AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE PAREDES DE TAIPA DE PILÃO: COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS CONSTRUTIVOS TRADICIONAIS E CONTEMPORÂNEOS

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF RAMMED EARTH WALLS: A COMPARISON BETWEEN TRADITIONAL AND CONTEMPORARY CONSTRUCTION METHODS

Júlia Vieira Marques Zaroni [1]; Marcos Martinez Silvoso [2];

1Arquiteto e Urbanista | julia.zaroni@fau.ufrj.br | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil; [2]Doutor | silvoso@fau.ufrj,br | UFRJ | Rio de Janeiro, Brasil.

Resumo:
Considerando o significativo impacto ambiental do setor da construção civil, a utilização da terra como material construtivo tem sido redescoberta como uma alternativa sustentável para mitigar tais impactos. Este trabalho teve como objetivo avaliar três cenários de construção de uma parede de taipa de pilão, investigando a influência da mecanização, estabilização química e tipo de fôrma em seus potenciais impactos ambientais, como emissões de CO_2, consumo energético e ocupação do solo. O método de Avaliação do Ciclo de Vida foi aplicado através do software SimaPro v.9.1, do método IMPACTWorld+ e da base de dados Ecoinvent, considerando as etapas de extração e processamento da matéria prima e o processo construtivo. Os cenários compararam extração/compactação manual, mecanização, utilizando eletricidade e combustível, e estabilização com 5% de cimento Portland. Os resultados indicam que a adição do cimento à mistura aumenta significativamente os impactos ambientais do sistema, enquanto o uso de compactadores elétricos não teve grande alteração nos valores. Pode-se concluir que a sustentabilidade da técnica está intrinsecamente ligada às decisões de processos e materiais, destacando o papel crucial do projetista na concretização dos objetivos do desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave:
Taipa de pilão; Mecanização; Estabilização; Impactos ambientais; Avaliação do Ciclo de Vida.

Abstract:
Considering the significant environmental impact of the construction sector, the use of earth as a building material has been rediscovered as a sustainable alternative to mitigate such impacts. This study aimed to evaluate three construction scenarios of a rammed earth wall, investigating how mechanization, chemical stabilization, and formwork type influence its potential environmental impacts, such as CO_2 emissions, energy consumption, and land use. The Life Cycle Assessment (LCA) method was applied using the SimaPro v.9.1 software, the IMPACTWorld+ method, and the Ecoinvent database, considering the stages of raw material extraction and processing, as well as the construction process. The scenarios compared manual extraction/compaction, mechanized processes using electricity and fuel, and stabilization with 5% Portland cement. The results indicate that adding cement to the mixture significantly increases the environmental impacts of the system, while the use of electric compactors showed little change in the impact values. It can be concluded that the sustainability of the technique is intrinsically linked to decisions regarding processes and materials, highlighting the crucial role of the designer in achieving sustainable development goals.

Keywords:
Rammed earth; Mechanisation; Stabilization; Environmental impacts; Life Cycle Assessment.

1. INTRODUÇÃO

Apesar do setor da construção civil desempenhar papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico das cidades, promovendo a infraestrutura necessária para o crescimento urbano, suas atividades provocam impactos ambientais significativos. Segundo o Relatório de Status Global para Edificações e Construção (UNEP,2025) a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) foi responsável por 34% do consumo de energia mundial e 34% das emissões globais de dióxido de carbono no ano de 2023. Apesar de avanços pontuais, como o crescimento da certificação verde e o aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética do setor, o progresso permanece insuficiente e fragmentado, com um aumento acumulado de emissões de 5% desde 2015, distanciando o setor da meta de redução de 28% até 2030 estabelecida pelo Acordo de Paris. Diante deste cenário, a busca por alternativas mais sustentáveis torna-se não apenas relevante, mas urgente.

Os impactos do setor de uma edificação no meio ambiente estão relacionados a todo seu processo produtivo, denominado ciclo de vida. Este compreende desde a escolha da matéria-prima, técnica, transporte, projeto, manutenção e fim de vida, fase em que ocorre o descarte do material após a demolição. Desse modo, torna-se essencial avaliar o desempenho ambiental dos sistemas construtivos, a fim de comprovar se determinada solução apresenta, de fato, vantagens ambientais (Caldas, Lira e Sposto, 2017). Portanto, deve-se compreender e quantificar os potenciais impactos gerados em cada uma dessas etapas a fim de auxiliar os profissionais da área de Arquitetura e Engenharia na tomada de decisão. A metodologia capaz de mensurar os eventuais impactos é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Segundo Caldas, Lira e Sposto (2017), a ACV é uma das metodologias mais utilizadas internacionalmente para a avaliação de impactos ambientais, sendo aplicável a qualquer atividade, processo ou produto, inclusive no setor da construção civil.

