

Primeiro uso urbano monitorado no Brasil de Asfalto Morno com aplicação do CAP Pro W da Petrobrás

Resumo

Este artigo técnico apresenta de forma aprofundada a utilização pioneira do ligante asfáltico **CAP Pro W 30/45** pela Dimensional Engenharia em trecho urbano no bairro de Copacabana, Rio de Janeiro. O estudo contempla desde o enquadramento tecnológico do material, metodologia de projeto e execução, controle tecnológico, avaliações de desempenho mecânico e estrutural, até a análise de ciclo de vida (ACV) e os ganhos ambientais, operacionais e econômicos observados, com inédita produção de Ficha Ambiental da Mistura Asfáltica. Os resultados obtidos confirmam o elevado potencial do CAP Pro W como solução de pavimentação morna (WMA), com desempenho equivalente ou superior ao CAP convencional, associado a expressivas reduções de temperatura, consumo energético, emissões e impactos à saúde ocupacional.

Palavras-chave

Pavimentação asfáltica; Misturas Mornas; Warm Mix Asphalt (WMA); CAP Pro W; Petrobrás; Sustentabilidade; Gases de Efeito Estufa; Ficha Ambiental; Análise de Ciclo de Vida; Balanced Mix Design.

1. Introdução

A pavimentação asfáltica moderna enfrenta desafios crescentes relacionados à redução de emissões de gases de efeito estufa, eficiência energética e melhoria das condições de trabalho. Nesse contexto, a tecnologia **Warm Mix Asphalt (WMA)** ou **Mistura Morna** surge como alternativa às misturas a quente convencionais (HMA).

O **CAP Pro W**, integrante da nova linha de produtos asfálticos sustentáveis da Petrobras, foi desenvolvido para permitir a usinagem e aplicação do concreto asfáltico em temperaturas significativamente inferiores, sem necessidade de modificações em equipamentos ou processos. O **CAP Pro W** apresenta melhor desempenho quando comparado ao CAP convencional e maior durabilidade na vida útil do pavimento.

Com menores temperaturas de aplicação, menores são também as emissões de gases de efeito estufa e demais vapores, refletindo em ganhos ao meio ambiente e condições de trabalho. As vantagens informadas pela Petrobrás são:

- Reduz custos de pavimentação, com uma economia de energia de até 35% devido à redução da temperatura

na etapa de usinagem do concreto asfáltico;

- Permite a utilização de maiores teores de conteúdo reciclado (RAP), levando a reduções de custo ainda maiores;
- Melhora as condições laborais, com menor exposição do trabalhador aos fumos, devido à redução da temperatura na produção e aplicação do concreto asfáltico;
- Aumenta a trabalhabilidade da massa asfáltica, facilitando o espalhamento e a compactação;
- Possibilita transportar a massa asfáltica por maiores distâncias previamente à sua utilização, assim como a aplicação em dias mais frios.
- Viabiliza a liberação do tráfego de forma mais rápida;
- Redução na intensidade de carbono do processo de pavimentação asfáltica;
- Não requer modificação nos equipamentos de usinagem e aplicação, nem nos processos de produção do concreto asfáltico;
- Desempenho igual ou superior ao do concreto asfáltico a quente, com melhoria na resistência ao dano por umidade e redução do envelhecimento da massa asfáltica.

A aplicação realizada pela Dimensional Engenharia representa o **primeiro uso urbano monitorado do CAP Pro W no Brasil**, configurando um marco tecnológico para o setor.

A Dimensional Engenharia é reconhecida como referência em ESG no setor, sendo a primeira construtora carbono neutro do Rio de Janeiro, inventariando suas emissões de Gases de Efeito Estufa através do GHG Protocol desde 2020 e possuindo certificação ISO 14.001 de gestão ambiental. Atuando de forma pioneira na adoção de tecnologias sustentáveis, a empresa vem incorporando soluções inovadoras que conciliam desempenho técnico, eficiência econômica e redução de impactos ambientais nas suas obras. A Dimensional trabalha com misturas mornas desde **2011**, quando desenvolveu um trabalho técnico em parceria com a CIBER e a COPPE-UFRJ sobre **Misturas Asfálticas Mornas pelo Processo de Espumação – WMA FOAM**.

