

IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização: SUSTENTARE FUD CAMPINAS WIPES IFCOP

Apoio: Agência das Rocias PCJ COMITÊS PCJ

ADERÊNCIA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS A QUENTE ÀS METAS DOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA ONU

Thiago Marques da Frota, Universidade Federal do Ceará, thiagofrota@det.ufc.br
Willyanne Ferreira Rocha, Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Ceará, willyanne.ferreira.rocha60@aluno.ifce.edu.br
Nájila Rejanne Alencar Julião Cabral, Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Ceará, najila@ifce.edu.br
Juceline Batista dos Santos Bastos, Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Ceará, jucelinebatista@det.ufc.br
Jorge Barbosa Soares, Universidade Federal do Ceará, jsoares@det.ufc.br

Resumo

O modal rodoviário brasileiro carece de investimento para ampliação da malha e manutenção das rodovias existentes. Isso significa impactos ambientais atrelados à produção de novas estruturas de pavimentos, e consequente produção de novas misturas asfálticas com extração de novas matérias-primas e lançamento de resíduos na natureza. O objetivo desta pesquisa é analisar a aderência dos resultados de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) da etapa de produção de misturas asfálticas recicladas a quente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030. A metodologia consistiu na análise de metas dos ODS de interface à produção de misturas asfálticas recicladas com relação à compatibilidade quanto às categorias de impactos ambientais do método IMPACT World+. A análise apontou que as categorias de impactos ambientais apresentam significativa relação aos ODS 3, 6, 9, 11, 12, 13, 14, e 15, os quais apresentam objetivos e metas voltados à saúde, água potável e saneamento, inovações e infraestrutura, cidades sustentáveis, produção e consumo responsável, mudanças climáticas, ecossistemas aquáticos e terrestres, contribuindo para Agenda 2030. Destaca-se que esses ganhos devem ser atrelados ao desempenho de tais estruturas, tendo em vista que pavimentos sustentáveis devem ajudar a reduzir as emissões de carbono e da redução do desperdício.

Palavras-chave: Reciclagem de Pavimentos, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, Impactos Ambientais.

1. Introdução

Os estados membros da Organização das Nações Unidas (ONU) elaboraram em 2015 um plano de ações que, além da sustentabilidade ambiental, visa a inclusão social e o desenvolvimento econômico. Para o cumprimento do documento “Transformando nosso mundo: Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável”, foram estabelecidos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Figura 1), com 169 metas e número elevado de indicadores com o intuito de monitorar e avaliar as transformações (ONU, 2015). Deste modo, governos, empresas



e organizações da sociedade civil estão destinando recursos e promovendo ações para combater a redução de impactos negativos aos ecossistemas ambientais.

O setor de transportes é a principal atividade fonte emissora de Gases de Efeito Estufa (GEE) do setor energético brasileiro. Segundo dados do Observatório do Clima apontaram que, em 2020, o setor correspondeu a 47% das emissões de GEE, sendo o transporte de cargas por caminhões responsável por aproximadamente 40% desse total (Observatório do Clima, 2020). Por outro lado, não há dados nacionais quanto às emissões causadas pelo setor de infraestrutura de pavimentos rodoviários. Além de emissões de GEE, é importante estar ciente quanto a outras categorias de impactos ambientais negativos ao meio ambiente causados pelo setor. A remoção da camada vegetal, alteração da drenagem local, exploração de recursos naturais não renováveis e disposição de resíduos no meio ambiente são alguns dos exemplos (Xiaofeng *et al.*, 2021).

Figura 1: Ícones oficiais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).



Fonte: ONU (2015)

Diante deste cenário se faz necessário considerar uma análise dos impactos ambientais no contexto do ciclo de vida de um pavimento rodoviário, ou seja, nas fases de extração de matérias-primas, produção, construção, manutenção e restauração, além da disposição dos resíduos ao final da sua vida útil. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), técnica oriunda da Ecologia Industrial, que vem ganhando espaço no cenário mundial, quantifica os impactos ambientais de um ou mais pontos do ciclo de vida dos produtos ou serviços (ISO, 2006). Os estudos



de uma ACV completa aplicada em pavimentos indicam que as etapas que consideram os processos de produção das misturas são as que apresentam os maiores impactos ambientais (Aurangzeb *et al.*, 2014; Farina *et al.*, 2017; Silverio *et al.*, 2021).

