

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE MISTURAS CIMENTÍCIAS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE BIOMASSA

REGO, Taynan Lima de Moraes¹;

LIMA, Nívea Karoline da Silva².

SEGUNDO, Marcelo Silva Santos³;

MORAES, Karoline Alves de Melo⁴.

¹ Graduado, UFAL, Maceió-AL (taynan_moraes@hotmail.com).

² Graduanda, UFAL, Maceió-AL (nivea.lima@ctec.ufal.br).

³ Graduando, UFAL, Maceió-AL (marcelo.segundo@ctec.ufal.br).

⁴ Doutora, UFAL, Maceió-AL (kamm@ctec.ufal.br).

Resumo. *Este trabalho é uma continuação dos trabalhos anteriores no grupo de pesquisa referentes à caracterização de resíduos de biomassa e de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de concretos. Os resíduos utilizados são Cinza da Casca do Coco e Cinza do Bagaço da Cana de Açúcar, pode-se constatar na composição química desses resíduos compostos compatíveis com produtos cerâmicos e cimentícios, podendo ser potencialmente utilizados em misturas cimentícias. O trabalho foi pensado considerando os problemas causados ao meio ambiente pelo descarte incorreto dos resíduos, visando reduzir também o consumo do cimento Portland obtendo redução do impacto ambiental causado pelas indústrias cimenteiras. Dessa forma, tem como intuito verificar os impactos ambientais das diferentes misturas atestando sua viabilidade. Foi utilizada a metodologia da ACV apoiada pelo software OpenLCA. As unidades escolhidas foram o m³ e o m³/MPa para as amostras de concreto e, para as argamassas, foram o kg e o kg/MPa. Os resultados indicam que quanto mais resíduo é utilizado na produção da mistura, menores serão os impactos associados. Ademais, foi possível perceber que o uso da Cinza do Bagaço da Cana de Açúcar nas misturas apresentou melhor desempenho ambiental, se comparado ao uso da Cinza da Casca do Coco.*

Palavras-chave: *Avaliação do Ciclo de Vida (ACV); Concreto Ecoeficiente; Resíduos de Biomassa.*

1 INTRODUÇÃO

Segundo GONZAGA (2019), o concreto contribui de forma significativa para os impactos ambientais causados pelo setor da construção civil, devido às emissões de gás carbônico na sua produção em larga escala. Ainda, de acordo com JACOBI (2011 apud SILVA, 2020), as emissões desse gás, considerado um dos mais influentes para o efeito estufa, chega a ser de 820 kg a 870 kg para cada tonelada de clínquer produzida. Assim, a procura por redução dos efeitos ambientais torna-se um tema bastante relevante, além de atual.

Uma das formas de diminuição no impacto ambiental causado pelo setor da construção civil está no aproveitamento de resíduos de outros setores como matéria-prima para a produção de misturas cimentícias, visando a redução do consumo de cimento. De acordo com Silva (2020), os materiais pozolânicos surgem como forma de reduzir a quantidade de cimento utilizada na indústria, além de ser uma forma de reaproveitar resíduos provenientes de outros setores.

Segundo PACÍFICO (2020), o Brasil é um dos maiores produtores agrícolas do mundo, o que implica também ser um dos maiores produtores de resíduos agroindustriais (resíduos de biomassa). Ainda de acordo com PACÍFICO (2020), os resíduos de biomassa podem ser incorporados às misturas cimentícias na forma de cinzas, por possuírem atividade pozolânica. Sendo assim, é conveniente, além de investigar a atividade pozolânica desses resíduos, quantificar o impacto ambiental positivo que causam na produção de misturas cimentícias.

Segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) (2015), a realização de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), metodologia preconizada pela NBR 14040 (ABNT, 2009), tem papel fundamental para o levantamento dos principais potenciais impactos ambientais causados por um produto. Nesse contexto, a ACV surge como instrumento de quantificação desses impactos causados pela produção/uso e destinação final do material de interesse, que dará uma noção, a nível global, do efeito ambiental das categorias de impacto analisadas.

