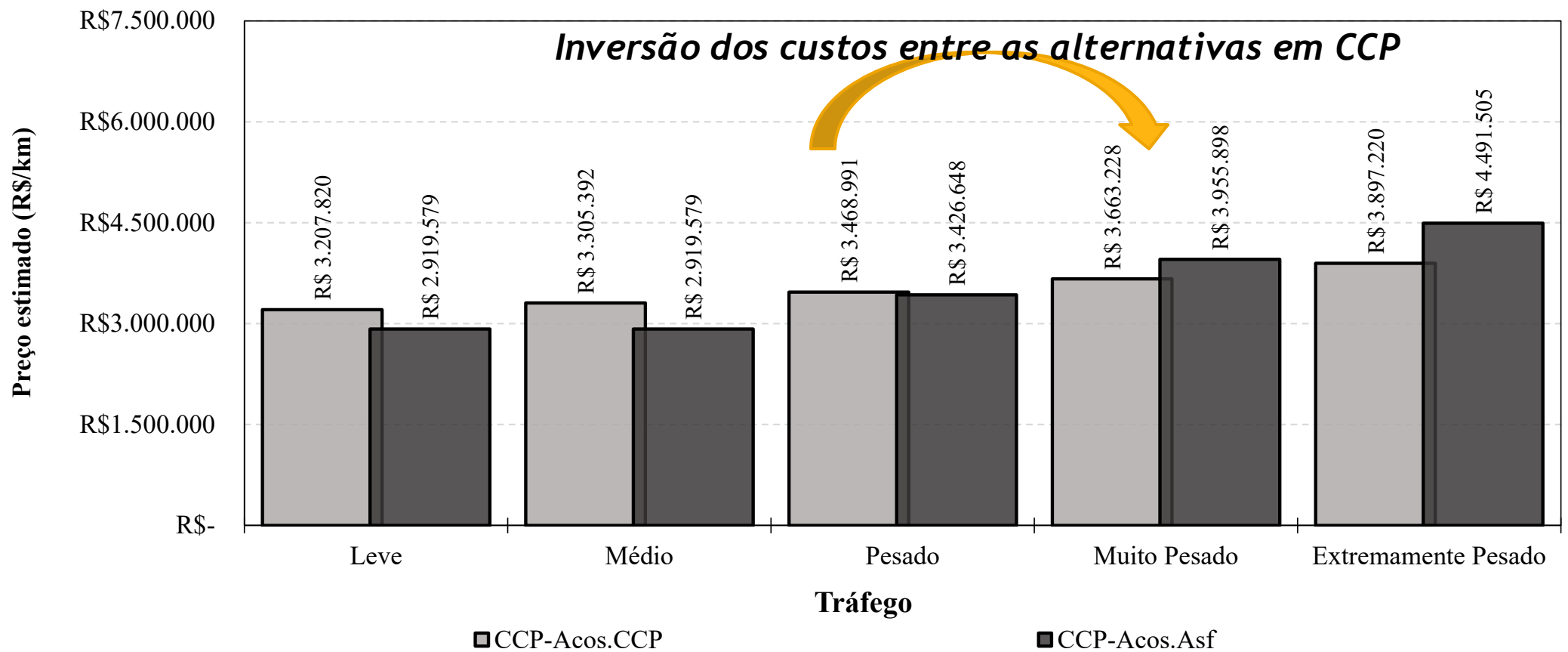
Estimativas dos valores de implantação das estruturas em pavimento rígido



Resultados - Análises orçamentárias

Pavimentos Rígidos

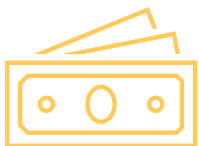
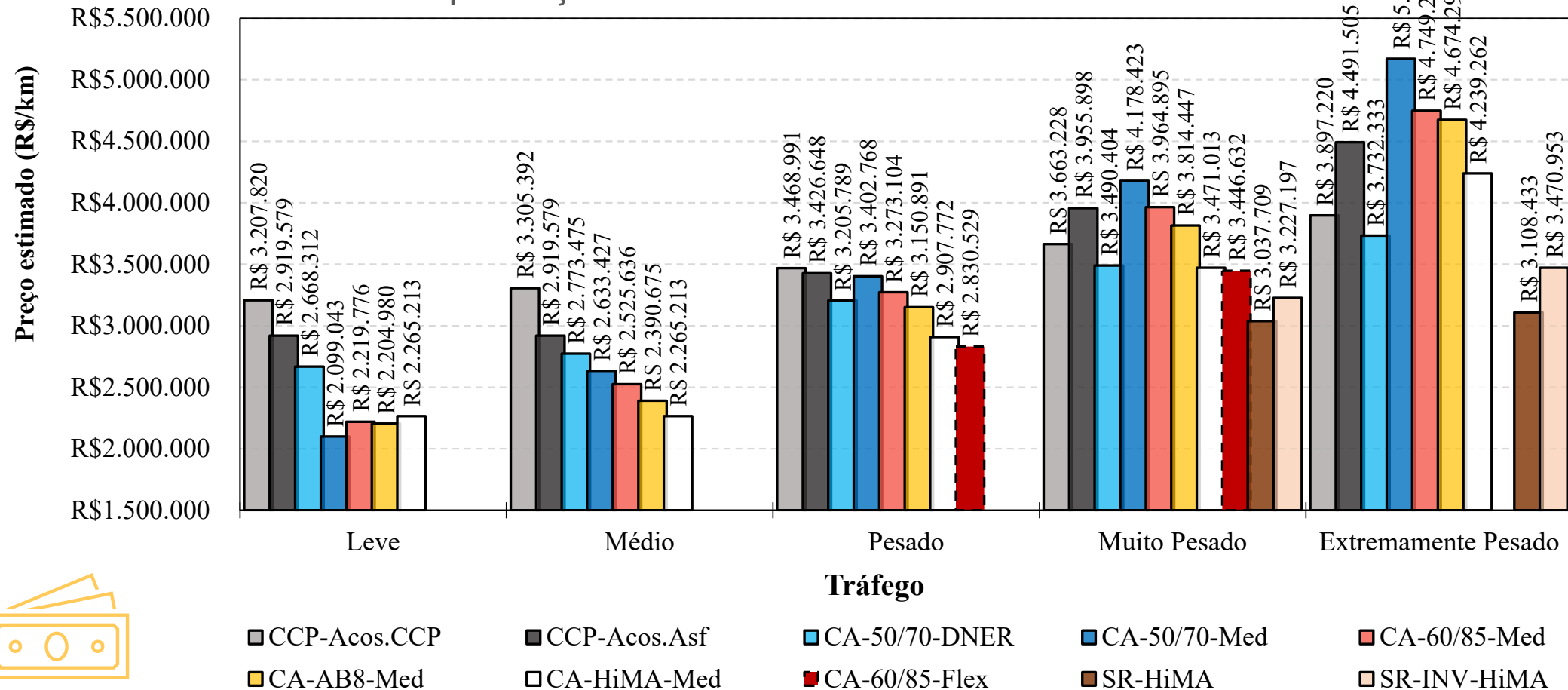
Estimativas dos valores de implantação das estruturas em pavimento rígido