2. Caracterização do empreendimento e do trecho experimental

O trecho experimental foi executado na **Rua Figueiredo de Magalhães**, em Copacabana (RJ), entre a Avenida Atlântica e a Rua Barata Ribeiro. Trata-se de via urbana com tráfego significativo e condições estruturais homogêneas, que era escopo das obras denominadas Asfalto Liso da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

Para comparabilidade e controle, metade da Rua foi executada com o CAP 30/45 normal e a outra metade com o CAP PRO W 30/45, garantindo assim uma avaliação comparativa com Elevado grau de assertividade, desde a produção e aplicação, até o a análise de desempenho ao longo do tempo após a contrução.

Acompanhamento Técnico da Aplicação em Trecho Urbano



2.1 Levantamento estrutural preliminar

Foram realizados levantamentos deflectométricos (FWD), que indicaram **baixas deflexões** e comportamento estrutural uniforme nas faixas direita, central e esquerda, permitindo a adoção de uma solução de recuperação superficial sem intervenções estruturais profundas e demonstrando que a comparabilidade das diferentes soluções adotadas é adequada.

3. Materiais e metodologia

3.1 Ligantes avaliados

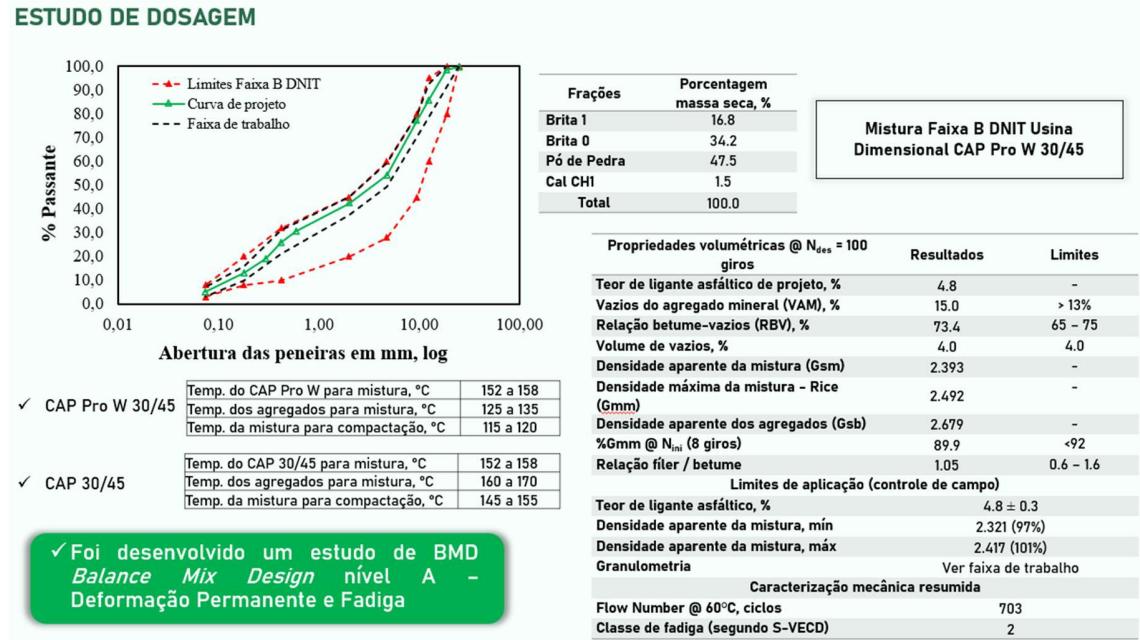
Foram comparadas duas soluções:

- CAP 30/45 convencional;
- CAP Pro W 30/45, formulado para misturas mornas (WMA).

Ambos os ligantes foram enquadrados como CAP 30/45, permitindo comparação direta de desempenho.

3.2 Estudo de dosagem

Foi desenvolvido um **Balanced Mix Design (BMD)** – Nível A, contemplando critérios de **deformação permanente** e **fadiga**. As misturas foram enquadradas na Faixa B do DNIT, utilizando agregados da própria Dimensional.



O BMD permitiu avaliar simultaneamente parâmetros volumétricos e de desempenho, assegurando que a redução de temperatura não implicasse perda de qualidade mecânica.

