



ANÁLISE DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA CONSIDERANDO O SERVIÇO DE PAVIMENTAÇÃO EM VIA URBANA

Claudeny Santana

Doutoranda, Programa de Engenharia de Transportes – COPEE/UFRJ



TRIBUNAL DE CONTAS
ESTADO DO AMAZONAS

SUMÁRIO

- INTRODUÇÃO
- OBJETIVO
- METODOLOGIA
- RESULTADOS
- CONCLUSÃO



INTRODUÇÃO

- A construção de pavimentos, um aspecto fundamental da infraestrutura urbana, envolve um ciclo de vida complexo que abrange a extração de materiais, produção, transporte, construção, manutenção e gestão ao final da vida útil, sendo que cada estágio contribui para as **emissões de gases de efeito estufa e para a degradação ambiental** (Babashamsi et al., 2015; Zhao et al., 2015).





INTRODUÇÃO

- **A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)** surgiu como uma ferramenta para avaliar as cargas ambientais associadas a produtos e serviços, incluindo a construção de pavimentos. Essa metodologia permite a identificação das etapas e processos críticos que contribuem para a pegada ambiental total, orientando, assim, o desenvolvimento de estratégias de ecodesign no setor de pavimentação (Praticò et al., 2020).

INTRODUÇÃO

- **ISO 14044:2006** estabelece requisitos e diretrizes para a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV):
- definição do objetivo e escopo da ACV;
- Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV);
- Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV);
- Interpretação dos resultados, relatórios e revisão crítica e as limitações da ACV e as condições para uso de escolhas metodológicas.



Aplicações diretas:

- Desenvolvimento e melhoria do produto
- Planejamento estratégico
- Elaboração de políticas públicas
- Marketing
- Outras

SERVIÇO DE PAVIMENTAÇÃO

OBJETIVO

Compreender a quantidade de gases de efeito estufa emitida durante a construção de pavimentos flexíveis compostos por concreto asfáltico, analisando diferentes tipos de solo utilizados em sua estrutura. Para tanto, adota-se o sistema "Cradle to Laid" preconizado pela norma EN 15978:2011, abrangendo desde a extração das matérias-primas até a conclusão da obra.

METODOLOGIA

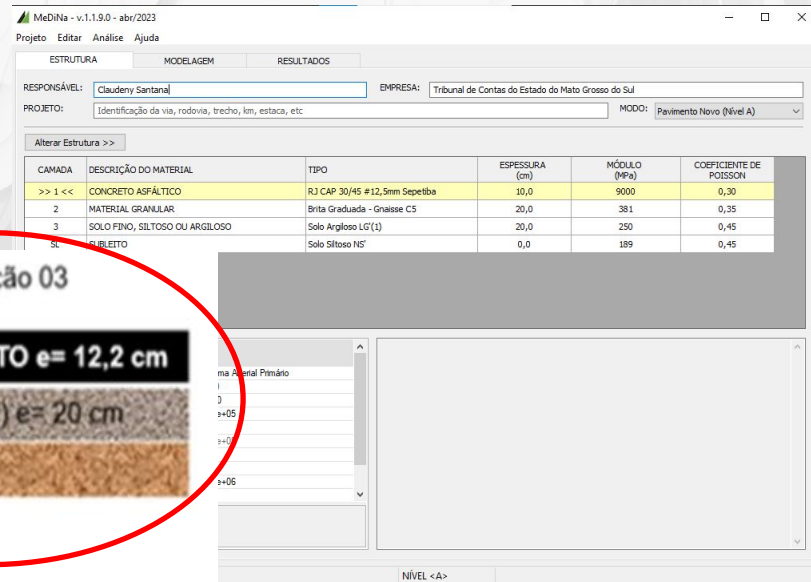
- Produção de materiais (Etapa A1);
- Transporte dos materiais (Etapa A2);
- A usinagem da mistura asfáltica (Etapa A3);
- A transporte da massa asfáltica (Etapa A4);
- e as fases de execução e acabamento, como imprimação, compactação e aplicação do revestimento (Etapas B1, B2, B3, B4 e C1).