Com esse artigo, objetiva-se analisar a redução de impacto ambiental causado pela adição de resíduos de biomassa como adições minerais para misturas cimentícias. Além de expor o resultado, também há como objetivo a difusão da realização de Avaliação de Ciclo de Vida, como forma de atestar se as soluções propostas para o reaproveitamento de resíduos na construção civil são, de fato, viáveis no que diz respeito à sustentabilidade.

2 METODOLOGIA

2.1 Revisão bibliográfica

Inicialmente, foram feitas pesquisas em artigos, monografias e teses, a partir dos quais foi possível retirar dados de ACV utilizados como *Inputs* no *software* OpenLCA. Buscou-se os processos de beneficiamento aplicados às amostras de resíduos, como também dados relativos à dosagem e seus resultados em ensaios de resistência à compressão.

2.2 Construção de inventário para a realização da ACV

Os dados referentes à cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) foram obtidos através do trabalho de PACÍFICO (2020), cujo material foi coletado na usina Porto Rico, Campo Alegre-AL e utilizado como substituto da areia nas misturas cimentícias. Os dados de MARAFON *et al.* (2019) foram usados para os estudos referentes à cinza da casca do coco

(CCC), a qual foi coletada em São Miguel dos Milagres-AL e utilizada como substituto do cimento para produção das misturas cimentícias.

Segundo FAZZAN (2017), para a obtenção de 1 kg de CBCA são consumidos, em autocombustão, cerca de 35,3 kg de bagaço da cana *in natura*. De acordo com MARAFON *et al.* (2019), para 1 kg de CCC consome-se cerca de 12,2 kg de casca de coco seca compactada.

Dentre os diversos processos pelos quais os resíduos passaram, vale destacar que FAZZAN (2017) utilizou-se de um moinho de bolas para moagem da cinza, cujo consumo de energia é de cerca de 10,1 kWh/t, conforme FERREIRA *et al.* (2016). Já no trabalho de SOUTO (2010) o resíduo passou por uma secagem em estufa, o que implicou em um consumo energético de 38,4 kWh ao longo das 24 horas de secagem.

Quanto ao gasto energético, considerou-se os valores apresentados por MARCEAU *et al.* (2007) referentes aos estudos para a produção de 1 m³ de concreto, obtendo-se um consumo de 4,11 kWh/m³ de concreto.

Para o agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (brita), foram utilizados os dados de GONZAGA (2019), onde a areia foi proveniente de dragagem do Rio Mundaú e a brita proveniente de rochas graníticas de Rio Largo-AL.

2.3 Escolha do software para Avaliação de Ciclo de Vida

Para a realização de toda e qualquer ACV faz-se necessária a escolha de um programa computacional que a possibilite. Nesse contexto, fez-se uso do OpenLCA, devido a seu caráter de código aberto, que facilita o trabalho de iniciativa científica. Além disso, o *software* é compatível com uma gama abrangente de bases de dados, que colabora com a escolha da que mais se adequa ao objeto analisado.

A Avaliação foi baseada na NBR 14040 (ABNT, 2009) e sua metodologia para realizar a ACV de misturas cimentícias contendo resíduos de biomassa. O método de avaliação de impactos de ciclo de vida (AICV) levou em consideração as características regionais do Brasil, com o intuito de aproximar ao máximo a análise à situação de produção das misturas na UFAL.

2.3 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A análise inicia-se através da criação do Inventário de Ciclo de Vida (ICV), que consiste na seleção de dados, a partir da literatura, referentes aos traços e ensaios de resistência de misturas contendo resíduos de Cinzas da Casca de Coco (CCC) e Cinzas do Bagaço de Cana de Açúcar (CBCA). Além disso, identificando os processos de beneficiamento aplicados e sua devida quantificação.

Então, o estudo seguiu para a utilização do software OpenLCA, no qual foi realizada a criação dos fluxos de processo de cada insumo necessário às misturas. Os dados foram devidamente ajustados à situação hipotética da realização das misturas na UFAL e às unidades de medida do software, considerando a forma de coleta dos materiais, transporte, tratamento e gastos de energia.