O uso de materiais alternativos, processos produtivos aprimorados e o uso de energias renováveis tornaram-se estratégias importantes para reduzir os impactos ambientais e as emissões de GEE na engenharia de pavimentos. Uma das várias alternativas empregadas que visa contornar grande parte desses impactos é a reciclagem de pavimentos, técnica centenária que consiste na reinsertão do material asfáltico fresado de pavimentos deteriorados, em inglês *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), na composição de novas misturas asfálticas ou camadas subjacentes. A vantagem desta técnica também garante competitividade econômica na construção e manutenção de pavimentos asfálticos, visto que o material fresado contém o componente de maior valor econômico agregado da mistura, o ligante asfáltico.

A delimitação geográfica do presente estudo traz Fortaleza, capital do estado do Ceará, e a Região Metropolitana de Fortaleza, a sexta maior região metropolitana do Brasil. Como indicador da situação dos pavimentos dessa região o estudo da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2021) aponta que cerca de 60% dos pavimentos do Ceará são classificados como de regular a péssimo.

Segundo Kühnen *et al.* (2019), um aspecto relevante a ser considerado é o fato de os ODS foram desenvolvidas para políticas globais e nacionais, enquanto as métricas de ACV foram desenvolvidas para nível de produto. Além disso, as metas e indicadores dos ODS, conforme determinados pela ONU, são frequentemente qualitativos e não quantitativos. Por conseguinte, o objetivo desta pesquisa é analisar a aderência dos resultados de ACV das práticas de reciclagem em misturas asfálticas recicladas a quente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

2. Fundamentação teórica

A infraestrutura desempenha um papel fundamental nas três dimensões do desenvolvimento sustentável: a economia, o meio ambiente e a sociedade. O reconhecimento da infraestrutura ganhou mais destaque e reconhecimento na última década com as metas dos ODS e o Acordo de Paris sobre mudanças climáticas. A Figura 2 ilustra o papel da infraestrutura no suporte aos ODS, sendo os ODS 1, 2, 3, 4, 6 e 7 para melhorar o acesso aos serviços básicos, os ODS 11, 12, 13, 14 e 15 para promover a sustentabilidade ambiental e os ODS 5, 8, 9, 10, 16 e 17 para contribuir com o desenvolvimento inclusivo.

A infraestrutura de transporte é fundamental para o desenvolvimento econômico e social de uma nação, interligando os entes das cadeias produtivas entre si e passageiros aos pontos de destino. No Brasil, cerca de 65% da movimentação de mercadorias e 95% da de passageiros estão concentrados no modal rodoviário (CNT, 2021). Ainda segundo a pesquisa, o país possui 13% da sua malha rodoviária total pavimentada, sendo 40% desta avaliada numa situação de



IV SUSTENTARE & VII WIPIS

WORKSHOP INTERNACIONAL

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização:





Apoio:





ruim à péssima, atrelada principalmente aos defeitos de fadiga e deformação permanente. Assim, significativo investimento é necessário para ampliação e manutenção dessa malha.