METODOLOGIA

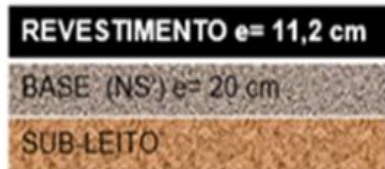
- Dados primários: obra executada na cidade de Teresina-PI (meio urbano);
- Dados secundários: Ecoinvent[®] 3.10, e integrados por meio do software SimaPro[®]. As emissões de CO₂ eq. foram calculadas considerando o consumo energético de cada etapa e o impacto ambiental dos equipamentos utilizados;

METODOLOGIA

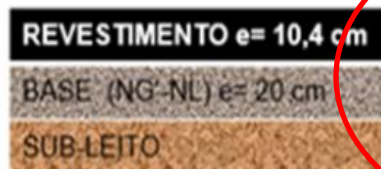
- MeDiNa[®]: utilizado para dimensionar o pavimento.



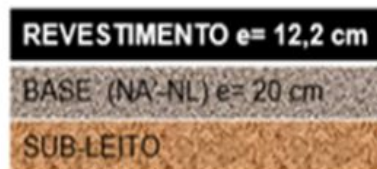
Composição 01



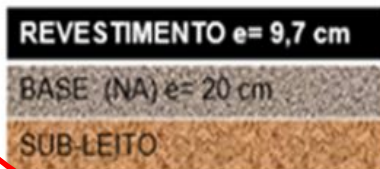
Composição 02



Composição 03



Composição 04



Composição 05



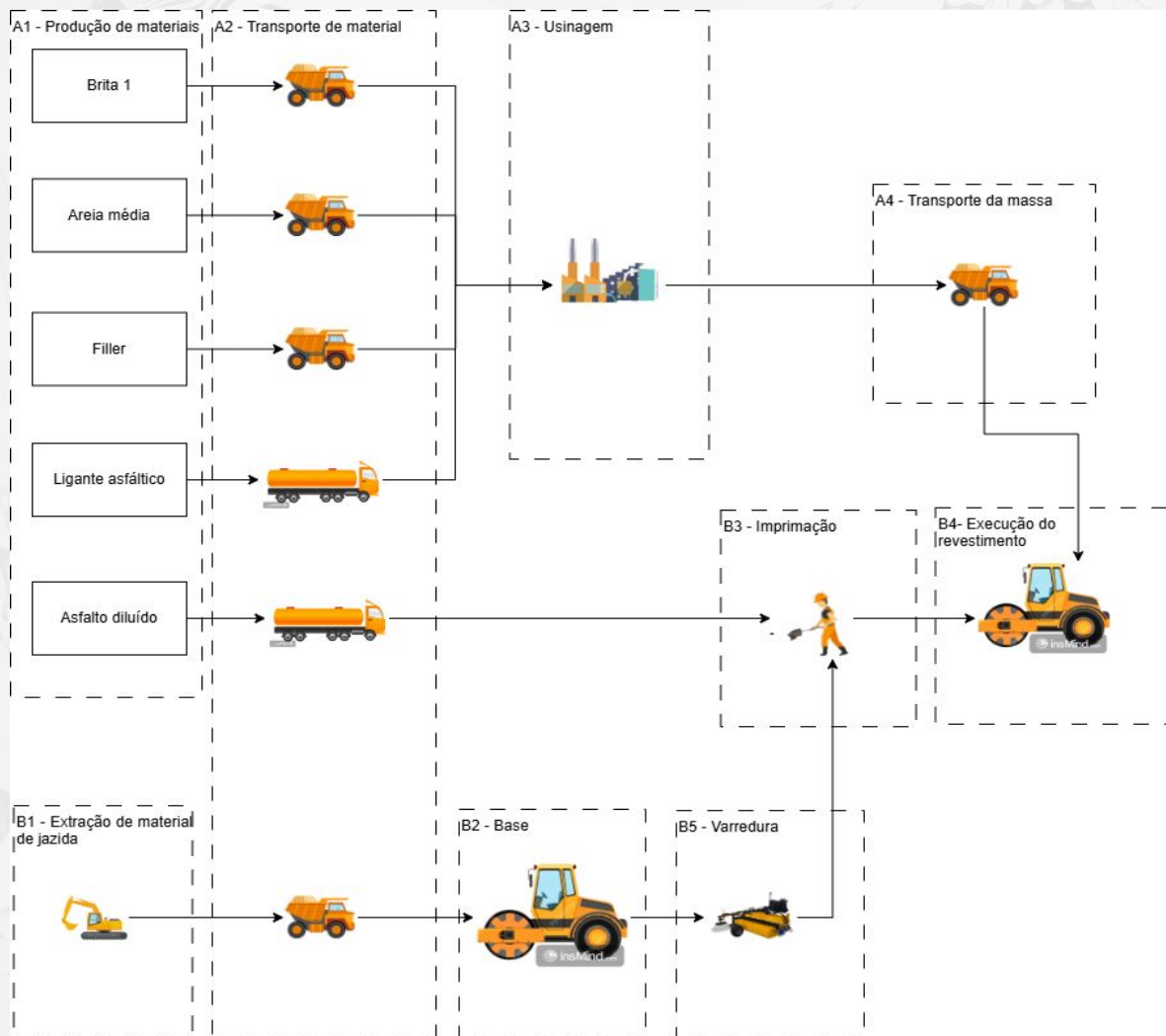
METODOLOGIA

- Unidade funcional: 1,00 km de via por uma seção transversal de 7,00 m.

Item	Discriminação
4.2	Base de solo estabilizado granul. s/ mistura (e = 20 cm)
4.3	Transporte local em caminhão basculante de material de jazida para base com DMT = 5,40 km
4.4	Imprimação
4.5	Aquisição de asfalto diluído CM-30
4.5	Pintura de ligação
4.7	Aquisição de emulsão asfáltico RR-1C
4.8	Concreto betuminoso usinado a quente - C.B.U.Q - capa de rolamento
4.9	Aquisição de cimento asfáltico CAP-50/70
4.10	Transporte comercial material betuminoso a quente com <u>DMT= 620,00 km CAP-50/70 – cidade</u>
4.11	Transporte comercial material betuminoso a frio CM-30 e RR-1C com <u>DMT= 624,00 km –</u>
4.12	Transporte comercial de brita em rod pavimentada <u>DMT= 40,00 km</u>