4. Execução e controle tecnológico

Na execução do trecho foram monitoradas: temperaturas de usinagem; aplicação e compactação; consumos de combustíveis na usina; avaliação das emissões de

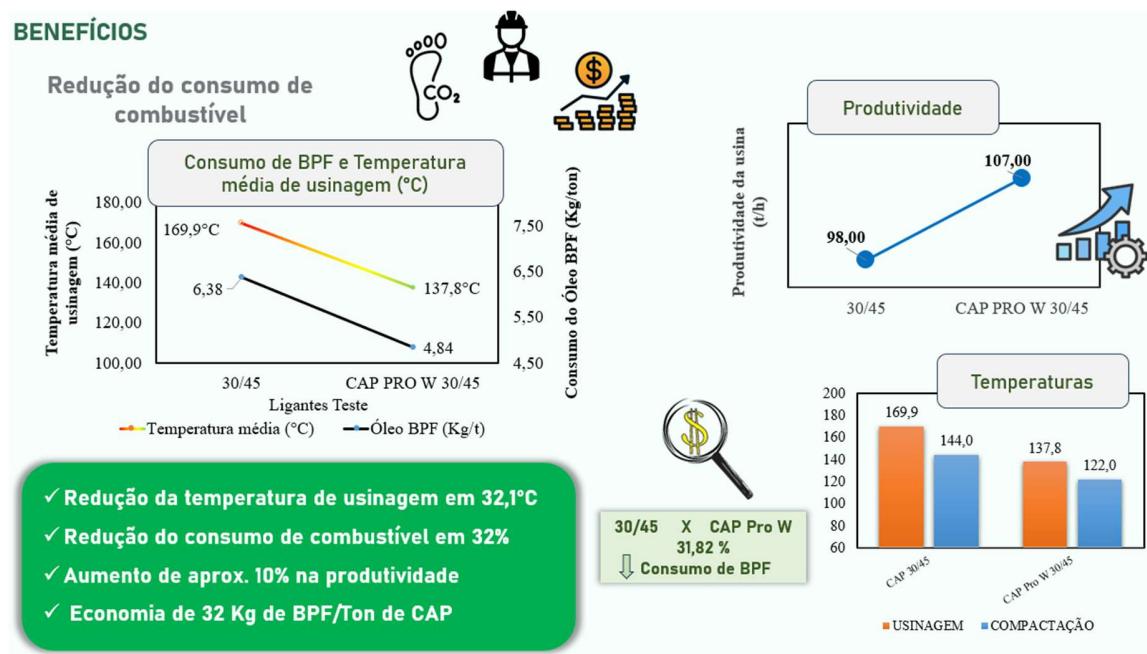
fumos de amostragem ativa de pequeno volume, utilizando sistemas de bombas contendo cartuchos adsorventes à base de XAD-2 instalados nos trabalhadores;

4.1 Temperaturas, consumo energético e produtividade

A utilização do CAP Pro W possibilitou:

- Redução média de 32,1 °C na temperatura de usinagem e aplicação;
- Redução aproximada de 32% no consumo de combustível (óleo BPF);
- Economia média de 32 kg de BPF por tonelada de CAP.

Observou-se, ainda, um **aumento de aproximadamente 9-10% na produtividade da usina**, decorrente da menor demanda térmica e, consequente, maior fluidez operacional.



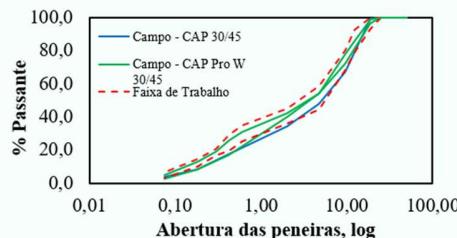
Esses resultados confirmam a eficiência da tecnologia WMA aplicada em escala real urbana.

4.2 Controle tecnológico da mistura

Durante a execução foram monitorados: - Curva granulométrica; - Teor de ligante; - Temperaturas de usinagem, transporte e compactação; - Grau de compactação e volumes de vazios.

CONTROLE TECNOLÓGICO

- Foram detectados pequenos desvios na curva granulométrica durante a execução dos trechos;
- O grau de compactação da massa com o CAP Pro W 30/45 ficou perfeito;



LIGANTE	TEOR DE CAP (%)		ESPESSURA MÉDIA (cm)	VOL. DE VAZIOS MÉDIO (%)
	PROJ.	OBRA		
CAP 30/45	4,80	4,90	4,93	4,59
CAP Pro W 30/45	4,80	4,90	5,31	5,7



Os resultados indicaram:

- Grau de compactação excelente** para a mistura com CAP Pro W;
- Volume médio de vazios de aproximadamente **4,6%** para o CAP Pro W, contra cerca de **5,7%** na mistura convencional.