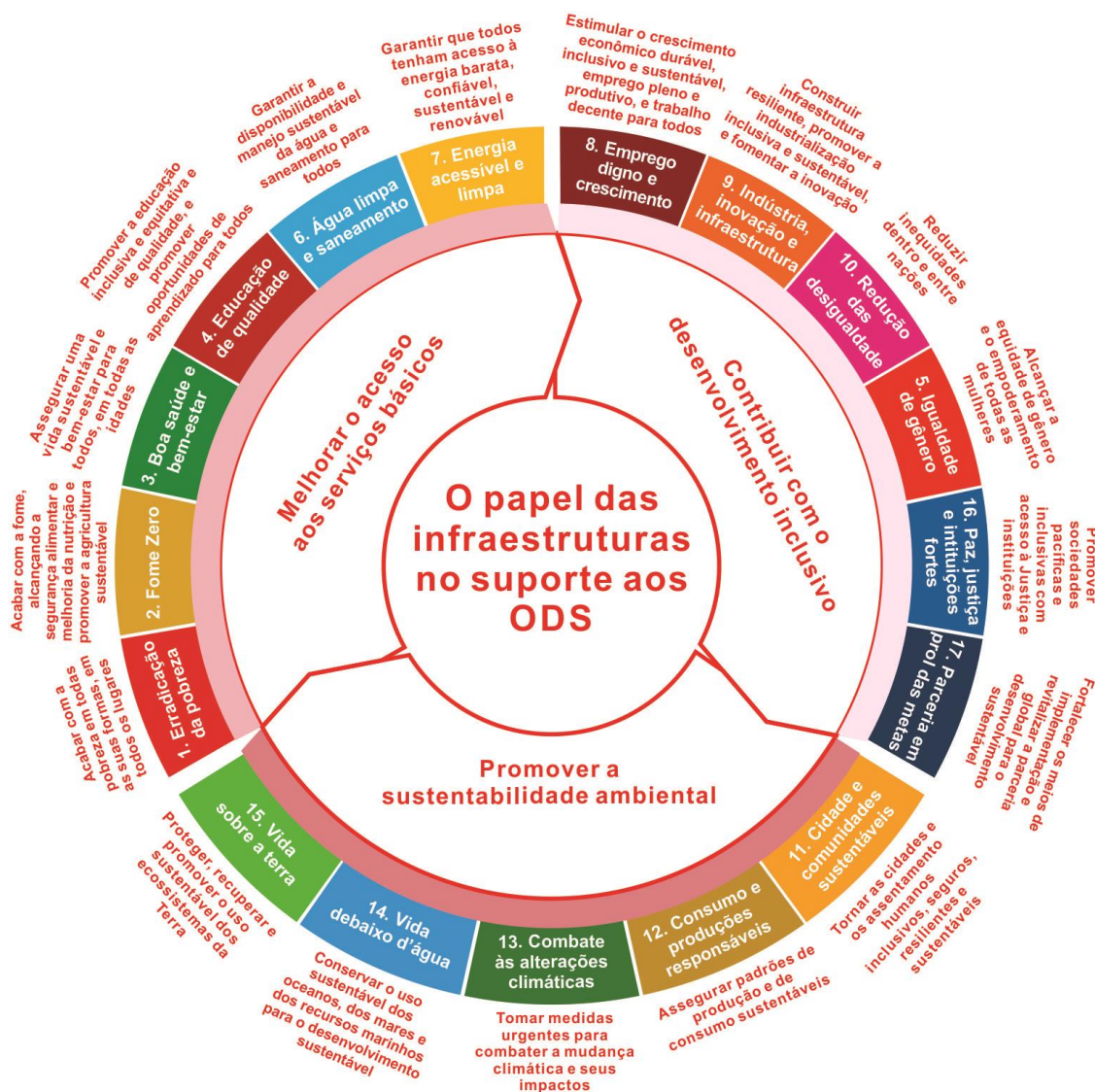


Figura 2. O papel das infraestruturas no apoio as ODS

Fonte: Salini Impregilo (2016)

A indústria do asfalto é a mais ativa em termos de reciclagem nos Estados Unidos, com mais de 99% do RAP retornando para a cadeia produtiva. Segundo pesquisa realizada em 2020



pela NAPA (National Asphalt Pavement Association), estima-se que a economia combinada de ligante asfáltico e agregados com a utilização do RAP tenha sido de 2,9 bilhões de dólares, além de um volume de 45 milhões de metros cúbicos que deixaram de ser lançados em aterros sanitários (Willians et al., 2021). Na Europa, a Alemanha é o país com maior disponibilidade de RAP e, segundo dados publicados pela EAPA (European Asphalt Pavement Association) em 2020, foram reutilizados 84% material reciclado para a produção de misturas asfálticas usinadas a quente ou mornas, o que corresponde a aproximadamente 10 milhões de toneladas de material. Finlândia e Irlanda reutilizaram 100% do RAP disponível para os mesmos tipos de mistura (EAPA, 2021).

No Brasil ainda não há dados relevantes quanto a geração e uso de RAP, apesar de haver diversas experiências exitosas em todo o país, indicando grande potencial na geração e uso de RAP e, conseqüentemente, oportunidades para o setor. Além disso, o uso do RAP vem ganhando força em território brasileiro nos últimos anos devido às normatizações e regulamentações do governo e órgãos responsáveis (BRASIL, 2021; DNIT, 2021).