Uma vez que o fluxo de processo é criado no software, é possível editar sua composição, de maneira que os sistemas de produtos sejam compostos por fluxos de processos

representativos, no intuito de quantificar os impactos da maneira mais precisa possível. Dessa forma, os diferentes tipos de cimento foram compostos considerando-se o percentual de adição apresentado na NBR 16697 (ABNT, 2018).

As ACVs foram realizadas de acordo com o método de avaliação de impacto CML baseline, considerando as mesmas categorias de impacto de GONZAGA (2019).

3 RESULTADOS

Os resultados foram exportados para o excel e foram montadas tabelas dos impactos por kg de argamassa, conforme indicado na Tabela 1, e por m³ de concreto, como indicado na Tabela 2.

Impact category	Reference unit	Argamassas (Kg)					
		Result			Result		
		CBC 15%	CBC 30%	CBC 50%	CBCA 1m	CBCA 11m	CCC m
Abiotic depletion	kg Sb eq	6,53263E-09	6,51455E-09	6,49045E-09	3,63098E-09	3,63098E-09	3,63098E-09
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	0	0	0	0	0	0
Acidification	kg SO ₂ eq	0,585805392	0,584177561	0,582007119	0,325589945	0,325589945	0,325589945
Eutrophication	kg PO ₄ --- eq	0,059461258	0,059294265	0,059071608	0,033044818	0,033044818	0,033044818
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	0,156030207	0,155615588	0,155062762	0,086760979	0,086760979	0,086760979
Global warming (GWP100a)	kg CO ₂ eq	96,34656504	96,04105633	95,63371137	53,47043164	53,47043164	53,47043164
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	9,146340803	9,121929291	9,089380608	5,08562198	5,08562198	5,08562198
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	12519,60882	12484,13155	12436,82854	6956,947735	6956,947735	6956,947735
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	6,28596E-06	6,26708E-06	6,24189E-06	3,49077E-06	3,49077E-06	3,49077E-06
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	-0,031857866	-0,03178942	-0,03169816	-0,017748484	-0,017748484	-0,017748484
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,043178903	0,043013242	0,04279236	0,023903427	0,023903427	0,023903427

Tabela 1: Impactos referentes à produção de 1kg de argamassa contendo resíduo. Fonte: Autores (2021).

Impact category	Reference unit	CONCRETOS (m ³)										
		Result										
		CB 5%	CB 10%	CB 15%	CB 20%	CB 25%	CB 30%	CCC 10%	CCC 15%	CCC 20%	CCC 25%	CCC 30%
Abiotic depletion	kg Sb eq	9,17763E-06	8,95366E-06	8,72968E-06	8,50571E-06	8,28173E-06	8,05775E-06	9,88253E-06	9,87877E-06	9,875E-06	9,87123E-06	9,86746E-06
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acidification	kg SO ₂ eq	822,9574306	802,8739607	782,7904908	762,7070209	742,623551	722,5400811	886,1592054	885,8199311	885,4806567	885,1413824	884,8021081
Eutrophication	kg PO ₄ --- eq	83,52474041	81,48654712	79,44835383	77,41016054	75,37196725	73,33377396	89,93805171	89,90324691	89,8684421	89,83363729	89,79883249
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	219,2683971	213,9153911	208,562385	203,2093789	197,8563729	192,5033668	236,1216566	236,0352412	235,9488258	235,8624105	235,7759951
Global warming (GWP100a)	kg CO ₂ eq	135204,0491	131908,4072	128612,7654	125317,1236	122021,4817	118725,8399	145560,0815	145496,407	145432,7326	145369,0581	145305,3837
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	12852,71565	12538,94868	12225,18172	11911,41475	11597,64779	11283,88082	13840,5191	13835,43123	13830,34336	13825,25548	13820,16761
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	17585288,98	17156208,51	16727128,05	16298047,58	15868967,12	15439886,66	18935347,14	18927952,93	18920558,72	18913164,51	18905770,3
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,008825644	0,008610419	0,008395194	0,008179969	0,007964745	0,00774952	0,009502404	0,009498467	0,009494531	0,009490595	0,009486658
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	-44,83020377	-43,7340407	-42,63787762	-41,54171454	-40,44555147	-39,34938839	-48,28771032	-48,27344456	-48,2591788	-48,24491304	-48,23064729
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	60,48202845	59,01071935	57,53941026	56,06810116	54,59679206	53,12548297	65,09386514	65,05933783	65,02481052	64,99028321	64,9557559

Tabela 2: Impactos referentes à produção de 1 m³ de concreto contendo resíduo. Fonte: Autores (2021).