Resultados - Análises orçamentárias

Pavimentos Asfálticos vs. Pavimentos Rígidos

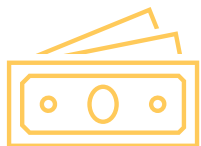
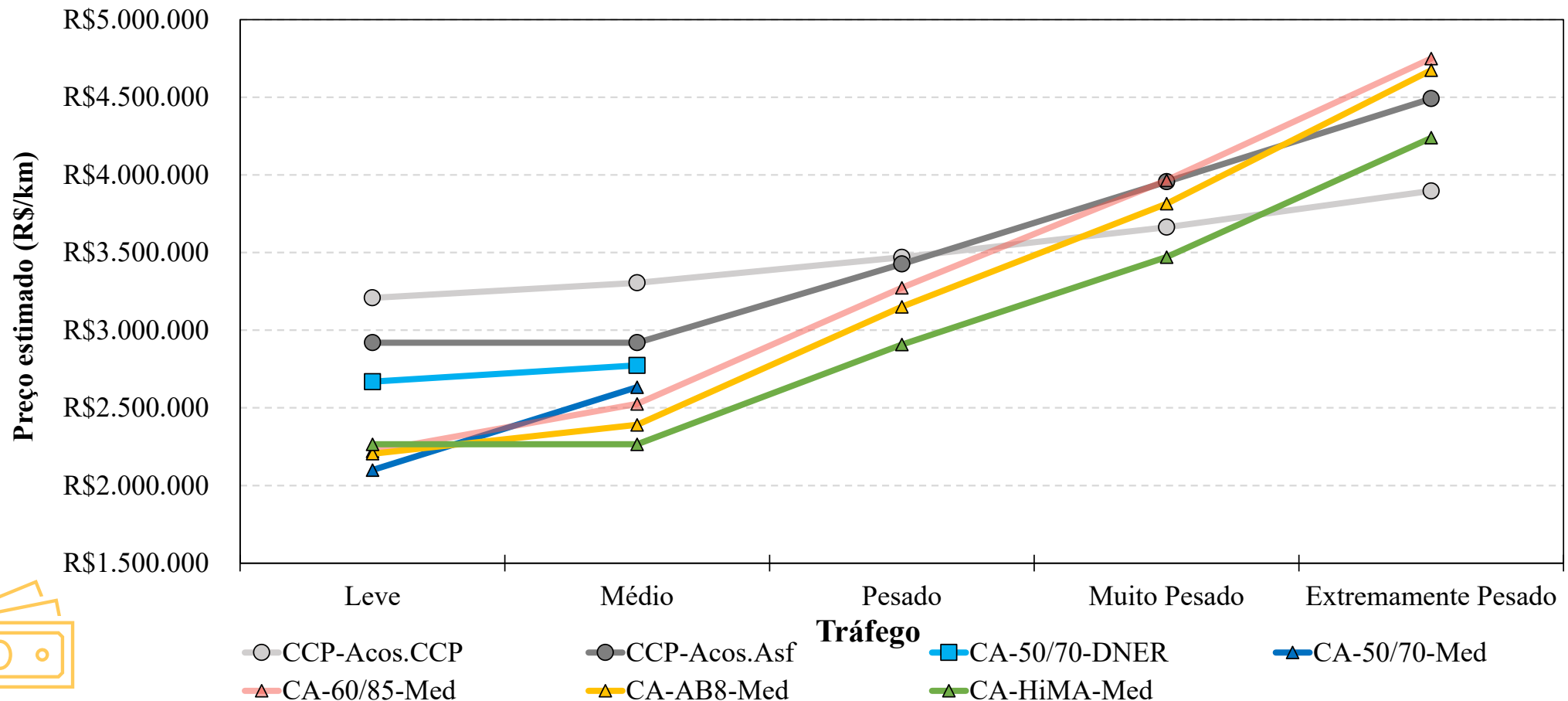
Estimativas dos valores de implantação das estruturas avaliadas