3. Metodologia

A análise de aderência das categorias de impactos ambientais da produção de misturas asfálticas recicladas, por meio do método IMPACT World+ (Bulle *et al.*, 2019), com os ODS, e suas respectivas metas, deu-se por análise de conteúdo de Bardin (2011), considerando as fases de análise documental: pré-análise; exploração do material; tratamento dos resultados alcançados e interpretação destes.

Dessa maneira, a fase de pré-análise consistiu na escolha dos documentos que se relacionam aos objetivos da presente análise, que tenham relação com as Categorias de Impacto do ACV e dos ODS. Assim, os documentos selecionados consistiram em: categorias de impactos ambientais da produção de misturas recicladas determinados a partir de *software* SimaPro (PRé Consultants, 2019), para Avaliação do Ciclo de Vida e ONU (2015).

A fase de exploração do material selecionado na fase de pré-análise consistiu na categorização e agregação dos 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável às 12 Categorias de Impactos da ACV, onde esta foi realizada por análise de aderência em nível de meta.

A terceira etapa deu-se por interpretação dos resultados alcançadas e, por conseguinte, identificando o nível de aderência das categorias de impacto da ACV aos ODS e o embasamento científico para tal resultado.

A presente análise engloba os 17 ODS e suas 169 metas estabelecidas em nível mundial, bem como as Categorias de Impactos por método IMPACT World+ determinados a partir de ACV, a saber: Mudança Climática (MC); Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF); Depleção da Camada de Ozônio (DCO); Ecotoxicidade da Água Doce (ETA); Toxicidade Humana Cancerígena (THc); Toxicidade Humana não Cancerígena (THnc); Acidificação de Água Doce (AA); Acidificação Terrestre (AT); Eutrofização da Água Doce (EA); Eutrofização da Água Marinha (EM); Formação de Material Particulado (FMP) e Radiação Ionizante (RI).

IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização: SUSTENTARE FUD CAMPINAS

WIPES IRL-OP

Apoio: Agência das Bacias PCJ

COMITÊS PCJ

4. Resultados e discussões

Em cada uma das Categorias de Impacto têm-se diferentes aderências aos ODS, onde: Mudança do Clima apresenta 35% (ODS 3, 9, 11, 12, 13 e 15); Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF) tem 41% (ODS 3, 6, 9, 11, 12, 13 e 15); Depleção da Camada de Ozônio (DCO) contém 35% (ODS 3, 6, 11, 12, 13 e 15); Ecotoxicidade da Água Doce (ETA) inclui 35% (ODS 3, 6, 11, 12, 13 e 15); Toxicidade Humana Cancerígena (THc) e não Cancerígena (THnc) têm 41% (ODS 3, 6, 9, 11, 12, 13 e 14); Acidificação de Água Doce (AA) adere a 41% (ODS 3, 6, 9, 11, 12, 13 e 15); Acidificação Terrestre (AT) abrange 35% (ODS 3, 9, 11, 12, 13 e 15); Eutrofização da Água Doce (EA) apresenta 35% (ODS 3, 6, 11, 12, 13 e 15); Eutrofização da Água Marinha (EM) contém 41% de aderência (ODS 3, 6, 11, 12, 13, 14 e 15); Formação de Material Particulado (FMP) tem 29% de aderência (ODS 3, 9, 11, 12 e 13); Radiação Ionizante (RI) possui 23% (ODS 3, 11, 12 e 13), de acordo com o Quadro 1.



Quadro 1- Aderência das Categorias de Impactos ACV método IMPACT WORLD+ aos ODS.

Categorias de impactos ACV - IMPACT WORLD+.													
ODS	Metas	(MC)	(FOF)	(DCO)	(ETA)	(THc)	(THnc)	(AA)	(AT)	(EA)	(EM)	(FMP)	(RI)
3	3.3				X								
	3.6									X	X		
	3.9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	6.3		X		X	X	X						
	6.4				X			X		X	X		
	6.6				X			X		X	X		
9	9.4	X	X	X		X	X	X	X			X	
	9.a												
11	11.3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	11.6	X	X	X		X	X	X	X			X	

Fonte: Autores (2022).



Quadro 1- Aderência das Categorias de Impactos ACV método IMPACT WORLD+ aos ODS.