Tabela 1 – Comparação técnica entre CAP 30/45 e CAP Pro W 30/45

Parâmetro	CAP 30/45	CAP Pro W 30/45
Temperatura de usinagem	164–168 °C	128–138 °C
Redução de temperatura	Referência	≈ 32 °C
Consumo médio de BPF	≈ 6,38 L/t	≈ 4,84 L/t
Economia de combustível	Referência	26–32%
Produtividade da usina	Referência	+9 a 10%
Volume médio de vazios	≈ 5,7%	≈ 4,6%
Desempenho mecânico	Atende requisitos	Igual ou superior

Fonte: Dimensional Engenharia / Petrobras (2024).

5. Avaliação de emissões e saúde ocupacional

5.1 Ensaios laboratoriais de fumos

Foram conduzidas avaliações de emissões forçadas em laboratório, com geração de fumos entre 130 °C e 160 °C, utilizando cartuchos adsorventes (XAD-2) e análises químicas e ecotoxicológicas.



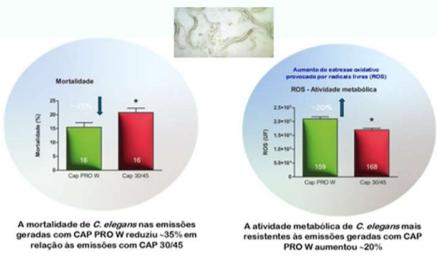
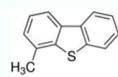
Ensaios **in vitro** e **in vivo** (incluindo *Danio rerio* e *Caenorhabditis elegans*) indicaram:

- Redução da toxicidade associada aos fumos;
- Menor taxa de mortalidade;
- Melhora na atividade metabólica dos organismos testados.

AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES IN SITU (EM ANÁLISE – UFSM)

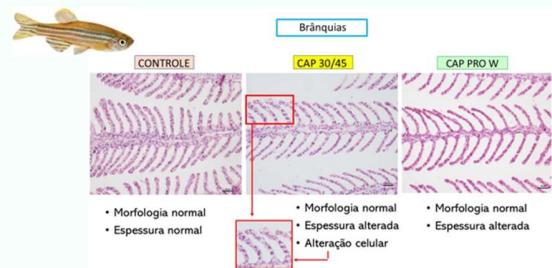


- Foram enviadas, para a UFSM amostras dos ligantes utilizados no trecho teste do CAP Pro W 30/45 e os ensaios estão em andamento;
- Além disso também foram enviados os cartuchos adsorventes à base de XAD-2, utilizados no monitoramento em campo em três trabalhadores.



Resultados alcançados em avaliações correlatas com reduções próximas do teste em questão;

- Danio rerio**
 - Alterações fisiológicas encontradas;
- C. elegans**:
 - Redução na taxa de mortalidade;
 - Melhora na atividade metabólica.



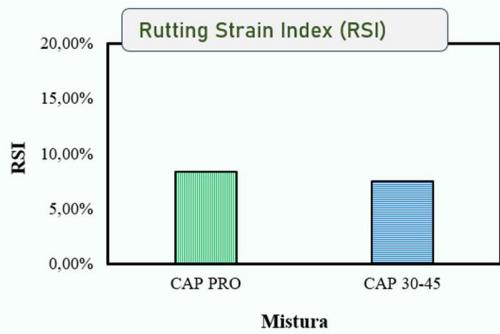
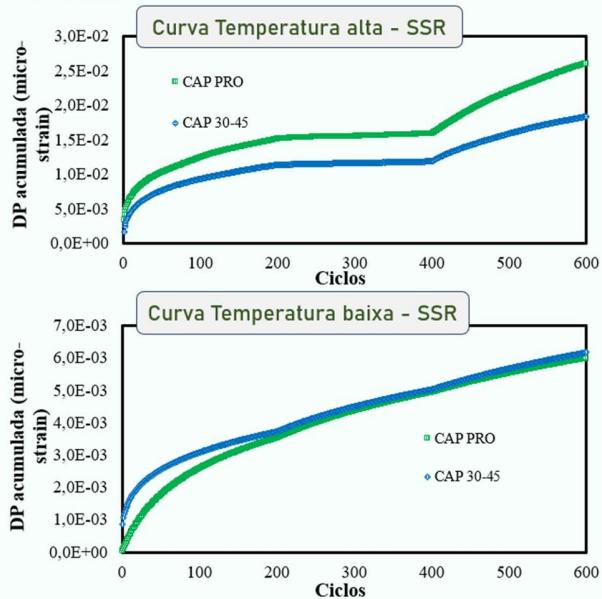
Durante a aplicação em pista, foram monitoradas as emissões in situ junto aos trabalhadores. Os resultados preliminares indicam **redução significativa da exposição a hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs)**, com ensaios complementares em andamento junto à UFSM.