Resultados - Análises orçamentárias

Pavimentos Asfálticos vs. Pavimentos Rígidos

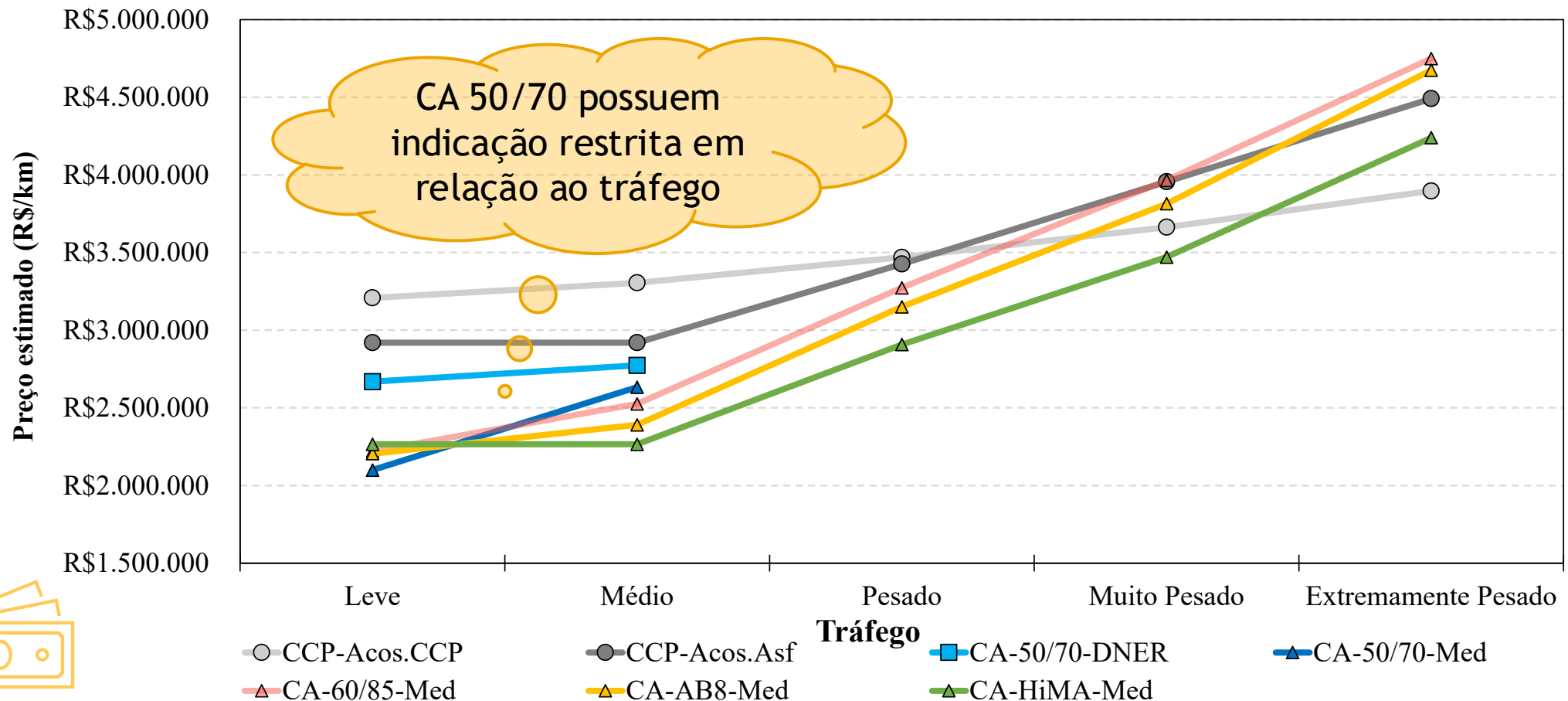
Estimativas dos valores de implantação das estruturas avaliadas