Categorias de impactos ACV - IMPACT WORLD+.													
ODS	Metas	(MC)	(FOF)	(DCO)	(ETA)	(THc)	(THnc)	(AA)	(AT)	(EA)	(EM)	(FMP)	(RI)
12	12.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	12.4		x	x	x	x	x	x	x			x	x
	12.5									x	x		
	12.c	x	x	x		x	x					x	x
13	13.3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
14	14.1										x		
	14.2										x		
	14.3					x	x						
	14.c										x		
15	15.1	x	x	x	x			x	x	x			
	15.3								x				

Fonte: Autores (2022).

A partir da análise, foi possível observar que a compatibilidade dos ODS e as Categorias de Impacto do ACV apresentam significativa relação aos ODS 3, 6, 9, 11, 12, 13, 14, e 15, os quais apresentam objetivos e metas voltados à saúde, água potável e saneamento, inovações e infraestrutura, cidades e comunidades sustentáveis, produção e consumo responsável, mudanças climáticas, ecossistemas aquáticos e terrestres.

No que se refere às metas que se relacionam às Categorias de Impacto, tem-se a Mudança do Clima com 9 metas; Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF) com 11 metas; Depleção da Camada de Ozônio (DCO) com 10 metas; Ecotoxicidade da Água Doce (ETA) com 11 metas; Toxicidade Humana Cancerígena (THc) e não Cancerígena (THnc) ambas com 11 metas; Acidificação de Água Doce (AA) com 11 metas; Acidificação Terrestre (AT) com 10 metas; Eutrofização da Água Doce (EA) 10 metas; Eutrofização da Água Marinha (EM) com 12 metas; Formação de Material Particulado (FMP) com 9 metas; Radiação Ionizante (RI) com 7 metas, de acordo com o Quadro 1 e Quadro 2.

Quadro 2 – Categoria de Impacto ACV método IMPACT WORLD+ e Metas dos ODS.

Categorias IMPACT WORLD+	ODS - Metas
Mudança Climática (MC)	3.9; 9.4; 11.3; 11.6; 12.2; 12.c; 13.3; 15.1
Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF)	3.9; 6.3; 9.4; 11.3; 11.6; 12.2; 12.4; 12.c; 13.3; 15.1
Depleção da Camada de Ozônio (DCO)	3.9; 9.4; 11.3; 11.6; 12.2; 12.4; 12.c; 13.3; 15.1
Ecotoxicidade da Água Doce (ETA)	3.3; 3.9; 6.3; 6.4; 6.6; 11.3; 12.2; 12.4; 13.3; 15.1
Toxicidade Humana Cancerígena (THc)	3.9; 9.4; 11.3; 11.6; 12.2; 12.4; 12.c; 13.3; 14.3
Toxicidade Humana não Cancerígena (THnc)	3.9; 9.4; 11.3; 11.6; 12.2; 12.4; 12.c; 13.3; 14.3
Acidificação de Água Doce (AA)	3.9; 6.4; 6.6; 9.4; 11.3; 11.6; 12.2; 12.4; 13.3; 15.1
Acidificação Terrestre (AT)	3.9; 9.4; 11.3; 11.6; 12.2; 12.4; 13.3; 15.1; 15.3
Eutrofização da Água Doce (EA)	3.6; 3.9; 6.4; 11.3; 12.2; 12.5; 13.3; 15.1
Eutrofização da Água Marinha (EM)	3.6; 3.9; 6.4; 11.3; 12.2; 12.5; 13.3; 14.1; 14.2; 14.c
Formação de Material Particulado (FMP)	3.9; 9.4; 11.3; 11.6; 12.2; 12.4; 12.c; 13.3
Radiação Ionizante (RI)	3.9; 11.3; 12.2; 12.4; 12.c; 13.3

Fonte: Autores (2022).



IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
 de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização: SUSTENTARE FUD CAMPINAS

Apoio: Agência das Bacias PCJ, COMITÊS PCJ

Dentre estas, as metas que aparecem com maior frequência são: 3.9; 9.4; 11.3; 11.6; 12.2; 12.4 e 13.3, de acordo com o Quadro 3, as quais relacionam-se a: redução de mortes e contaminação do ar, água e solo por produtos químicos; eficiência do uso de recursos, processos industriais limpos e ambientalmente adequados; urbanização sustentável; redução de impacto ambiental e ações para qualidade do ar; gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais; manejo sustentável de produtos químicos em todo o ciclo de vida destes, e redução do seu lançamento no ar, água e solo; redução de impacto e voltados às mudanças do clima.