Os resultados indicam que quanto mais resíduo é utilizado na produção da mistura, menores serão os impactos ambientais associados. É válido observar que as misturas de concreto o uso da CBCA apresentam valores de impacto inferiores, quando não praticamente iguais, aos das misturas com CCC, enquanto nas argamassas ocorre o oposto. Estes resultados transformaram-se em dados indicadores sobre desempenho das misturas, e estão compilados nas Tabelas 3 e 4.

Impact category	Reference unit	Argamassas (Kg/MPa)					
		Result					
		CBC 15%	CBC 30%	CBC 50%	CBCA 1m	CBCA 11m	CCC m
Abiotic depletion	kg Sb eq	1,34972E-10	1,37438E-10	1,7782E-10	1,82829E-10	2,29955E-10	3,77834E-10
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	0	0	0	0	0	0
Acidification	kg SO ₂ eq	0,012103417	0,012324421	0,015945401	0,016394257	0,020620009	0,033880327
Eutrophication	kg PO ₄ --- eq	0,001228538	0,001250934	0,0016184	0,001663888	0,002092769	0,003438587
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	0,003223765	0,003283029	0,004248295	0,004368629	0,005494679	0,009028198
Global warming (GWP100a)	kg CO ₂ eq	1,990631509	2,026182623	2,620101681	2,692368159	3,386347792	5,564040753
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	0,188973984	0,192445766	0,249024126	0,256073614	0,322078656	0,529201039
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	258,6696037	263,3783028	340,7350284	350,2994831	440,5920035	723,9279641
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1,29875E-07	1,32217E-07	1,71011E-07	1,75769E-07	2,21075E-07	3,63243E-07
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	-0,00065822	-0,000670663	-0,00086844	-0,00089368	-0,001124033	-0,001846877
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,000892126	0,000907452	0,001172393	0,001203597	0,001513833	0,002487349

Tabela 3: Impactos em kg/MPa de argamassas contendo resíduos. Fonte: Autores (2021).

Impact category	Reference unit	CONCRETOS (m ³ /MPa)										
		Result										
		CB 5%	CB 10%	CB 15%	CB 20%	CB 25%	CB 30%	CCC 10%	CCC 15%	CCC 20%	CCC 25%	CCC 30%
Abiotic depletion	kg Sb eq	2,44151E-07	2,25704E-07	2,18461E-07	2,17259E-07	2,52877E-07	2,58759E-07	3,10967E-07	4,25259E-07	4,99242E-07	5,92155E-07	7,52667E-07
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acidification	kg SO ₂ eq	21,89298831	20,23881928	19,58995162	19,48166081	22,67552827	23,202957	27,8841789	38,1325842	44,76646394	53,09786337	67,49062609
Eutrophication	kg PO ₄ --- eq	2,221993626	2,054110086	1,988197043	1,977271023	2,301434114	2,354970262	2,830020507	3,870135467	4,5433995	5,38894045	6,849643973
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	5,833157679	5,392371845	5,219278904	5,190533306	6,041415965	6,181867913	7,429882209	10,16079385	11,92865651	14,14891484	17,98443898
Global warming (GWP100a)	kg CO ₂ eq	3596,808967	3325,142607	3218,537673	3200,948239	3725,84677	3812,647395	4580,241708	6263,297763	7352,514286	8720,399408	11083,55329
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	341,9184796	316,0813886	305,9354784	304,2506961	354,1266499	362,3596924	435,5103556	595,5846418	699,2084608	829,349459	1054,169917
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	467818,2756	432473,1161	418596,798	416297,5117	484548,6143	495821,6652	595825,9012	814806,4111	956549,9859	1134562,958	1442087,743
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,000234787	0,000217051	0,00021009	0,000208939	0,000243198	0,000248861	0,000299006	0,000408888	0,000480007	0,000569322	0,00072362
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq	-1,192609837	-1,102446199	-1,067013954	-1,061091048	-1,234978671	-1,2636284	-1,519437077	-2,078064768	-2,439796704	-2,894115959	-3,678920464
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1,60899251	1,48754019	1,439925182	1,432135406	1,66707762	1,706020648	2,048265108	2,80066026	3,287401948	3,898637265	4,954672456