Resultados - Análises orçamentárias

Pavimentos Asfálticos vs. Pavimentos Rígidos

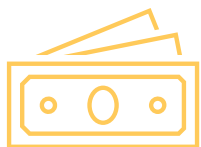
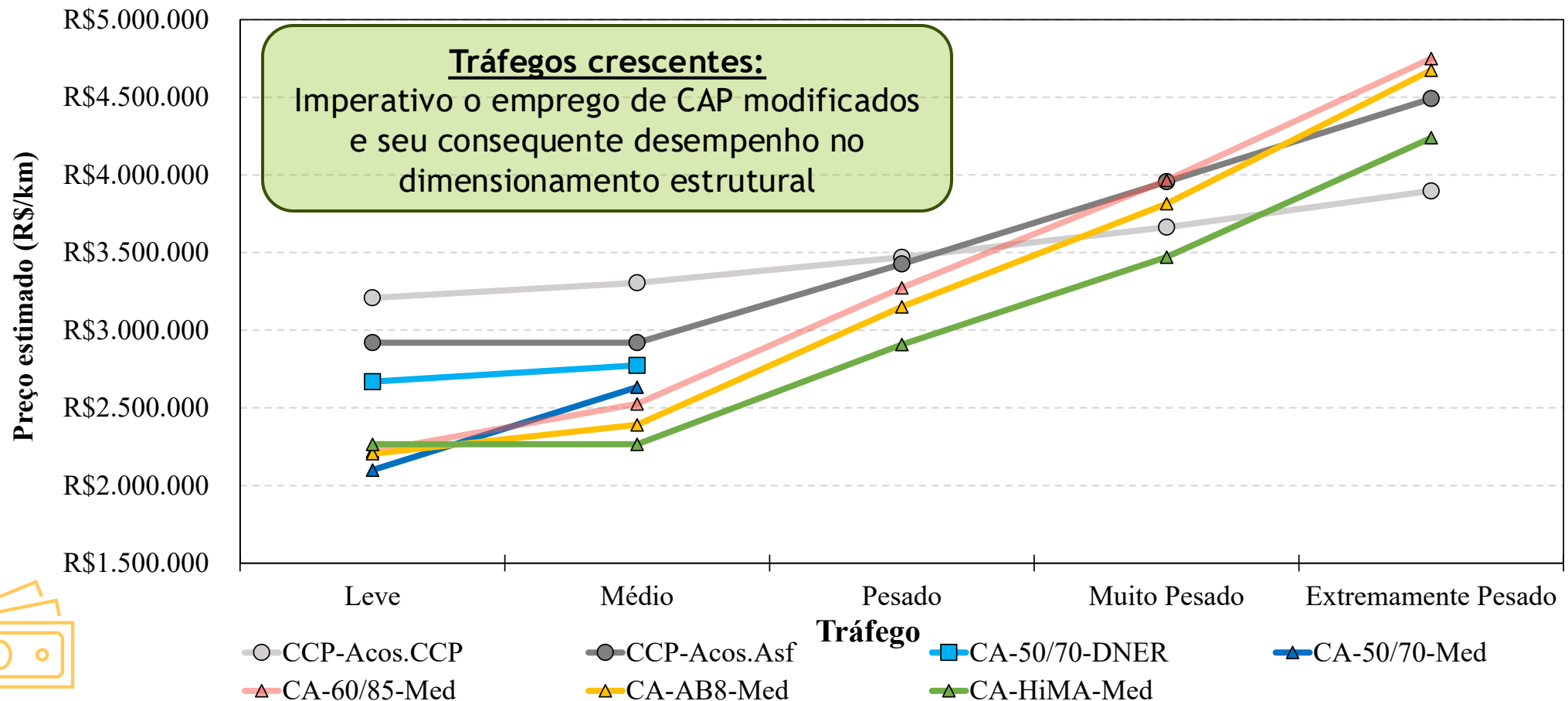
Estimativas dos valores de implantação das estruturas avaliadas



Resultados - Análises orçamentárias

Pavimentos Asfálticos vs. Pavimentos Rígidos

Estimativas dos valores de implantação das estruturas avaliadas

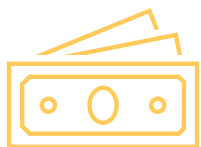
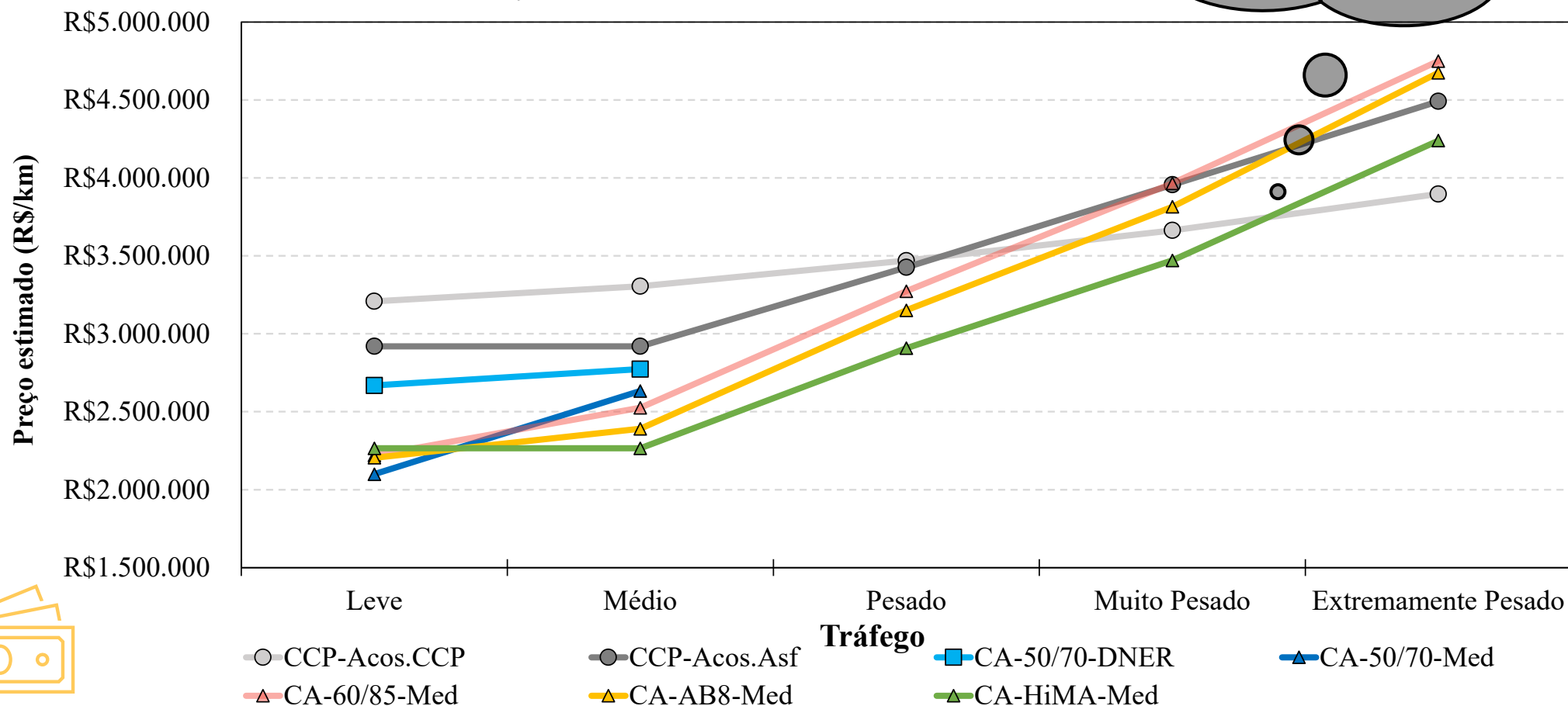


