

# Análise da valorização econômica de uma edificação multifamiliar com a implantação de um sistema de água cinza para fins não potáveis

*Analysis of the economic valuation of a multi-family building with the implementation of a gray water system for non-drinking purposes*


- **Data de entrada:**  
11/07/2022
- **Data de aprovação:**  
19/02/2022

Isabela Cristina Ferreira Faria<sup>1\*</sup> | Márcia Viana Lisboa Martins<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.53>

## ORCID ID

Faria ICF  <https://orcid.org/0000-0002-3344-1916>

Martins MVL  <https://orcid.org/0000-0002-6900-6350>

## Resumo

O advento das edificações sustentáveis tem reduzido muito os impactos ambientais ocasionados pela construção civil. No entanto, os altos custos de investimento desestimulam a implementação desse tipo de empreendimento, e ainda são poucos os estudos que avaliam a valorização ambiental das habitações como uma forma de compensar o investimento. Dessa forma, este artigo buscou analisar a valorização ambiental de uma edificação multifamiliar com a implantação de um sistema de água cinza para fins não potáveis, sob a perspectiva do empreendedor e do proprietário. Para tal, foi dimensionado um sistema de reúso considerando os requisitos da ABNT NBR 16.782:2019. Foram comparados os custos para a construção de um empreendimento convencional e um dotado do sistema de reúso, e calculou-se o preço de venda de ambos. O retorno do investimento foi calculado por meio do *payback* e do valor presente líquido com a economia na conta de água. Observou-se que o empreendimento dotado do sistema de reúso tem uma lucratividade maior para o construtor, em razão da valorização ambiental, mas os valores de *payback* e valor presente líquido (VPL) não demonstraram viabilidade econômica na perspectiva dos compradores dos apartamentos.

**Palavras-chave:** Edificação sustentável. Reúso de água não potável. Água cinza. Viabilidade econômica.

## Abstract

*The advent of sustainable buildings has greatly reduced the environmental impacts caused by civil construction. However, despite the high investments, few studies have evaluated the environmental value of homes with water reuse systems. This study aimed to analyze the environmental enhancement of a multifamily building with the implementation of a gray water system for non-potable purposes based on the perspective of the entrepreneur and the owner. For this, the reuse system was designed considering the requirements of ABNT NBR 16.782:2019. The costs for constructing the conventional project and those equipped with the reuse system were compared and the sales price of both was calculated. The return on investment was calculated by payback and net present*

<sup>1</sup> Universidade Federal de Itajubá – Itajubá – Minas Gerais – Brasil.

\* **Autor correspondente:** [isacrisff.exp@gmail.com](mailto:isacrisff.exp@gmail.com)

*value with savings on the water bill. This study found that the enterprise equipped with the reuse system has greater profitability for builders due to environmental appreciation. However, the payback and NPV values showed no economic viability from the perspective of apartment buyers.*

**Keywords:** Sustainable building. Reuse of non-potable water. Gray water. Economic viability.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é responsável por grande parte dos impactos ambientais, em razão do consumo elevado de matérias-primas e da geração de resíduos. O setor é responsável por cerca de 21% do consumo de água (Scramin, 2022).

As edificações sustentáveis, também denominadas de edificações verdes, são resultado da transformação e modernização da indústria da construção civil para minimizar os impactos no meio ambiente e atender o mercado consumidor mais exigente. São edificações que adotam práticas sustentáveis de conservação e racionalização de água e energia, empregam materiais certificados na construção e priorizam a qualidade interna do ar, o conforto térmico, a localização e transporte próximo, entre outros (Zhao; Liu; Wang, 2022).

A adoção de práticas sustentáveis pelas construtoras tem atraído consumidores interessados em contribuir para minimizar os impactos ambientais. Um empreendimento que apresenta itens de sustentabilidade, como reúso de água e eficiência energética, tem o poder de influenciar o consumidor na hora da compra, o que resulta na valorização ambiental do bem ou produto. Uma pesquisa realizada pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção – (CBIC) apontou que fatores sustentáveis/ecológicos estão entre os itens mais lembrados pelos consumidores quando se pretende adquirir um imóvel (CBIC, 2014).