Tabela 4: Impactos em m³/MPa de concretos contendo resíduos. Fonte: Autores (2021).

Por meio destes resultados notou-se que, nas argamassas, o uso da CCC na mistura implicou em maiores impactos ambientais. Isso se deve ao fato de que tal mistura apresentou um menor desempenho mecânico, em decorrência do cimento ser o maior responsável por conferir tal desempenho na argamassa.

Para o concreto, percebe-se que foi agravada a relação entre o uso da CBCA e da CCC, visto que a primeira apresentou impactos ainda menores do que a segunda. Isto se explica pelo fato de que a primeira foi utilizada como substituição parcial da areia, o que não prejudicou fortemente o seu desempenho mecânico, enquanto a segunda foi utilizada como substituição parcial do cimento e apresentou um desempenho da mistura bastante prejudicado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante o exposto, conclui-se que há grande potencial na redução dos impactos ambientais gerados pela indústria da construção civil com o uso de resíduos de biomassa em misturas cimentícias.

Percebeu-se, pelas comparações feitas, que o uso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) nas misturas apresentou melhor desempenho ambiental em kg/MPa e m³/MPa, se comparado ao uso da cinza da casca do coco (CCC). Além de que, conforme os resultados de desempenho mecânico, a CBCA se apresenta como um resíduo mais eficiente do que a CCC.

Contudo, menores desempenhos mecânicos não descartam o uso das misturas, visto que há diversas aplicações para misturas de menores resistências. Salienta-se ainda que os resíduos são produtos de baixo valor agregado, pois são rejeitos de outras linhas de produção, e sua utilização, seja como substituto da areia ou do cimento, implicam na redução de custos

com material e do consumo de matéria prima bruta, podendo representar grande economia quando se trata de grandes volumes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040: **GESTÃO AMBIENTAL – AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA – PRINCÍPIOS E ESTRUTURA**. RIO DE JANEIRO: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: **CIMENTO PORTLAND – REQUISITOS**. RIO DE JANEIRO, 2018.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (BRASIL). **PROJETO AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA MODULAR DE BLOCOS E PISOS DE CONCRETO**. 2015.

FAZZAN, JOÃO VICTOR. **AVALIAÇÃO DA REATIVIDADE DA CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DEAÇÚCAR EM CONCRETOS POR MEIO DO FATOR k DE EFICÁCIA CIMENTANTE**. 2017.

GONZAGA, NATHÁLIA LINS. **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS LEVES COM E SEM AGREGADOS RECICLADOS**. 2019. TCC (GRADUAÇÃO) - CURSO DE ENGENHARIA CIVIL, CENTRO DE TECNOLOGIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, MACEIÓ, 2019.

PACÍFICO, FLÁVIA FABIANA MARTINS. **CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL POZOLÂNICO A PARTIR DO RESÍDUO DE BIOMASSA PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2020. 64 F. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) - CURSO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO, RECIFE, 2020.

SOUTO, J. M. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COMO FILLER NA PRODUÇÃO DE CONCRETOS**. 2010. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA URBANA) UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, MARINGÁ, 2010.

UTSEV, DR. J.T. ET AL. **COCONUT SHELL ASH AS PARTIAL REPLACEMENT OF ORDINARY PORTLAND CEMENT IN CONCRETE PRODUCTION**. 2012.