Resultados - Análises orçamentárias

Pavimentos Asfálticos vs. Pavimentos Rígidos

Estimativas dos valores de implantação das estruturas avaliadas

Tráfego entre Muito Pesado e Extremamente Pesado: quando inicia a maior economia das alternativas em Pavimentos de CCP



Resultados - Análises orçamentárias

Pavimentos Asfálticos vs. Pavimentos Rígidos

Síntese das diferenças aproximadas dos preços estimados em relação aos pavimentos rígidos com acostamento em concreto de cimento Portland

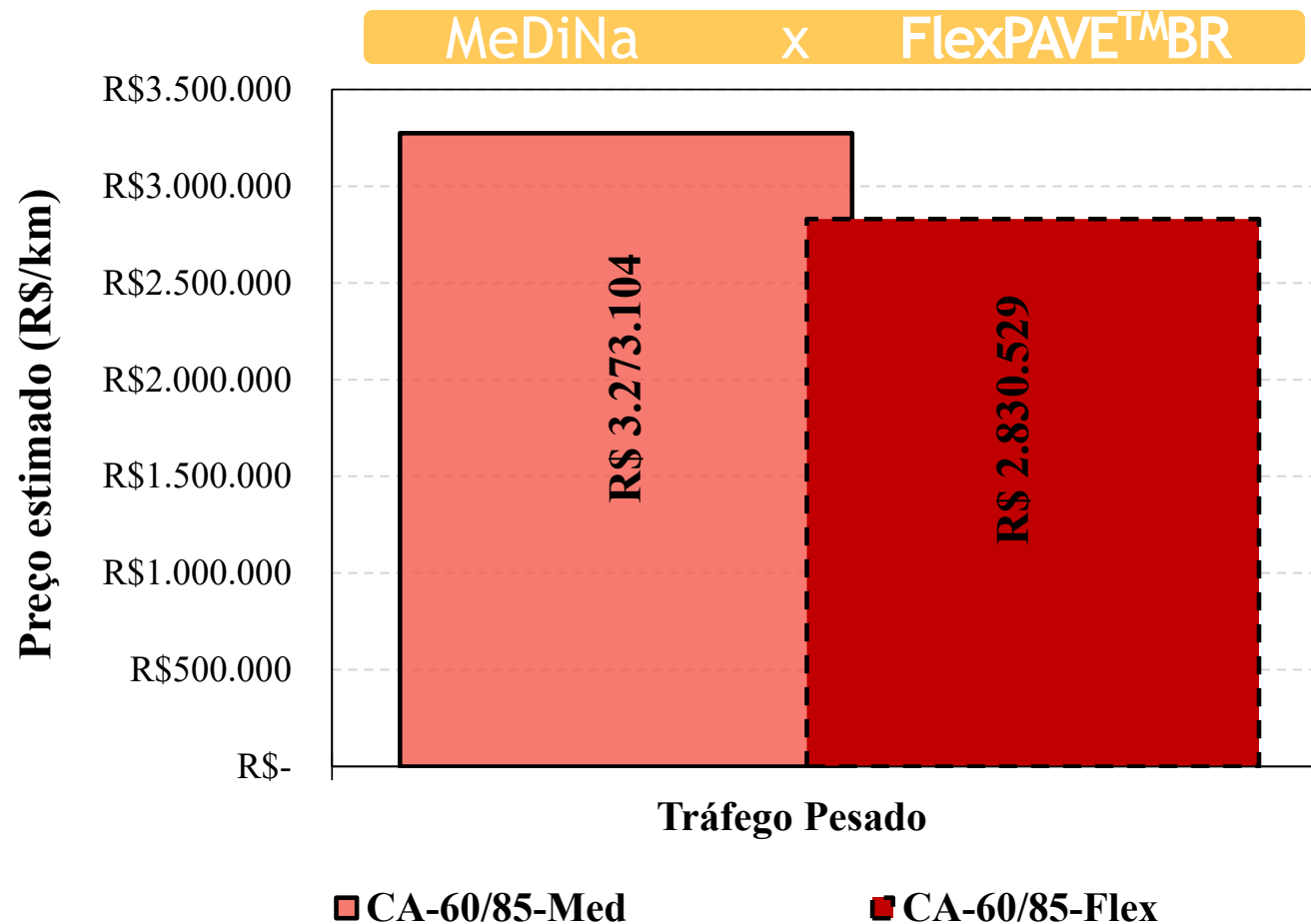
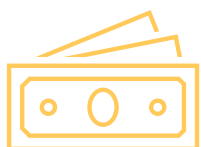
Faixa de Tráfego	CA-50/70-DNER	CA-50/70-Med	CA-60/85-Med	CA-AB8-Med	CA-HiMA-Med	CA-60/85-Flex	SR-HiMA	SR-INV-HiMA
Leve	-17%	-35%	-31%	-31%	-29%	-	-	-
Médio	-16%	-20%	-24%	-28%	-31%	-	-	-
Pesado	-	-	-6%	-9%	-16%	-18%	-	-
Muito Pesado	-	-	+8%	+4%	-5%	-6%	-17%	-12%
Extremamente Pesado	-	-	+22%	+20%	+9%	-	-20%	-11%



Resultados - Análises orçamentárias

Avaliações complementares - Sensibilidade

Efeito da evolução da
caracterização dos materiais e
dos métodos de
dimensionamento



Resultados - Análises orçamentárias

Avaliações complementares - Sensibilidade consumos

Consumos ajustados x consumos SICRO

Tabela 16 – Consumos de cimento Portland considerando diferentes referências - Pavimento de concreto com fôrmas deslizantes.