6. Avaliação “As Built” e desempenho mecânico

Após a execução, foram realizados ensaios nos materiais conforme construídos, mantendo-se a mesma granulometria, teor de ligante e grau de compactação para ambas as soluções.

As avaliações incluíram: - Módulo dinâmico; - Curvas CxS e Gr; - Classes de fadiga; - Ensaios SSR em altas e baixas temperaturas; - Índice de deformação permanente (RSI); - Retroanálise estrutural (BackMeDiNa); - Simulações de área trincada, IRI e afundamento de trilha de roda.

AS BUILT



Os resultados demonstraram que o **CAP Pro W 30/45 apresentou desempenho equivalente ou superior ao CAP 30/45**, corroborando os pressupostos adotados no desenvolvimento do produto.

7. Análise de Ciclo de Vida (ACV) e Ficha Ambiental

A Dimensional e a Petrobras figuram como **pioneiras na aplicação da Ficha Ambiental (FA) da Mistura Asfáltica (FAMA)** associada a um caso real urbano, reforçando a transparência e a mensuração objetiva dos impactos ambientais.

FAMA – FICHA AMBIENTAL DA MISTURA ASFÁLTICA

BERÇO À CONSTRUÇÃO

ACV até o portão da usina de asfalto!!

Indica os impactos do material ao meio ambiente

Ficha Ambiental
Mistura Asfáltica

DESENVOLVIDA POR: UFRJ
COM APOIO: PETROBRAS

OCTUBRO 2024

Este Ficha Ambiental (FA) foi produzida de acordo com a NBR 14044/2015 [1]. Os dados foram fornecidos voluntariamente à FA e destinados à comunicação entre empresas. Esta FA descreve de forma transparente os impactos ambientais potenciais associados ao ciclo de vida da mistura asfáltica CAP Pro W 30/45. Os dados foram obtidos de fontes experimentais no local e às condições indicadas neste documento. Dados utilizados nesta FA refletem a operação da usina asfáltica durante um período de 12 meses e a parcial de mitigação de fontes experimentais.

INFORMAÇÕES DE DESenvolvimento: FICHA AMBIENTAL CAP 30/45 UFRJ / INSTITUTO ALBERTO LUGU COMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ENGENHARIA (COPPE) - Setor de Petróleos Endereço: Avenida Presidente Carvalho, s/n - Ipa (o Fundo da Universidade, Rio de Janeiro - RJ, 21941-596. Realização: Cláudia Pires Ribeiro, MSc. Revisão Crítica: Taige Barreto Rocha, ACV Brasil

Informações da empresa: » DIMENSIONAL ENGENHARIA LTDA Endereço: Rua Sete de Setembro, 58, Sala 605, Centro, CEP 20200-002 | Rio de Janeiro - RJ

» CAP Pro W 30/45

Este fórum deu destaque à mistura categoria 1 (igual ou superior ao gerenciado para misturas normais - Marmo Mito Asfalto (WMA). A mistura com CAP Pro W 30/45 foi usada em intervalo de temperatura de 126,0°C a 158,0°C. O material foi disponibilizado pela PETROBRAS. Com o propósito de estabelecer um inventário e garantir a transparência da FA, a formulação da mistura está apresentada na Tabela 1.

» CAP 30/45

A mistura com CAP 30/45 foi usada em intervalo de temperatura de 164,0°C a 168,0°C. O material foi disponibilizado pela PETROBRAS. Com o propósito de estabelecer um inventário e garantir a transparência da FA, a formulação da mistura está apresentada na Tabela 1.

Petrobras e parceiros são pioneiros na **Ficha Ambiental de Mistura Asfáltica (FAMA)**, acoplada a aplicações com a linha CAP Pro