4.13	Transporte local de areia em rod pavimentada <u>DMT = 10,00 km</u>
4.14	Transporte local de filler em rod pavimentada <u>DMT= 12,00 km</u>
4.15	Transporte local da massa asfáltica com <u>DMT = 23,00 km</u>

Tabela 1 – Itens do serviço de pavimentação.

METODOLOGIA



Unidade padronizada: **CO₂ equivalente**, usada para expressar o impacto das emissões de GEE:

- Dioxido de carbono (Co₂);
- Metano (CH₄);
- Óxido nitroso (N₂O) e
- Gases fluorados.

Basea-se na sua capacidade de aquecimento global (GWP).

Exemplo:

1 kg de CH₄ equivale a 28 Kg de Co₂ –eq.

1 kg de N₂O equivale a 265 de Co₂ – eq.

METODOLOGIA

ESCOLHA DOS
PAVIMENTOS COM 5
DIFERENTES TIPOS DE
SOLOS.

1

ACV: MATÉRIA PRIMA,
PRODUÇÃO,
TRANSPORTE E
CONSTRUÇÃO

3

IMPACTOS AMBIENTAIS:
GEE

5

2

DIMENSIONAMENTO
DOS PAVIMENTOS
(Medina®)

4

CÁLCULOS DE
QUANTITATIVOS
CONFORME UF

7

ANÁLISE DOS
RESULTADOS: :CO2
equivalente e custos

RESULTADOS

- Dimensionamento (MeDiNa[®]):

Características	pav01 (NS')	pav02 (NG')	pav03 (NA')	pav04 (NA)	pav05 (LG')
Tipo de Via	SAP*	SAP*	SAP*	SAP*	SAP*
Número N inicial	5 x 10 ⁵	5 x 10 ⁵	5 x 10 ⁵	5 x 10 ⁵	5 x 10 ⁵
Período de Projeto	10	10	10	10	10
Tx. Crescimento	3%	3%	3%	3%	3%
Número N final	5,73 x 10 ⁶	5,73 x 10 ⁶	5,73 x 10 ⁶	5,73 x 10 ⁶	5,73 x 10 ⁶
AT**	29,2%	28,9%	29%	29%	28,9%
ATR***	2,6mm	2,7mm	2,3mm	10,1mm	3,2mm
Contrib. subleito	1,56mm	1,72mm	1,28mm	1,83mm	1,65mm

Tabela 2 – Resultados do dimensionamento conforme o tipo de solo na camada de base.