Recuperar práticas construtivas vernáculas, que utilizam materiais locais e abundantes como o solo, a madeira e o bambu, mostra-se como um caminho viável para a mitigação dos impactos ambientais e o fomento da sustentabilidade em suas diversas dimensões: ambiental, econômica, social e cultural. A arquitetura com terra, portanto, revela-se uma alternativa promissora, pois o material é natural e farto, de baixo consumo de energia, diminutas emissões de CO_2, atóxico e reciclável (Minke, 2022). Além de ter seu uso aplicado a tecnologias apropriadas, ou seja, utiliza ferramentas e equipamentos simples e pode ser facilmente transferida para populações de pouca ou nula instrução. Em âmbito nacional, a terra desempenhou um papel significativo no desenvolvimento das cidades, tornando-se um fator de herança popular e conhecimento local, e sendo reconhecida, por muitos estudiosos e arquitetos como “patrimônio material e imaterial” (Mascarenhas, 2022), sendo os mais utilizados a taipa de pilão, o adobe, os blocos de terra comprimida (BTC) e o pau-a-pique.

Este estudo aplica a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) a de três cenários de construção de paredes de taipa de pilão, variando o tipo de fôrma, o método de extração e compactação (manual ou mecanizado) e a estabilização do solo (com ou sem cimento). O objetivo é quantificar seus impactos ambientais, identificar limitações processuais e analisar a relação entre as escolhas construtivas e os impactos gerados, demonstrando que a sustentabilidade na construção com terra depende das decisões em cada etapa do projeto. Para tanto, foi estabelecido o sequenciamento dos processos construtivos, identificando a tecnologia e os materiais empregados, por meio da elaboração de fluxogramas baseados no modelo do Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC). A modelagem foi realizada no software SimaPro v.9.1, utilizando a base de dados Ecoinvent e o método IMPACTWorld+. Os impactos foram quantificados em categorias como mudanças climáticas, uso de energia fóssil e nuclear e ocupação do solo. A relevância deste trabalho reside na necessidade de fornecer dados técnicos e científicos que auxiliem os profissionais da AEC na tomada de decisões conscientes e sustentáveis. Ao quantificar os impactos ambientais da construção em taipa de pilão, este estudo contribui para a disseminação de informações que podem orientar a escolha de materiais e processos construtivos, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU e valorizando o patrimônio cultural brasileiro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A utilização da terra como material construtivo pode ser verificada desde os primórdios da humanidade, remontando ao Mesolítico, quando era usada para revestir abrigos (Houben e Guillaud, 1985). Apesar das variações regionais, o conhecimento construtivo com terra se disseminou através de migrações e trocas culturais, mantendo-se como parte integrante da arquitetura tradicional em todos os continentes. Este foi o material mais importante no âmbito construtivo ao longo de quatro quintos da história do nosso país, entretanto foi perdendo força com o aparecimento de técnicas industrializadas. Os arautos do processo de industrialização tentam desqualificar o uso da terra na construção civil, porém são os impactos ambientais gerados por este processo que tornam quase necessário o resgate das técnicas vernaculares, uma vez que estas se mostram mais viáveis para um mundo ecologicamente equilibrado (Weimer, 2005). Praticada há séculos, a taipa de pilão é um sistema construtivo de paredes monolíticas no qual a terra é compactada entre fôrmas. Historicamente essa técnica foi utilizada em construções militares e ecumênicas como meio de proteção devido à sua robustez. Chegou ao Brasil com os portugueses e teve a prática difundida com as missões bandeirantistas em São Paulo e de exploração de pedras preciosas em Minas Gerais. A ampla disseminação geográfica e temporal da taipa proporcionou uma vasta gama de técnicas e materiais empregados no sistema, resultando uma diversidade tipológica que dificulta o estabelecimento de terminologias de maneira precisa (Mileto, Vegas e Lópezza, 2011). Porém, segundo Heise (2004) o processo de produção básico de um elemento estrutural monolítico de terra pode ser dividido em seis etapas, duas fora do canteiro de obras, que são a definição da localização da jazida e o projeto do canteiro, e quatro dentro do canteiro, sendo elas a preparação da mistura, a preparação e montagem das fôrmas, a compactação e a desforma. Sua prática evoluiu significativamente ao longo do tempo, incorporando diferentes sistemas e materiais de fôrmas (taipais) para a construção de paredes e mecanizando os processos de extração, preparo e compactação do solo. Minke (2022), defende que essas atualizações fazem da taipa uma alternativa interessante para países industrializados, sendo viável economicamente e ecologicamente, se comparado à construção de alvenarias comuns. Será chamado de taipa tradicional o método que faz uso de fôrmas de madeira e soquetes para compactação manual e de taipa contemporânea o método utiliza fôrmas metálicas e compactação mecânica. No Brasil a taipa de pilão é normatizada pela NBR 17014:2022 - Taipa de pilão – Requisitos, procedimentos e controle. Esta norma define os requisitos mínimos a serem cumpridos para que construções em taipa de pilão tenham qualidade garantida.