Fonte	Tipo	Cimento Portland (Kg/m³)
SICRO2	Sistema de custos	380
SICRO	Sistema de custos	350
DER/PR	Sistema de custos	355
DER/SP	Sistema de custos	380
SETOP/MG	Sistema de custos	350
DNIT BR-080/DF	Licitação	350
DNIT BR-424-316 / AL	Licitação	350
DER/PR PR-170 / PRC-466	Licitação	355
SIE/SC SC-160	Licitação	400
DNIT BR 285/SC	Obra	400
DER/PR PR 180	Obra	367
DER/PR PRC - 280	Obra	411

Placa de
CCP

Placa de CCP
Média geral = 371 kg/m³

SICRO = 350 kg/m³

Dosagens obras = 392,7 kg/m³



Resultados - Análises orçamentárias

Avaliações complementares - Sensibilidade consumos

Consumos ajustados x Consumos SICRO

Tabela 22 – Consumo de ligante asfáltico para o concreto asfáltico com asfalto polímero

Fonte	Tipo	Teor de Ligante asfáltico (%)	Descrição
SICRO	Sistema de custos	5,317	Faixa B
SICRO	Sistema de custos	6,000	Faixa C
DER/SP	Sistema de custos	4,857 ¹	Faixa DER 19
DER/SP	Sistema de custos	5,774 ¹	Faixa DER 12,5
SETOP/MG	Sistema de custos	5,882	Faixa C
DER/PR PR-170 / PRC-466	Licitação	5,890	-
DNIT PATO PR (UL Pato Branco)	Licitação	4,900	Faixa C
Raffler (2023)	Dissertação de mestrado	5,000 ²	Faixa C
Ramos (2023)	Dissertação de mestrado (traço obra)	4,830	DERSA - FX III - 60/85E A
Faccin (2018)	Dissertação de mestrado (traços de obras)	5,258 ³	Faixa C

Nota 1: Considerando massa específica 2400kg/m³

Nota 2: Dosagem ~~Superpave~~

Nota 3: Média de 5 dosagens de obras no Estado do Rio Grande do Sul

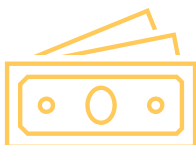
CA com
Polímero

Polímero
Média geral = 5,37%

SICRO = 6,0 %
Dosagens = 5,03 %

Consumos SICRO por tonelada

C - MATERIAL		Quantidade	Unidade
M0028	Areia média	0,38400	m ³
M0005	Brita 0	0,03200	m ³
M0191	Brita 1	0,04800	m ³
M0344	Cal hidratada - a granel	71,99160	kg
M1955	Cimento asfáltico de petróleo com polímero - CAP 55/75-E	0,06000	t
M1941	Óleo tipo A1	8,00000	l
M1103	Pedrisco	0,12800	m ³



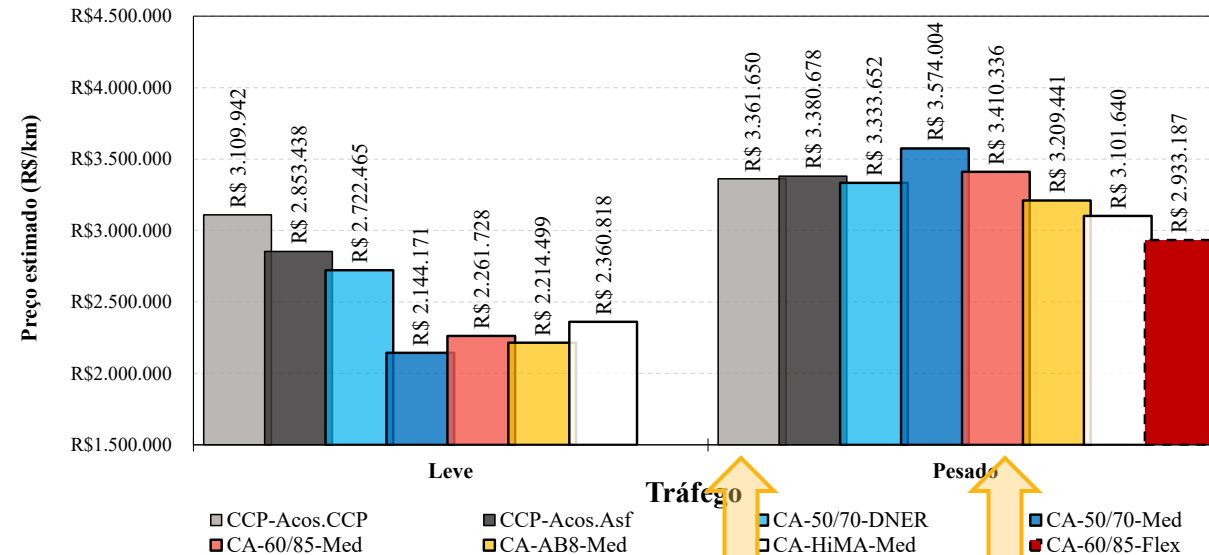
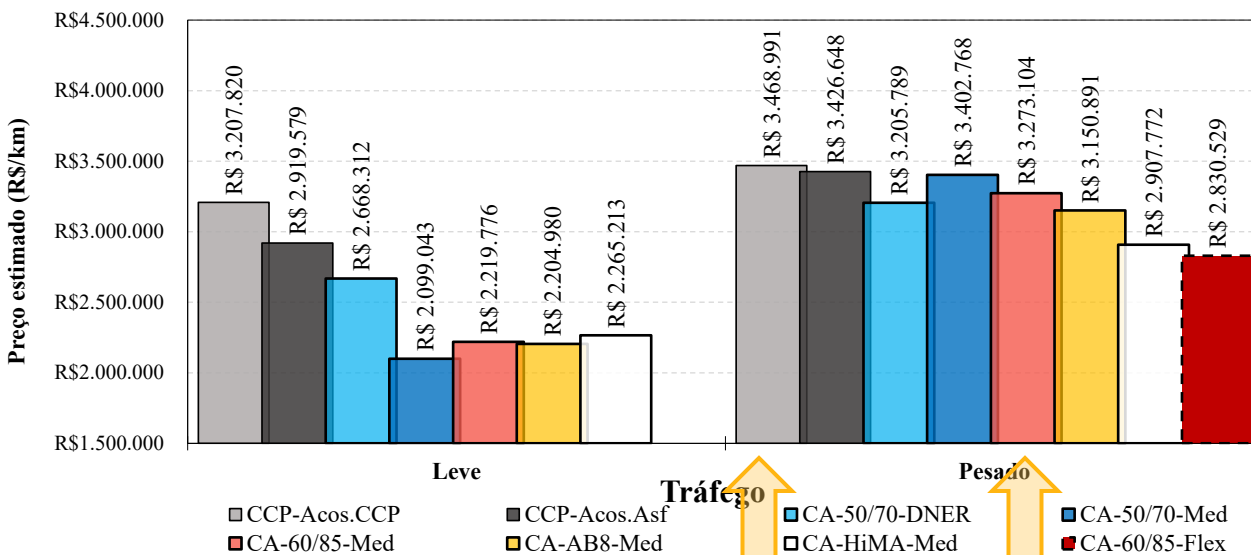
Resultados - Análises orçamentárias