No entanto, a adoção de práticas sustentáveis esbarra no custo inicial, que geralmente é mais elevado. Os indicadores de sustentabilidade comumente utilizados avaliam os benefícios por

seu impacto ambiental em relação ao uso de energia, água, uso da terra e outros indicadores ambientais, como toneladas de emissões de gás carbônico, metros cúbicos de água, entre outros. No entanto, esse tipo de avaliação não possibilita que as empresas verifiquem as vantagens econômicas da adoção dessas práticas (Zhao; Liu; Wang, 2022).

De acordo com Zhao, Liu e Wang (2022), há poucas pesquisas sobre avaliação de benefícios ambientais em termos monetários, o que dificulta a verificação de todos os benefícios potenciais da construção sustentável. Os construtores, incluindo investidores, banqueiros e avaliadores, demonstram interesse em determinar os benefícios da construção sustentável em termos monetários para tornar esses benefícios comparáveis em termos de custos e outros benefícios.

No mapeamento científico da literatura sobre construção verde, desde seu advento em 1974, Darko *et al.* (2019) afirmam que a questão da sustentabilidade ambiental da construção verde tem sido amplamente estudada, mas que os aspectos de sustentabilidade social e econômica são visivelmente negligenciados. A vertente ambiental pode ser avaliada por meio do método de valorização da economia ambiental, que raramente é aplicado no âmbito das edificações (Zhao; Liu; Wang, 2022).

Logo, é necessário propor uma metodologia que possibilite avaliar economicamente os benefícios derivados de investimento em edificações sustentáveis, a partir do ponto de vista de quem executa o empreendimento e de quem adquire o imóvel, de modo a atender os interesses de todos os envolvidos no processo.

Nesse sentido, este artigo buscou analisar técnica e economicamente a implantação do sistema de reúso de água cinza para fins não potáveis, visando avaliar o impacto no custo da edificação e a valorização ambiental que pode ser alcançada em uma edificação verde.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização do empreendimento

O edifício analisado é o Residencial Isaura Carneiro, localizado no Centro de Santa Rita do Sapucaí (MG). O empreendimento foi projetado e executado pela JCosta Construtora.

O edifício possui acabamento de alto padrão e conta com um pavimento térreo, 28 vagas de garagem e um ponto comercial (112,82 m<sup>2</sup> de área privativa), além de mais sete pavimentos com dois apartamentos por andar, totalizando 14 apartamentos. Os apartamentos do primeiro andar possuem área de 168,35 m<sup>2</sup>, do segundo ao quinto pavimento a área é de 126,42 m<sup>2</sup> e a cobertura possui uma área de 201,55 m<sup>2</sup>.

No térreo, os ambientes que usam água são um banheiro do zelador, um lavabo social e dois lavabos no ponto comercial. Há, ainda, uma área impermeabilizada de aproximadamente 506 m<sup>2</sup> na garagem, com uma torneira para limpeza. Os banheiros possuem chuveiro, lavatório e bacia sanitária e os lavabos somente lavatório e bacia sanitária. Nos apartamentos, há dois banheiros, um lavabo, uma cozinha e uma área de serviço. Na cobertura, acrescenta-se um lavabo. No total, são 48 bacias sanitárias, 48 lavatórios, 42 chuveiros, 14 pias e 14 tanques.

### 2.2 Estudo de viabilidade técnica do reúso de água cinza

O sistema de reúso de água cinza foi concebido para o aproveitamento da água cinza proveniente dos chuveiros para atendimento da demanda não potável das bacias sanitárias e dos pontos

de água para lavagem da garagem. A viabilidade do sistema de reúso foi verificada para o atendimento dos requisitos de qualidade para água não potável estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 16.783 (ABNT, 2019a).