Contudo, embora o material apresente qualidades ambientais inegáveis, o perfil de impacto de sistemas construtivos como a taipa pode variar consideravelmente devido a fatores como estabilização química e mecanização. A decisão sobre a origem do solo, compreendendo a necessidade de transporte ou correção, sobre o método de compactação e o material das fôrmas são cruciais para o desempenho técnico e ambiental da edificação. Nesse contexto, a ACV, definida como a “compilação e avaliação das entradas (inputs), saídas (outputs) e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” pela norma NBR 14040 (ABNT, 2014), surge como uma ferramenta útil para projetistas e gestores na hora de tomar decisões com o intuito de melhorar o desempenho ambiental de seus serviços e produtos, identificando a origem de possíveis problemas permitindo a otimização de recursos e gerenciamento de resíduos. Segundo Carvalho e Silvoso (2022), apesar da importância das construções com terra no âmbito da sustentabilidade, observa-se uma lacuna na literatura uma vez que a produção científica acerca do estudo e aplicação da ACV na arquitetura com terra ainda são escassos e relativamente recentes, se comparados às pesquisas sobre materiais convencionais, como o concreto. De maneira geral, o estudo da ACV contribuiu significativamente para a compreensão de que as técnicas construtivas com terra desempenham papel crucial no desenvolvimento sustentável e na busca por alternativas de menor impacto ambiental, pois apresentaram desempenho ambiental superior quando comparado com técnicas tradicionais (Carvalho e Silvoso, 2022). No entanto, as principais questões identificadas pelos autores na literatura foram a respeito do custo energético referente ao transporte, verificando que o uso da terra local é um caminho vantajoso; a incorporação de estabilizantes químicos para melhora do desempenho mecânico, o que aumentam o impacto ambiental dos sistemas; e a mecanização dos processos, que aumenta a energia incorporada nos sistemas.

Ben-Alon (2019) destaca que a maioria dos estudos de ACV com materiais naturais se limita a análise de inventário, o que representa um primeiro passo importante, mas ainda insuficiente para comparações mais abrangentes. Ademais, as análises usam dados muito específicos de local, material e processo, dificultando a comparação direta e a extração de recomendações universais para o setor da construção. Essa escassez de dados ressalta a importância de estudos que buscam fornecer informações mais robustas e precisas sobre os impactos ambientais associados à taipa de pilão, contribuindo para o avanço do conhecimento na área. Estudos acerca do desempenho ambiental de técnicas construtivas com terra reforçam o potencial ambiental dos sistemas construtivos naturais quando confrontadas às soluções em concreto e alvenaria. Ben-Alon (2019) avaliou três sistemas construtivos naturais — taipa de pilão, cob e palha leve — que demonstraram reduções expressivas nos impactos incorporados, como uma diminuição no consumo energético, no potencial de aquecimento global, e na emissão de poluentes particulados, em comparação com paredes convencionais. No entanto, fatores como a estabilização química e a mecanização dos processos construtivos podem alterar significativamente esse perfil de impacto.

Dados obtidos por Caldas, Martins e Toledo Filho (2021) ao comparar diferentes teores de cimento Portland indicam que a estabilização química é o principal fator de impacto ambiental nas paredes de taipa de pilão, especialmente na categoria de mudanças climáticas. O estudo de Milani e Iunes (2023), que avaliou paredes com e sem adição de cimento e diferentes métodos de compactação, corrobora com o discurso de que a etapa de transporte é a mais prejudicial do ciclo de vida e uso de cimento como estabilizante, apesar de otimizar o consumo de solo, sua adição aumentou os indicadores ambientais. Outro ponto relevante diz respeito ao uso de fôrmas, que também têm participação significativa no ciclo de vida do sistema. No caso da taipa de pilão tradicional, são utilizadas fôrmas inteiramente em madeira, travadas por agulhas metálicas que atravessam a parede. Esse método pode deixar marcas visuais conhecidas como cabodás e exige maior cuidado para garantir o alinhamento e o nivelamento das camadas. Já no sistema contemporâneo, o modelo de fôrmas evoluiu significativamente, incorporando materiais mais resistentes e tecnologias que aumentam a precisão construtiva. Sistemas de painéis laterais em compensado estruturados por travamentos metálicos, por exemplo, evitam deformações durante a compactação e permitem a construção de paredes inteiras sem a necessidade de remontar a forma a cada secção. Portanto o desenho de projeto que maximize a reutilização das fôrmas é um caminho viável para redução dos impactos relacionados a este material. A mecanização dos processos de escavação, preparação e compactação do solo, por sua vez, apesar de representar um avanço importante nas versões contemporâneas da técnica pode levar ao aumento do consumo energético e das emissões de CO_2. O uso de soquetes pneumáticos ou elétricos reduz o tempo de execução, melhora o adensamento do solo e diminui o custo com mão de obra.

3. MÉTODOS

Diante do exposto, o objetivo desta análise é quantificar os potenciais impactos ambientais resultantes da utilização de diferentes tipos de fôrma, da mecanização dos processos construtivos e da estabilização química do solo na construção de paredes de taipa de pilão, através da Avaliação do Ciclo de Vida. O levantamento e organização dos dados irá seguir os processos descrito na metodologia SIDAC, que foi baseada na NBR 14040 (ABNT, 2014): Definição do objetivo e escopo - apresentação dos dados do produto e do fluxograma do processo elementar, definição das fronteiras do sistema e cenários de produção; Coleta de dados de inventário - descrição do inventário dos dados de entrada associado ao estudo; Quantificação dos impactos ambientais; e Interpretação dos resultados.