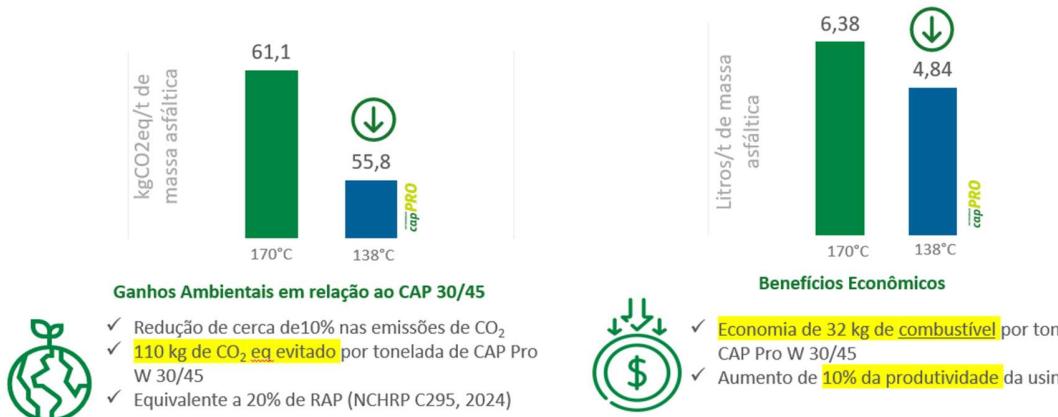
É necessário medir os impactos para mitigá-los e a Petrobras está engajada nesse esforço juntamente com seus parceiros!

7.1 Escopo e metodologia

A ACV foi conduzida do **berço à construção**, conforme ABNT NBR ISO 14040 e 14044, utilizando o software SimaPro e o método EN 15804 + A2. Foram consideradas as etapas: - A1 – Materiais; - A2 – Transporte; - A3 – Produção; - A4 – Transporte à obra; - A5 – Construção.

7.2 Comparação ambiental

A comparação entre as misturas evidenciou ganhos relevantes para o CAP Pro W: - Redução de impactos associados à **mudança climática (CO₂ equivalente)**; - Menor uso de recursos fósseis; - Redução de acidificação e formação fotoquímica de ozônio; - Menor toxicidade humana potencial.



8. Benefícios globais apurados

A aplicação do CAP Pro W no case Dimensional resultou em benefícios integrados para toda a cadeia de pavimentação:

- **Ambientais:** redução de CO₂ evitado, menor consumo energético e menor intensidade de carbono;
 - **Operacionais:** maior produtividade, possibilidade de transporte a maiores distâncias e execução em dias mais frios;
 - **Saúde e segurança:** significativa redução da exposição dos trabalhadores a fumos e HPAs;
 - **Técnicos:** manutenção ou melhoria do desempenho mecânico e estrutural do pavimento;
 - **Econômicos:** redução direta de custos de combustível e maior eficiência do processo produtivo.
-

9. Conclusões

O estudo de caso da Dimensional Engenharia comprova que o **CAP Pro W 30/45** é uma solução tecnicamente robusta, ambientalmente superior e economicamente vantajosa para aplicações urbanas. A experiência pioneira demonstra que a transição para tecnologias de pavimentação de menor impacto pode ser realizada **sem comprometer desempenho**, utilizando infraestrutura existente e com ganhos mensuráveis para todos os agentes envolvidos.

Este case consolida-se como referência nacional para futuras especificações, políticas públicas e projetos que busquem alinhar desempenho, sustentabilidade e inovação na pavimentação asfáltica.

Referências Normativas

ABNT NBR ISO 14040:2009 – Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Princípios e estrutura.

ABNT NBR ISO 14044:2009 – Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Requisitos e orientações.

EN 15804:2012+A2:2019 + AC:2021 – Sustainability of construction works — Environmental product declarations.

DNIT 031/2006 – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço.

Petrobras. CAP Pro W – Ligante asfáltico para misturas mornas (WMA). Documentação técnica, 2024.

COPPE/UFRJ. Estudos de desempenho e análise de ciclo de vida de misturas asfálticas mornas, 2024.

Realização e Parceiros:

Case Dimensional Engenharia & CAP Pro W



Foto dos profissionais envolvidos:



Profissionais envolvidos:

Dimensional Engenharia

Vinicio Benevides – Diretor Operacional da Dimensional Engenharia

Osvaldo Peçanha – Gestor de Unidade de Negócios

Vinicio Singello – Supervisor de Usina

Lohan Antunes – Engenheiro de Controle

Fernando Santos – Gestor de Unidade de Negócios

Luis Alberto Herrmann do Nascimento – Petrobras

Rosa Blajberg Benzecri – Petrobras Gerente Comercial de Asfaltos

Marcelo Thume – Petrobras Profissional de Nível Superior Master

Helena Oliveira da Cruz Monteiro – Comercial Petrobras

Marcos Antonio Fritzen – COPPE RJ

Ricardo Schroder Teixeira – COPPE RJ Pesquisador de Estudos Tecnológicos

COPPETEC

Autor do Artigo:

Engenheiro Vinicius Benevides – Diretor Operacional da Dimensional Engenharia