Quadro 3 – Metas mais frequentes de aderência às categorias de impacto de acordo com o método IMPACT World+.

Metas	Objetivo a ser alcançado
3.9	Reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água do solo.
9.4	Modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados.
11.3	Aumentar a urbanização inclusiva e sustentável.
11.6	Reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros.
12.2	Alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais.
12.4	Alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente.
13.3	Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima.

Fonte: Autores (2022).

Quanto ao objetivo de alcançar uma infraestrutura sustentável na pavimentação rodoviária, os ODS 3, 9 e 11 estão relacionados direta ou indiretamente com, especificamente as metas 3.6, 9.1, 9.4, 9a e 11.2 (Acai *et al.*, 2019). De acordo com a *National Asphalt Pavement Association* (Muench e Hand, 2019), há ODS que estão mais pertinentes aos produtores de misturas

asfálticas que outros, por exemplo, os ODS 3, 4, 8, 9, 10, 11, e 12. O documento também aponta que em planos ou relatórios de sustentabilidade de empresas da indústria de asfalto já trazem elementos, metas, métricas de sustentabilidade vinculados com a estratégia de negócios. A *CRH Americas Materials*, empresa que mais recicla materiais de construção nos Estados Unidos, por exemplo, em seu relatório de sustentabilidade de 2021 (CRH, 2022), identifica as ODS 9, 11, 12 e 13 como sendo os mais alinhados e com mais impacto e influência.

De forma geral, a comunicação do compromisso com os ODS é feita em nível corporativo. Por outro lado, o alcance das metas dos ODS é dependente dos produtos e serviços, implicando que as empresas sejam capazes de usar métricas que mostrem se (e se sim, como) produtos existentes ou novos contribuem para apoiá-las (Weidema *et al.*, 2020).

Frota *et al.* (2022) apresentam resultados do estudo de ACV na produção de misturas asfálticas produzidas na cidade de Fortaleza. O Quadro 4 traz os resultados da Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), terceira fase da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), da mistura convencional sem RAP (M0), em todas as categorias de impacto consideradas. A AICV tem como finalidade avaliar a significância ambiental dos resultados do inventário por meio de modelos e fatores de caracterização contidos no método selecionado para o estudo, neste caso IMPACT World+.

Quadro 4. AICV da mistura convencional (M0)

Categoria de impacto	Unidade	M0
Mudança climática (MC)	kg CO2 eq	4,35E+01
Formação de oxidantes fotoquímicos (FOF)	kg NMVOC eq	3,49E-01
Depleção da camada de ozônio (DCO)	kg CFC-11 eq	4,56E-05
Ecotoxicidade da água doce (ETA)	CTUe	1,36E+05
Toxicidade humana cancerígena (THc)	CTUh	4,78E-07
Toxicidade humana não cancerígena (THnc)	CTUh	2,13E-06
Acidificação de água doce (AA)	kg SO2 eq	9,12E-07
Acidificação terrestre (AT)	kg SO2 eq	7,85E-04
Eutrofização da água doce (EA)	kg PO4 eq	7,13E-03
Eutrofização da água marinha (EM)	kg N eq	6,89E-03
Formação de material particulado (FMP)	kg PM2.5 eq	2,82E-02
Radiação ionizante (RI)	Bq C-14 eq	1,17E+03

A Figura 3 apresenta a variação relativa das categorias conforme as misturas asfálticas recicladas analisadas (M10, M20 e M30), sendo calculadas com base na mistura convencional. A lógica da interpretação dos resultados é entendida de modo que números relativos negativos associados às misturas recicladas representem uma piora nos resultados de potenciais impactos



da AICV em relação à mistura convencional. Por outro lado, os números positivos representam melhoras no perfil ambiental.