3.1. DEFINIÇÃO DO ESCOPO

De modo a comprovar que a utilização da terra como material construtivo não é por si só suficiente para classificar a construção como sustentável, cada uma das decisões tomadas nas diferentes etapas projetuais são essenciais para a possibilidade ou não de mitigar os impactos ambientais de uma construção. Neste trabalho foram analisados diferentes cenários para a construção de paredes

de taipa de pilão. A fim de estabelecer uma referência à qual as entradas e saídas da ACV se relacionam, foi definido como unidade funcional do estudo1m² de área de parede, considerando a espessura (E) igual a 35 cm. Para melhor compreensão dos produtos a serem avaliados foram modeladas as paredes de taipa de pilão no Revit 2024, software do qual foram retirados quantitativos de material utilizado, em volume, baseado nos materiais atribuídos no modelo. Na Figura 1 estão representadas as paredes de taipa de pilão, à direita são as configurações referentes à taipa tradicional, com fôrma de madeira, e à esquerda são as configurações referentes à taipa contemporânea, com fôrma em madeirite e treliças metálicas. Na imagem a cota referenciada com H é relativa à altura do volume de terra enquanto HF é relativa altura da fôrma necessária para construir esta seção de parede, e a cota L refere-se à largura da parede de terra enquanto LF refere-se à largura das tábuas de madeira ou madeirite que compõe a fôrma.

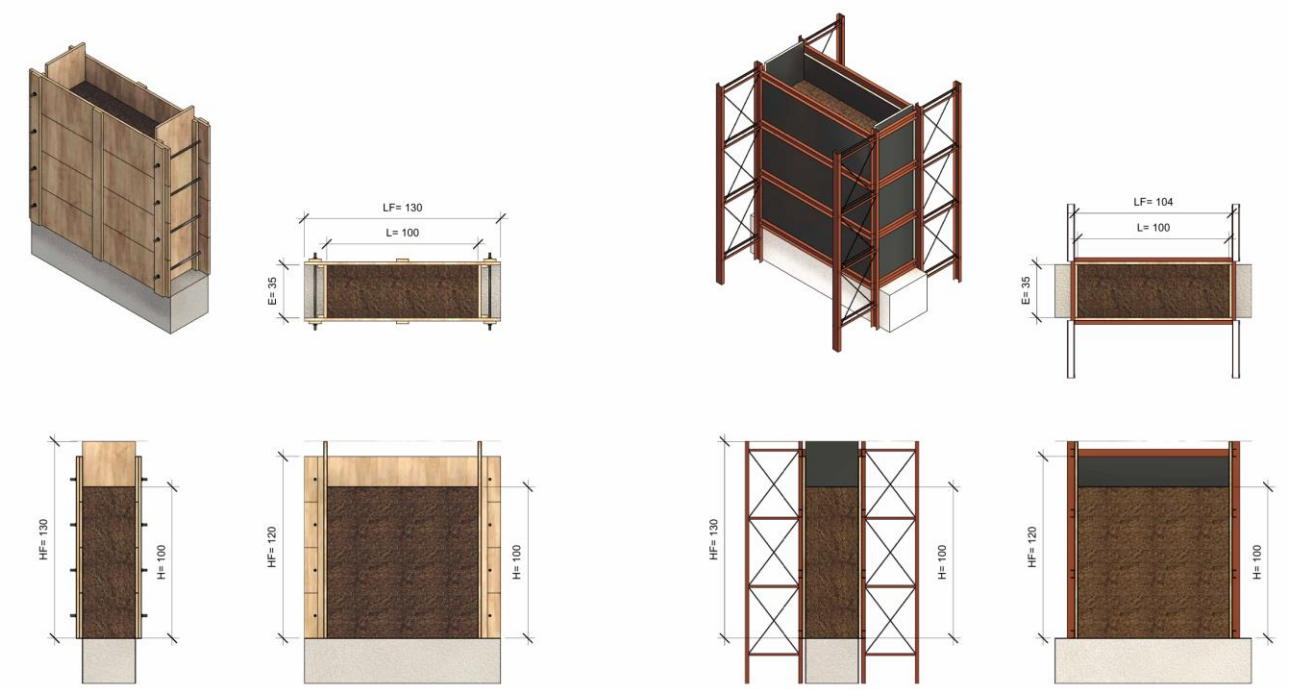


Figura 1: Modelo 3D das paredes de Taipa a serem avaliados.
Fonte: os autores (2024).

De acordo com a NBR 14040, as fronteiras do sistema são o conjunto de critérios que especificam quais processos elementares fazem parte de um sistema de produto (ABNT, 2014). Foi estabelecido como fronteira deste estudo “berço ao portão”, englobando a etapa pré-operacional da edificação: (A1) extração de matéria-prima, (A3) processamento e (A5) construção. Neste estudo as etapas de transporte (A2 e A4) foram desconsideradas, compreendendo que a terra será escavada in loco. Foram avaliados, segundo fronteiras de sistema estabelecidas, alguns cenários diferentes para construção de paredes de taipa de pilão descritos a seguir:

a) Cenário 1: Reproduz as condições necessárias para produção de 1m² de parede de taipa de pilão segundo processos realizados para a Taipa Tradicional. Neste caso todas as etapas são realizadas manualmente e as fôrmas são compostas por tábuas de madeira com travamentos por barras rosqueadas;
b) Cenário 2a: Reproduz as condições necessárias para produção de 1m² de parede de taipa de pilão segundo processos realizados para a Taipa Contemporânea. Considerando a mecanização de todas as etapas e fôrmas compostas por painéis de madeira compensada plastificada (madeirite) e estrutura externa metálica;
c) Cenário 2b: Possui as mesmas características do cenário 2a, mas neste caso foi adicionado 5% de Cimento Portland à mistura do solo.