*: Sistema arterial primário; **: Área trincada; ***: Afundamento de trilha de roda.

RESULTADOS

- Quantitativos:



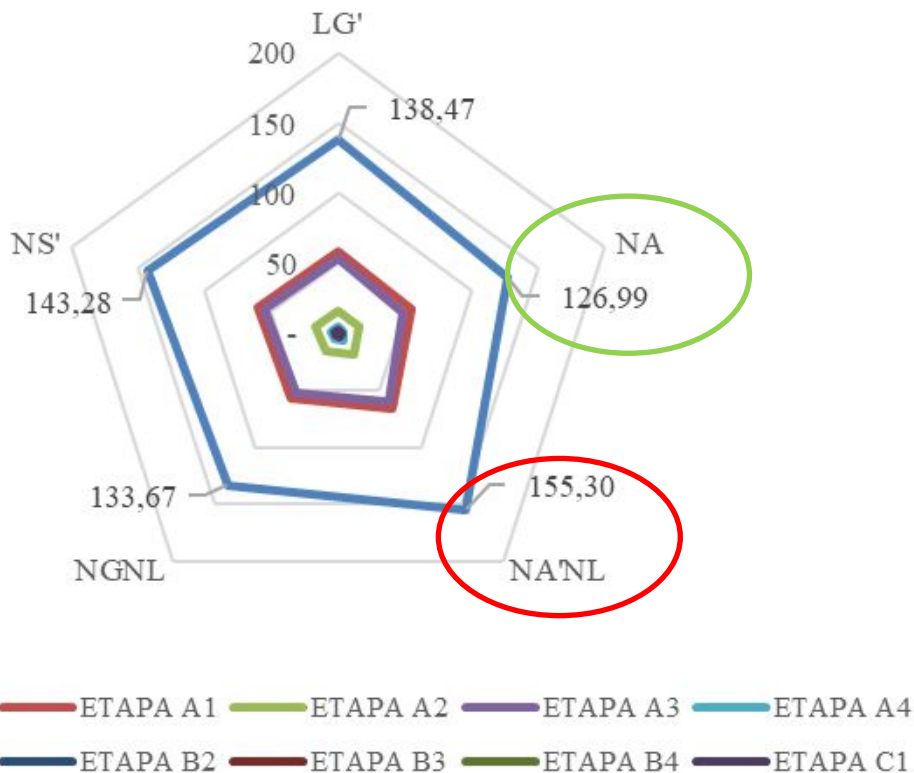
4.0	NS'	NG-NL	NA'-NL	NA	LG'
ITEM	UNID.	Quant. (1 km)	Quant. (1 km)	Quant. (1 km)	Quant. (1 km)
4.2	m³	2213,07	2213,07	2213,07	2213,07
4.3	t.km	21989,02	21989,02	21989,02	21989,02
4.4	m²	7306,39	7306,39	7306,39	7306,39
4.5	t	8,77	8,77	8,77	8,77
4.6	m²	7306,39	7306,39	7306,39	7306,39
4.7	t	3,66	3,66	3,66	3,66
4.8	t	1714,22	1591,78	1867,28	1484,64
4.9	t	72,34	67,17	78,8	65,25
4.10	t	72,34	67,17	78,80	65,25
4.11	t	29,12	27,04	31,72	25,22
4.12	t.km	5147,85	5147,85	5147,85	5147,85
4.13	t.km	5571,90	5571,90	5571,90	5571,90
4.14	t.km	245,68	245,68	245,68	245,68
4.15	t.km	1714,22	1591,78	1867,28	1484,64

Tabela 3. Quantitativos calculados para cada serviço da obra.