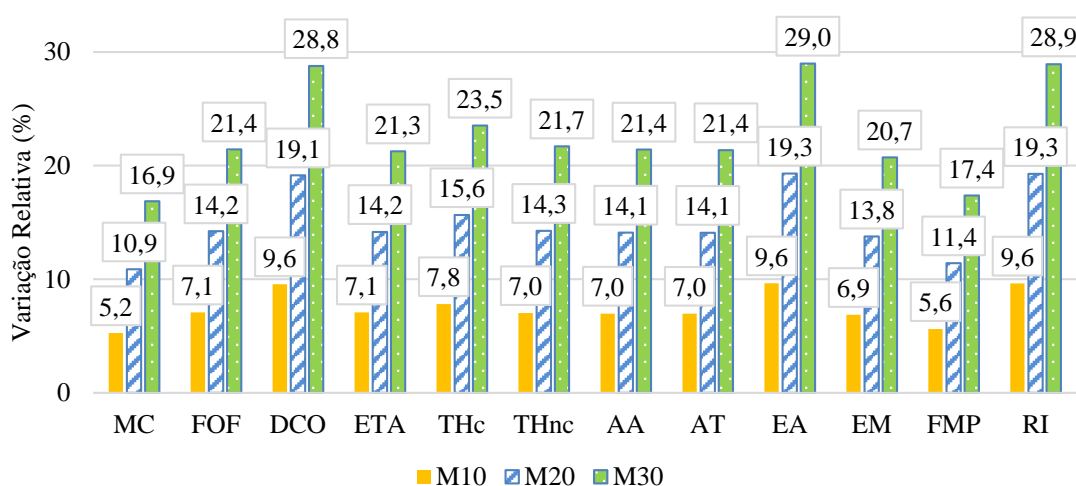


Figura 3. Potenciais impactos ambientais relativos das misturas recicladas (M10, M20 e M30) comparadas à mistura de referência, M0

A produção de misturas asfálticas a partir da reciclagem de pavimento, que representa a utilização de resíduos do material asfáltico de pavimentos deteriorados, mostra-se sustentável, economicamente viável e apresenta considerável aderência aos ODS.

A partir dos resultados da presente investigação, é notória a compatibilidade dos ODS com as Categorias de Impactos do ACV, as quais apresentam considerável redução de impacto quando comparada às técnicas convencionais da produção de misturas asfálticas.

5. Conclusões

Conclui-se que a técnica de reciclagem de misturas asfálticas vai muito além de ganhos econômicos já conhecidos, uma vez que reconhecidamente se adequam também aos ODS e suas metas relacionadas à saúde, água potável e saneamento, inovações e infraestrutura, cidades e comunidades sustentáveis, produção e consumo responsável, mudanças climáticas, ecossistemas aquáticos e terrestres.

Essa investigação permitiu inferir que as boas práticas de reciclagem, vistos sob a ótica de potenciais impactos ambientais, contribuem significativamente para o alcance de compromissos firmados internacionalmente, pelo Brasil, com potenciais reflexos positivos para o desenvolvimento sustentável, também, em nível local.



Além disso, também são importantes estudos quanto às ações dos produtores de misturas asfálticas para com seus trabalhadores aos ODS 4, 8 e 10, que se referem à educação de qualidade, emprego digno e crescimento econômico, e redução das desigualdades, respectivamente, por exemplo.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental (LERCA), do Departamento da Construção Civil, do IFCE Campus Fortaleza. Os autores agradecem à ANP/Petrobras pela bolsa do primeiro autor, à Funcap pelas bolsas da segunda e quarta autoras, ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa do quinto autor; ao CNPq (CNPq 408682/2021-3) pelo financiamento do projeto.

7. Referências bibliográficas

Acai, J., & Amadi-Echendu, J. (2018). Pavement Infrastructure Sustainability Assessment: A Systematic Review. Em 2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). 2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). IEEE. <https://doi.org/10.23919/picmet.2018.8481788>

Aurangzeb, Q., Al-Qadi, I. L., Ozer, H., Yang, R. (2014). Hybrid life cycle assessment for asphalt mixtures with high RAP content. *Resource, Conservation and Recycling*, 83, 77–86.

BRASIL (2021). Resolução nº 14, de 8 de julho de 2021. Dispõe sobre o reaproveitamento do RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) nas obras de restauração, adequação de capacidade e ampliação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, Edição 129, n. 129, p. 53, 12 julho 2021.