A partir do sequenciamento de processos estabelecido através da revisão bibliográfica, foram desenvolvidos fluxogramas que indiquem os processos elementares encadeados conformando o

ciclo de vida de produção de uma parede de taipa, fundamentado no modelo do SIDAC. A Figura 2 apresenta os processos elementares para a execução de 1m² de parede de taipa segundo definições dos cenários.

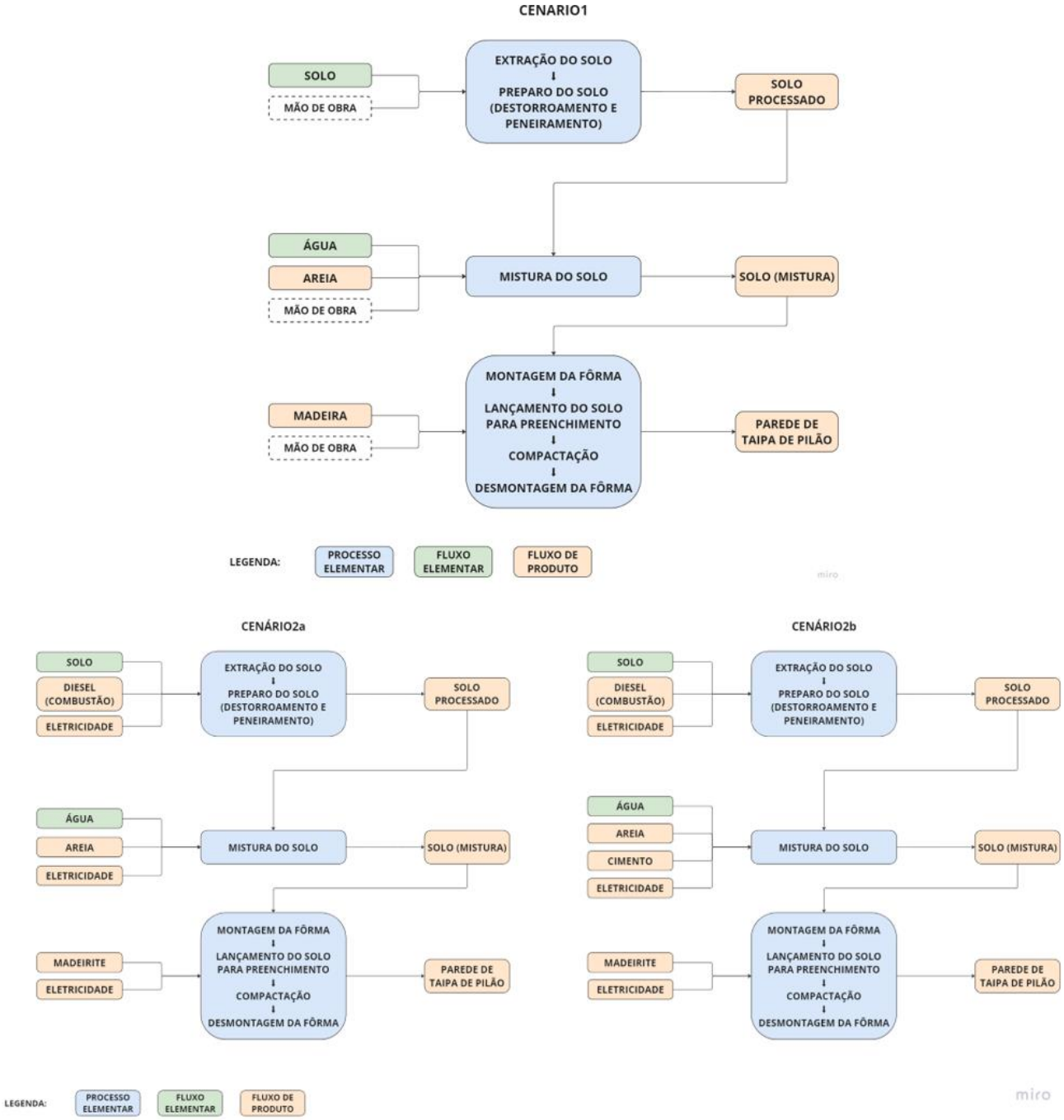


Figura 2: Fluxograma de processos elementares.
Fonte: os autores (2024).

3.2. COLETA DE DADOS DE INVENTÁRIO E QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS

A análise de inventário, segundo a Norma Brasileira, engloba a coleta de dados e procedimentos de cálculo de quantificação das entradas e saídas relevantes do sistema de produto estudado. Estes dados podem ser referentes às entradas de energia e matéria-prima, produtos, resíduos, emissões atmosféricas e descargas para água e solo. Nesta seção serão apresentadas as considerações de cálculo para cada um dos fluxos elementares e fluxos de produto que compõem os processos elementares para produção de 1m² de parede de taipa de pilão e terra ensacada, ambas com 35cm de espessura.