RESULTADOS

- GEE por CO₂ – eq/km:

Emissões por tipo de solo (CO₂ eq/km)



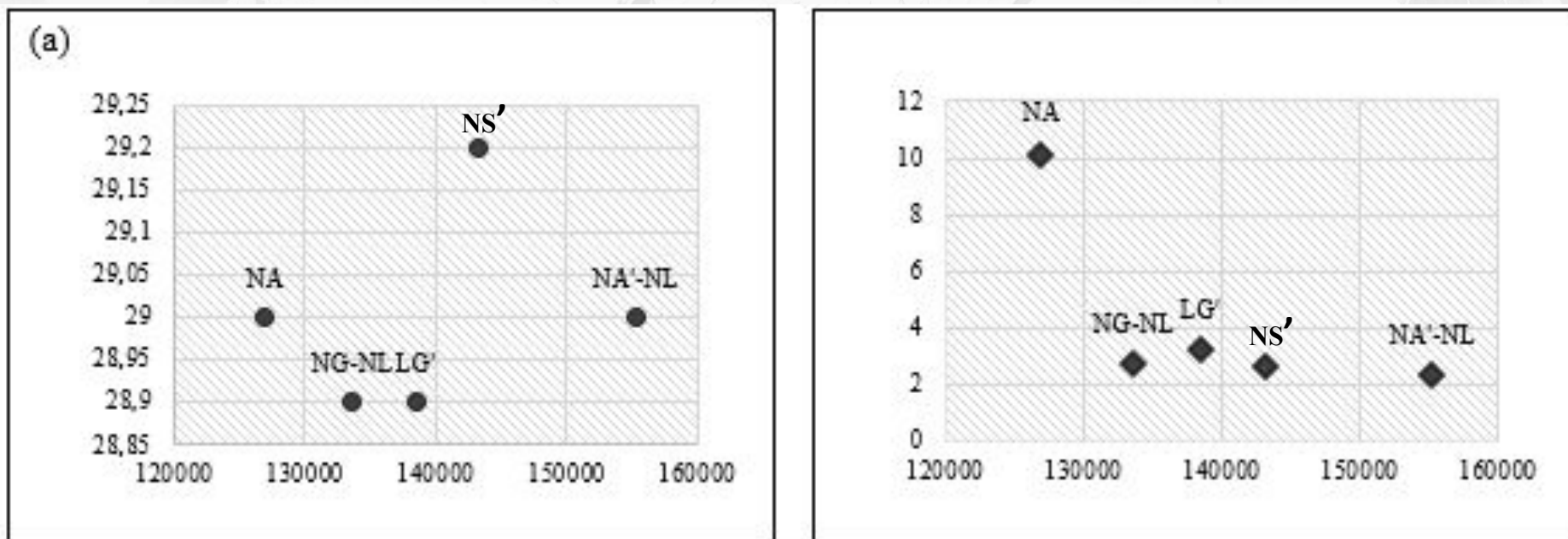
NA'NL maiores emissões totais de 155.303,48 kg CO₂ eq/km.

NA emitiu 126.992,79 kg CO₂ eq/km.

A1 (produção de materiais) e etapa A3 (usinagem), sendo a NA'NL a mais poluente nessas etapas, com 66.044,98 kg CO₂ eq/km em A1 e 60.673,10 kg CO₂ eq/km em A3.