Avaliações complementares - Sensibilidade consumos

Consumos ajustados

x

Consumos SICRO



Inversão de tendência

Resultados - Análises orçamentárias

Avaliações complementares - Sensibilidade consumos

Síntese das diferenças aproximadas dos preços estimados em relação aos pavimentos rígidos com acostamento em concreto de cimento Portland

Orçamento consumos ajustados

Faixa de Tráfego	CA-50/70-DNER	CA-50/70-Med	CA-60/85-Med	CA-AB8-Med	CA-HiMA-Med	CA-60/85-Flex	SR-HiMA	SR-INV-HiMA
Leve	-17%	-35%	-31%	-31%	-29%	-	-	-
Médio	-16%	-20%	-24%	-28%	-31%	-	-	-
Pesado	-	-	-6%	-9%	-16%	-18%	-	-
Muito Pesado	-	-	+8%	+4%	-5%	-6%	-17%	-12%
Extremamente Pesado	-	-	+22%	+20%	+9%	-	-20%	-11%

Orçamento SICRO

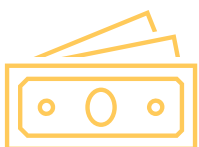
NUSACE	CA-50/70-DNER	CA-50/70-Med	CA-60/85-Med	CA-AB8-Med	CA-HiMA-Med	CA-60/85-Flex	SR-HiMA	SR-INV-HiMA
Leve	-12%	-31%	-27%	-29%	-24%	-	-	-
Médio	-11%	-15%	-19%	-25%	-26%	-	-	-
Pesado	-	-	1%	-5%	-8%	-13%	-	-
Muito Pesado	-	-	16%	8%	5%	0%	-15%	-6%
Extremamente Pesado	-	-	31%	25%	22%	-	-19%	-5%