Segundo a NBR 17014 (ABNT, 2022), o valor da massa específica seca é o valor do peso específico da taipa a ser considerado no projeto, caso não haja o resultado do ensaio, pode ser considerado o valor na faixa de 1750 kg/m³ a 2200 kg/m³. O valor adotado para a massa específica será a média desses dois valores, equivalente a 1975 kg/m³. Logo, para construir 1m² de parede de taipa de pilão, segundo características estabelecidas, é preciso de 0,35m³ de solo, equivalente a 691,25kg. O traço de argila e areia escolhido para compor as paredes foi baseado em dados de literatura. Para ambas as técnicas os solos mais indicados são os arenosos com baixa quantidade de silte, portanto foi adotada a proporção de 30% de argila e 70% de areia (Neves e Faria, 2011). A respeito dos taipais foram considerados dois tipos principais de vedação: a taipa tradicional, com estrutura de suporte e fechamento em tábuas de pinus, e a taipa contemporânea, com fechamento em painéis de madeirite plastificado. No Cenário 1 (taipa tradicional), segundo dados retirados da modelagem no Revit é preciso 0,096m³ de madeira pinus para cada metro quadrado de parede, enquanto nos cenários 2a e 2b o consumo de madeirite é de 0,068m³. Entretanto, para este estudo foi considerado que os taipais têm vida útil de 10 usos, logo deve-se dividir esse valor obtido pelo número de reutilizações. Vale ressaltar que a água adicionada ao processo será desconsiderada no inventário, mesmo procedimento realizado por Caldas *et al.* (2021), visto que nos seus resultados a contribuição deste insumo nos impactos ambientais avaliados foi inferior a 1%.

A escolha dos dados de modelagem é responsabilidade do usuário, portanto devem ser justificadas algumas escolhas quanto aos dados de modelagem utilizados. A Tabela 1 reúne os quantitativos dos materiais utilizados nos cenários 1, 2a e 2b, e seus respectivos dados selecionados na base Ecoinvent v.3.6, dentro do software SimaPro v.9.1. Foram priorizados dados compatíveis com a realidade brasileira, indicados pela sigla {BR}, porém na ausência destes, foram usados dados internacionais, indicados com as siglas {RoW} e {GO}. A respeito do solo, foi preciso fazer uma composição de argila e areia com as porcentagens adequadas para a técnica avaliada, 30% e 70% respectivamente, pois não há solo com esta especificação. Quanto ao Cimento Portland, a base de dados não distingue o mesmo quanto ao nível de escória, portanto não se pode precisar qual tipo de cimento está representado, o que pode causar alguma discrepância nos resultados. O cálculo de volume de madeira utilizado no cenário 1 foi feito a partir da madeira pinus, uma madeira conífera, portanto foi selecionado os dados referentes à *softwood* (madeira macia) em estado bruto, sem passar por processo de plaina ou acabamento adicional, seca, até atingir 10% de umidade.

Material	Unid.	Cenários taipa de pilão			Dado de modelagem
		1	2a	2b	
Argila	kg	207,375	207,375	207,375	*Clay {RoW}| market for clay | Cut-off, S*
Areia	kg	483,875	483,875	483,875	*Sand {BR}| market for sand | Cut-off, S*
Cimento Portland II	kg	-	-	36,38	*Cement, Portland {BR}| market for cement, Portland | Cut-off, S*
Madeira	m³	0,0096	-	-	*Sawnwood, board, softwood, raw, dried (u=10%) {RoW}| market for sawnwood, board, softwood, raw, dried (u=10%) | Cut-off, S*
Madeirite	m³	-	0,0068	0,0068	*Plywood {RoW}| market for plywood | Cut-off, S*
Eletricidade peneira	kW	-	0,123	0,123	*Electricity, low voltage {BR-South-eastern/Mid-western grid}| market for electricity, low voltage | Cut-off, S*
Eletricidade misturador	kW	-	0,9194	0,9194	
Eletricidade compactador	kW	-	3,75	3,75	
Diesel	kg	-	3,907	3,907	*Diesel {BR}| market for diesel | Cut-off, S*

Tabela 1: Quantitativo e Dados de inventários utilizados para os cenários taipa de pilão
Fonte: os autores (2025).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos impactos ambientais obtidos para os diferentes cenários modelados. Pode-se observar que o Cenário 2b, com apenas 5% de cimento, possui os maiores indicadores em dezesseis das dezoito categorias analisadas, sugerindo que a adição do estabilizante foi o agravante, ou seja, minimizar o uso cimento pode ser indicado como o caminho mais sustentável. É importante relembrar que o dado relativo ao cimento não indicava sua composição e nível de escória, o que pode ter gerado dados incompatíveis com a realidade. A Figura 3 resume os resultados normalizados a partir do maior valor, para melhor compreensão.