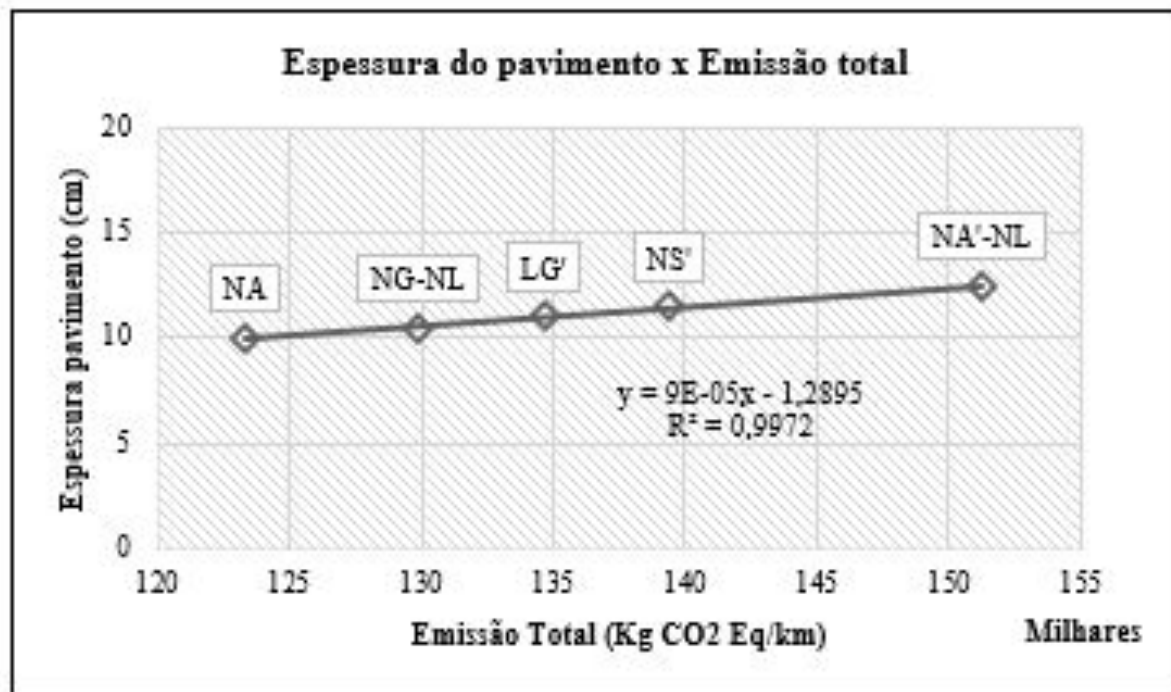
RESULTADOS

- Influência de Emissões ao Desempenho dos Pavimentos



RESULTADOS

- Influência de Emissões ao Desempenho dos Pavimentos



Espessura
GEE

Figura 5. Relação espessura do revestimento por tipo de solo e emissão GEE.

CONCLUSÕES

- Confirmou-se que as **fases de produção de materiais (A1) e usinagem (A3)** são as **maiores responsáveis** pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE) na ACV;
- Solos como **NS' e NA'NL**, com **menor resistência estrutural**, geram as **maiores emissões de CO2**, sugerindo que, além do desempenho técnico, é **essencial considerar o impacto ambiental ao selecionar o tipo de solo** para a base de pavimentos.

CONCLUSÕES

- As fases de transporte (A2 e A4) e execução e acabamento (B1, B2, B3, B4 e C1) demonstram menor impacto ambiental, mas não devem ser ignoradas!!!
- Solos como NG-NL e LG' apresentam menores emissões associadas a falhas estruturais, tornando-os opções mais sustentáveis (RAP é uma opção!);
- Uso de gás natural ou energia solar nas usinas de asfalto são alternativas viáveis;

CONCLUSÕES

- A **racionalização das rotas de transporte** e o uso de veículos mais eficientes podem reduzir as emissões na fase de transporte (A2 e A4), (caminhões elétricos ou híbridos pode ser uma solução de longo prazo).

LIMITAÇÕES DA PESQUISA

- Os principais fatores limitantes desta pesquisa é a **ausência de um inventário robusto com dados nacionais** detalhados sobre as práticas de pavimentação, o que restringe a **representatividade e precisão das análises de ACV no contexto brasileiro**.
- Estudos futuros devem investigar o **impacto de diferentes técnicas de estabilização e do uso de materiais reciclados** na redução de emissões e no desempenho estrutural das camadas de pavimentos,

REFERÊNCIAS

- IBRAHIM, H.; MARINI, S.; FARINA, A.; LANOTTE, M. Integrating Mechanistic-Empirical Pavement Analysis in the Life Cycle Assessment Use Phase and Monetization of Environmental Impacts to Promote Low Carbon Transportation Materials. Transportation Research Record, p. 1–15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/03611981241253576>. Acesso em: 19 jun. 2024.
- ISO. ISO 14040: Environmental Management and Life Cycle Assessment - Principles and Framework. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.
- ISO. ISO 14044: Environmental Management and Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. Geneva: International Organization for Standardization, 2006b.
- LU, G. et al. The environmental impact evaluation on the application of permeable pavement based on life cycle analysis. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), v. 6, n. 3, p. 288–296, 2019.
- MAUÉS, L.M.; BELTRÃO, N.; SILVA, I. GHG Emissions Assessment of Civil Construction Waste Disposal and Transportation Process in the Eastern Amazon. Sustainability 2021, 13, 5666. <https://doi.org/10.3390/su13105666>

OBRIGADA!!!

claudenysantana@pet.coppe.ufrj.br

WhatsApp: (86) 99920-1019