Resultados - Análises orçamentárias

Avaliações complementares

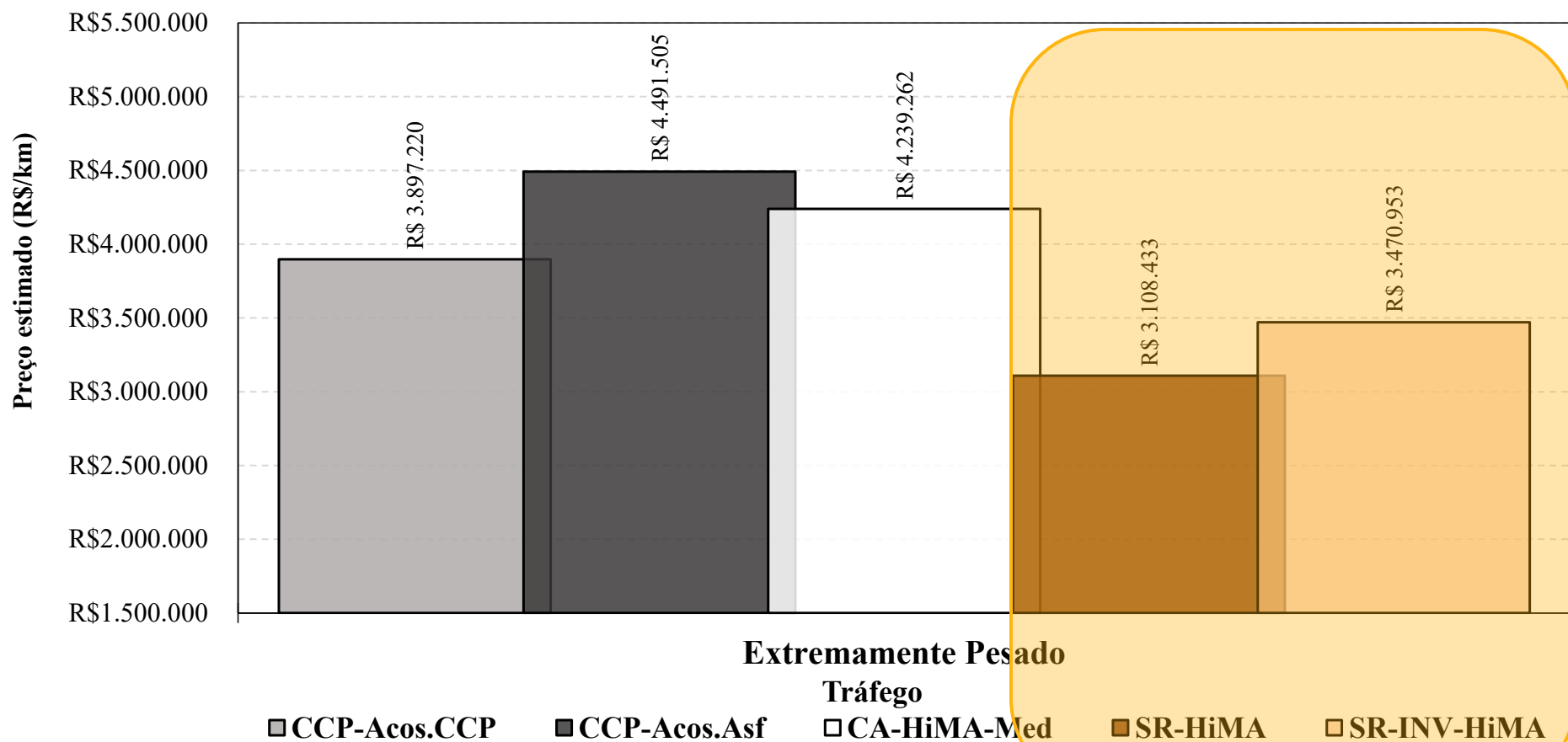
Qual a alternativa se mostrou
mais vantajosa
economicamente para o
Tráfego Extremamente Pesado?



Resultados - Análises orçamentárias

Avaliações complementares

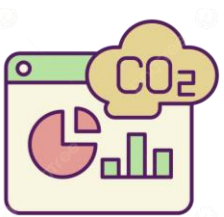
Qual a alternativa
se mostrou mais
vantajosa
economicamente
para o Tráfego
Extremamente
Pesado?



Discussões e Considerações Finais

Emissões de CO₂eq

- As emissões de GEE demonstraram que **os pavimentos asfálticos emitem significativamente menos CO₂eq** do que as soluções em pavimento rígido de concreto de cimento Portland;
- Exemplo: Para N = 5,0E+7 (Pesado)
 - Pavimentos de CCP
 - As emissões de CO₂eq nos pavimentos com CCP e CCR foram **altamente impactadas** pelas emissões da produção do cimento Portland
 - Respondeu por **66,8%** das emissões totais
 - Emissão total de **1.136,07 tCO₂eq/km**
 - Com mistura asfáltica (AMP 60/85)
 - O ligante entregue na usina seria responsável por **14,9%** das emissões totais do pavimento construído
 - Emissão total de **486,39 tCO₂eq/km**
 - As emissões na usinagem da massa representaram **23,9%** do total emitido



Discussões e Considerações Finais

Análises orçamentárias

- Para as condições de tráfego apresentadas
 - Implantação de pavimentos asfálticos foram sempre mais econômica até ***Tráfego Muito Pesado***
- Para tráfego crescente...
 - Emprego de ***asfaltos modificados torna-se essencial*** à manutenção da competitividade das soluções em pavimentos asfálticos
- Para tráfego Extremamente Pesado
 - Emprego de soluções em CCP são menos onerosas que aquelas em pavimentos flexíveis
 - ***CONTUDO, não parecem ser as soluções mais econômicas entre todas as estudadas***
 - ***PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS merecem ser melhor investigados (dosagem, execução e desempenho)!***



Discussões e Considerações Finais

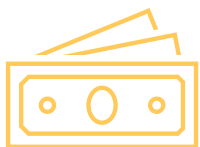
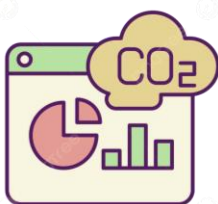
Análises orçamentárias

- Os métodos empírico-mecanicistas, como o MeDiNa e o FlexPAVE™:
 - Permitem melhor avaliar o impacto dos ganhos de desempenho dos asfaltos modificados
 - Sendo fundamentais para uma análise mais realista dessas estruturas
- Os Sistemas de Custos (como o SICRO) *não são tabelas rígidas!*
 - SICRO é completo e atual...uma evolução considerável realizada pelo DNIT
 - Estudos comparativos de alternativas de pavimentação devem buscar **ajustar os consumos de materiais** conforme a realidade de cada região, a fim de propiciar uma análise mais realista das soluções.



Desafios e perspectivas

- Empregar do RAP e Misturas Mornas
- Aprofundar estudos com misturas e ligantes especiais
- Difundir os estudos para o emprego de asfaltos altamente modificados (para maiores tráfegos)
- Utilizar efetivamente métodos de dimensionamento empírico-mecanicistas nos projetos de pavimentação do país
- Desenvolver pesquisas com pavimentos semirrígidos e bases asfálticas para os tráfegos mais pesados
- Ampliar as análises considerando o ciclo de vida completo
 - Incorporando também a análise de emissões dos veículos
 - Considerando as restaurações das vias em todas as alternativas analisadas





Agradecemos pelo apoio às pesquisas