CATEGORIA DE IMPACTO	UNID	CENÁRIOS		
		1	2a	2b
Mudanças climáticas, curto prazo	kg CO_2 eq	9,398	16,862	48,364
Mudanças climáticas, longo prazo	kg CO_2 eq	9,197	16,077	47,113
Uso de energia fóssil e nuclear	MJ deprived	134,700	428,650	586,167
Uso de recursos minerais	kg deprived	127,010	127,095	129,624
Formação de oxidante fotoquímico	kg NMVOC eq	0,088	0,134	0,242
Destruição da camada de ozônio	kg CFC-11 eq	1,37E-06	2,55E-06	4,69E-06
Ecotoxicidade de água doce	CTUe	1,04E+05	1,91E+05	2,24E+05
Toxicidade humana cancerígena	CTUh	1,59E-06	2,00E-06	2,28E-06
Toxicidade humana não cancerígena	CTUh	1,38E-06	2,51E-06	3,27E-06
Acidificação de água doce	kg SO_2 eq	1,22E-07	2,16E-07	3,60E-07
Acidificação terrestre	kg SO_2 eq	1,05E-04	1,84E-04	3,09E-04
Eutrofização de água doce	kg PO4 eq	3,57E-04	5,61E-04	9,40E-04
Eutrofização marinha	kg N eq	1,64E-03	2,75E-03	4,80E-03
Formação de material particulado	kg PM2.5 eq	0,009	0,014	0,018
Radiação ionizante	Bq C-14 eq	63,342	220,019	293,214
Transformação de terras, biodiversidade	m2yr arable	0,056	0,040	0,046
Ocupação do solo, biodiversidade	m2yr arable	18,581	8,353	9,052
Escassez de água	m3 world eq	1,083	7,606	8,537

Tabela 2: Potenciais impactos ambientais
Fonte: os autores (2025).

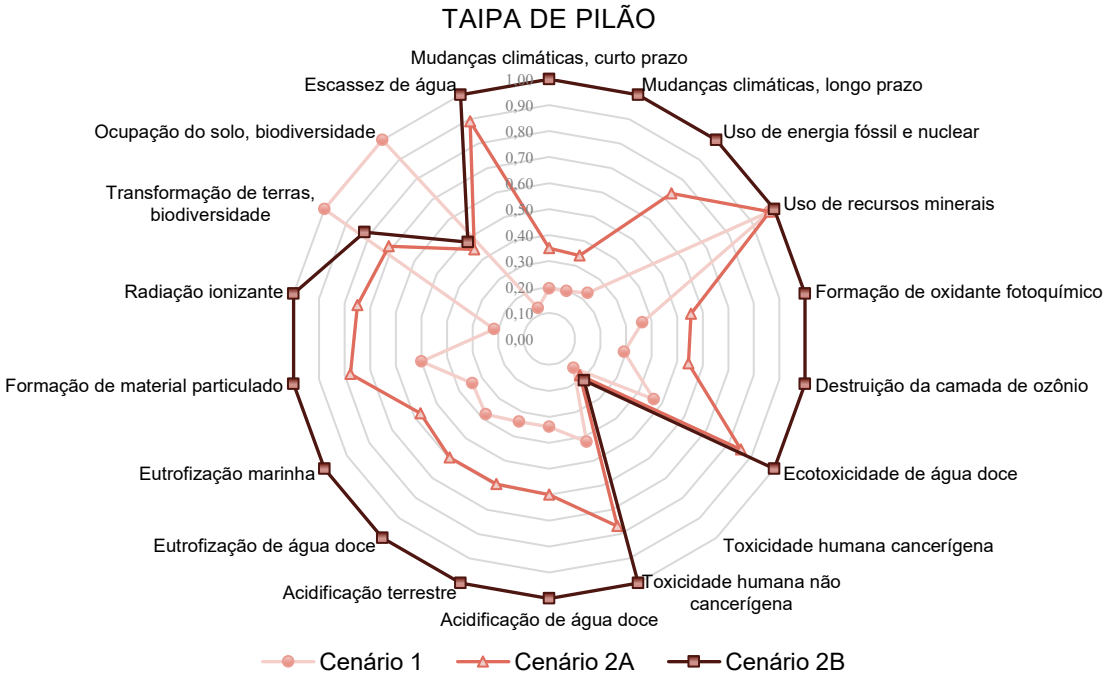


Figura 3: Impactos ambientais taipa de pilão.
Fonte: os autores (2025).

Na categoria de impacto “Uso de energia fóssil e nuclear” o cenário 2b é o mais impactante. O aumento dos indicadores decorre dos fluxos de produto relativos à mecanização do processo de extração, que demanda o consumo de diesel - um combustível fóssil. A progressão percentual de 218% do cenário 2a em relação ao 1 também está relacionado à troca das tábuas de madeira pelo compensado, visto seu processo de fabricação, que envolve uso intensivo de energia para colar as camadas de madeira. Já o aumento de 36% do 2b em relação ao 2a agravou-se pela adição do cimento à mistura. O consumo de energia embutida nos processos de peneiração, mistura e compactação não tiveram impactos tão significantes quanto o esperado. Assim, a implementação de compactadores elétricos ou pneumáticos, que assegurem maior energia de compactação pode ser eficaz para a redução do consumo de cimento para ganhos mecânicos.

Quanto à categoria de impacto “Escassez de água”, percebe-se claramente que os cenários 2b e 2a obtiveram valores elevados devido ao uso do compensado nas fôrmas. Isso ocorre pois é um material produzido industrialmente e seu processo de fabricação demanda uso de água, elevando os índices desta categoria. Em relação à categoria “Uso de recursos minerais” os indicadores tiveram pouca variação pois estão diretamente relacionados ao consumo de argila e areia, e este se manteve igual em todos os cenários. As pequenas alterações se dão pela mudança da fôrma e adição do cimento. Portanto, entende-se que utilizar os solos residuais de operações de cortes e terraplanagem, aproveitando uma escavação que já ocorreria, dissipa os impactos relativos ao consumo de diesel na escavação e ao uso de recursos minerais.