Bardin, L. (2011). Análise de Conteúdo. Traduzido por Luís Antero Reto, Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70. Tradução de: *L'analyse de Contenu*.

Bulle, C., Margni, M., Patouillard, L., Boulay, A.-M., Bourgault, G., De Bruille, ... Jolliet, O. (2019). IMPACT World+: A globally regionalized life cycle impact assessment method. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(9), 1653–1674. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01583-0>

Confederação Nacional do Transporte (2021). *Pesquisa CNT de rodovias 2021*. – Brasília: CNT: SEST SENAT.



CRH (2022). 2021 Annual Report and Form 20-F. CRH PLC, Dublin, Ireland. <https://www.crh.com/media/4081/crh-annual-report-2021.pdf>

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2021). DNIT-ES 033/2021. *Pavimentação - Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico reciclado a quente na usina - Especificação de serviço*. Rio de Janeiro, RJ.

European Asphalt Pavement Association (2021). *Asphalt in Figures 2020*. EAPA.

Farina, A., Zanetti, M.C., Santagata, E., Blengini, G.A. (2017). Life cycle assessment applied to bituminous mixtures containing recycled materials: Crumb rubber and reclaimed asphalt pavement. *Resource, Conservation and Recycling*, 117, 204–212.

Frota, T. M., Bastos, J. B. S., Soares, J. B. Potenciais impactos ambientais na produção de misturas asfálticas recicladas aplicando ACV cradle-to-gate: estudo de caso de Fortaleza. In: XXI Congresso Ibero Latinoamericano del Asfalto (CILA), 2022, Punta del Leste, Uruguai. Anais.

Kühnen, M., Silva, S., Beckmann, J., Eberle, U., Hahn, R., Hermann, C., Schaltegger S, Schmid, M. (2019). *Contributions to the sustainable development goals in life cycle sustainability assessment: Insights from the Handprint research project*. Em NachhaltigkeitsManagementForum| Sustainability Management Forum 27(1): 65-82. Berlin Heidelberg: Springer.

Muench, S.T., & Hand, A.J.T. (2019). *Sustainable Asphalt Pavements: A Practical Guide (SIP 100)*. National Asphalt Pavement Association, Greenbelt, Maryland.

International Organization for Standardization (2006). ISO 14044. *Environmental Management—Life Cycle Assessment—Requirements and guidelines*. Genebra, Suíça.

Observatório do Clima (2021). Análise das emissões brasileiras de Gases do Efeito Estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970 – 2020. Documento Analítico. Disponível em: < https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_9/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf> Acesso em 20 de maio de 2022.



Organização das Nações Unidas (2015). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/download/50190/91863>> Acesso em 20 de maio de 2022.

Salini Impregilo (2016). *Sustainability Report 2016*. Salini Impregilo S.p.A., Milan, Italy. Disponível em: www.saliniimpregilo.com/static/upload/sus/sustainability-report-2016.pdf

Siverio Lima, M.S., Hajibabaei, M., Hesarkazzazi, S., Sitzenfrei, R., Buttgerit, A., Queiroz, C., Haritonovs, V., Gschösser, F. (2021). Determining the Environmental Potentials of Urban Pavements by Applying the Cradle-to-Cradle LCA Approach for a Road Network of a Midscale German City. *Sustainability*, 13, 12487.

Weidema, B., Goedkoop, M., Meijer, E., Harmens, R. (2020). *LCA-based Assessment of the Sustainable Development Goals - Development update and preliminary findings of the project "Linking the UN Sustainable Development Goals to Life Cycle Impact Frameworks"*. United Nations Environment Programme.

Williams, B.A., J.R. Willis, & Shacat, J. (2021). *Annual Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage: 2020, 11th Annual Survey (IS 138)*. National Asphalt Pavement Association, Greenbelt, Maryland. DOI:10.13140/RG.2.2.14846.46409

PRé Consultants (2019). *SimaPro Tutorial*; PRé Sustainability: LE Amersfoort, The Netherlands.

Xiaofeng, L., Siwei, L., & Yue, Y. (2021). *Analysis of The Impact of Highway Construction Related to Social and Environment*. L. Zhang, S. Defilla, & W. Chu, Orgs. E3S Web of Conferences, v. 233, p. 01113. DOI: 10.1051/e3sconf/202123301113.