As duas categorias no qual o cimento não teve papel relevante foram “Ocupação do solo, biodiversidade” e “Transformação de terras, biodiversidade”, nos quais o cenário 1 apresentou os valores mais altos. Os impactos correspondem ao uso das tábuas de madeira na confecção das fôrmas que, quando comparadas ao uso do compensado, demandam uma metragem quadrada de solo maior para plantação das árvores que serão cortadas. Dessa forma maximizar a reutilização das fôrmas é um caminho viável para redução dos impactos. Isso acontece, porque tábuas de madeira maciça geralmente são cortadas diretamente do tronco de árvores enquanto a produção do compensado muitas vezes utiliza resíduos da indústria da madeira em seu processo de fabricação, reduzindo o corte de árvores e, portanto, demandando menor taxa de ocupação do solo.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho reforça que apenas utilizar a terra como material construtivo não é suficiente para assegurar a sustentabilidade de uma edificação. Todas as decisões tomadas ao longo do processo projetual — como a escolha de técnicas construtivas, equipamentos e materiais complementares — influenciam diretamente os impactos ambientais associados à construção. Assim, o papel do arquiteto e dos demais profissionais da área é decisivo para garantir que a taipa de pilão, e os demais sistemas construtivos, sejam aplicados de forma sustentável. Apesar das limitações encontradas quanto ao fornecimento de dados nacionais e específicos para sistemas construtivos em terra, o que exige certa adaptação de inventários e pode comprometer a representatividade dos resultados, a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida mostrou-se eficiente para quantificar e comparar os impactos ambientais de diferentes configurações da taipa de pilão, possibilitando a identificação dos principais pontos críticos do sistema, como a estabilização com cimento. Em vista disso, a ferramenta se destaca como um suporte valioso à tomada de decisões mais conscientes no setor da Arquitetura, Engenharia e Construção. Para pesquisas futuras, recomenda-se a ampliação da análise para o ciclo de vida completo da edificação — incluindo as fases de uso, manutenção e fim de vida — além da investigação de alternativas de estabilização com menor impacto ambiental, como a utilização de cal ou aditivos naturais. A construção de bancos de dados locais também é essencial para fortalecer a base técnica e viabilizar a adoção mais ampla e consciente da terra como material construtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14.040 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 17014 - Taipa de pilão – Requisitos, procedimentos e controle.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022.

BEN-ALON, L. *et al*. Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of natural vs conventional building materials: A case study on cob earthen material. **Building and Environment**, 14 maio 2019. 1-22.

CALDAS, L.; LIRA, J. S. M. M.; SPOSTO, R. M. Avaliação do Ciclo de Vida de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados de concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas. **Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, Brasília, v. 1, p. 30, Jul/Dez 2017.

CALDAS, L.; MARTINS, A.; TOLEDO FILHO, R. Construção com terra no Brasil: avaliação ambiental da taipa de pilão. **PARC**: Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 12, n. 00, p. e021015, 2021. DOI: 10.20396/parc.v12i00.8656279.

CARVALHO, B.; SILVOSO, M. **Avaliação do Ciclo de Vida da Arquitetura com Terra:** Uma Revisão Sistemática da Literatura. 25º Congresso de Arquitetura ARQUISUR. Porto Alegre, Brasil: [s.n.]. 2022.

HEISE, A. F. **Desenho do processo e qualidade na construção do painel monolítico de solo-cimento em taipa de pilão**. 2004. 155p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. **Manuel de construction en terre.** Bruxelles: CRATerre/PGC/CRA/UNCHS/AGCD, 1985. 361 p.

MASCARENHAS, A. Subsídios para história da arquitetura e construção com terra no Brasil. In: NEVES, C.; MARANHO, M. F.; LELIS, N.; FARIA, O. B. **Arquitetura e Construção com Terra no Brasil.** Volume especial. Tupã, SP, 2022. Capítulo 1.4.

MINKE, G. **Manual de Construção com Terra**: a Terra Como Material de Construção e seu uso na Arquitetura. Bahia: Solisluna Editora, 2022. p. 224

MILANI, A. P. S.; IUNES, I. M. C. Aspectos ambientais do inventário do ciclo de vida da taipa de pilão. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 117–130, jul. 2023.

MILETO, C.; VEGAS, F.; LÓPEZ, J. M. Criterios y técnicas de intervención en tapia. La restauración de latorre Bofilla de Bétera (Valencia). **Informes de la Construcción**, 63(523), 2011. 81-96. doi:10.3989/ic.10.014

NEVES, C.; FARIA, O. B. **Técnicas de Construção com Terra.** [S.l.]: Proterra, 2011.

UNEP, United Nations Environment Programme. GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION. **Not just another brick in the wall**: The solutions exist – Scaling them will build on progress and cut emissions fast. Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025. Nairobi: UNEP, 2025.

WEIMER, G. **Arquitetura popular brasileira.** São Paulo: Martins Fontes, 2005.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior – Brasil (CAPES) [Código de Financiamento 001] pela bolsa fornecida à autora principal deste artigo através do Processo nº 88887.153816/2025-00.