A quantidade de pessoas que residem no edifício foi estimada com base nos dados do censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para amostra de famílias, o qual indica que a grande maioria das famílias brasileiras é composta por duas ou três pessoas, com o segundo lugar pertencendo às famílias com quatro pessoas (IBGE, 2017). Dessa forma, considerou-se que quatro pessoas habitavam os apartamentos com três e quatro quartos. Para o ponto comercial, foram consideradas três pessoas trabalhando em horário comercial.

O volume diário gerado de água cinza foi obtido multiplicando a quantidade de moradores pela vazão dos aparelhos sanitários (lavatório, chuveiro, tanque e máquina de lavar roupa) e pelo tempo diário de uso, no modelo apresentado por Gonçalves e Bazzarella (2005).

Para a estimativa da demanda interna de água não potável, foram considerados o número de usuários multiplicado pelo volume e a frequência de uso da bacia sanitária, com dados obtidos de Tomaz (2007). Para os usos externos, foi considerada a lavagem de áreas impermeabilizadas (506 m<sup>2</sup>) com média de oito limpezas por mês e um consumo de 4 L/dia/m<sup>2</sup>, com base em dados de Gonçalves e Jordão (2006).

A partir dos dados de oferta e demanda de água, foi elaborado o balanço hídrico e verificado se a oferta de água cinza atende a demanda de água não potável.

O dimensionamento do reservatório inferior de água cinza foi realizado de acordo com os requisitos apresentados na NBR 16.783 (ABNT, 2019a),

que recomenda que o período de armazenamento de água não potável não seja superior a dois dias. O volume a ser reservado foi o volume da demanda diária de água não potável, e o excedente de água cinza descartado juntamente com as águas negras.

Neste estudo, optou-se por utilizar uma estação de tratamento de água cinza – (Etac) disponível no mercado, devido à facilidade e agilidade trazidas por sua implantação. Para a escolha da Etac, foram consideradas a capacidade de atender a demanda de água não potável, o tipo de tratamento utilizado (físico, químico ou biológico), a compactidade e disponibilidade no mercado.

As instalações hidráulicas prediais de água fria e de coleta de águas residuárias do edifício em análise são diferentes das usuais, visto que há necessidade de instalações distintas de distribuição de água fria potável e não potável (água cinza tratada) e de coleta de água negra e água cinza. Assim, algumas diretrizes foram adotadas para elaboração de um projeto sólido que não apresentasse falhas como a ligação cruzada de água potável com água de reúso. Nesse âmbito, o traçado das instalações prediais expõe-se como indispensável, identificando as tubulações referentes à distribuição de água potável e água não potável, conforme preconiza a NBR 16.782 (ABNT, 2019b). O dimensionamento das instalações prediais de água fria (potável e não potável) foi realizado considerando a NBR 5.626 (ABNT, 2020) e os sistemas prediais de coleta de águas residuárias (águas negras e águas cinzas) foram dimensionados considerando a NBR 8.160 (ABNT, 1999).

### 2.3 Análise de viabilidade econômica

A análise econômica foi realizada sob duas perspectivas, a da empresa e a do proprietário. A perspectiva da empresa empreendedora consistiu em verificar se o investimento econômico em edificação sustentável (reúso de água) pode ser compensado com a valorização ambiental da edificação. A outra perspectiva foi a do proprietário do apartamento, que pode ter o retorno financeiro do investimento na compra de um apartamento em uma edificação que possui um sistema de reúso de água, devido à economia na conta de água e esgoto.

#### 2.3.1 Análise econômica – perspectiva da construtora

Para análise econômica da perspectiva da construtora, foi necessário calcular o custo da edificação convencional e da edificação sustentável (com reúso de água cinza). A base de dados utilizada para fazer o orçamento foi o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (Sinapi) do mês de maio 2022<sup>2</sup>, não desonerado, sendo que a empresa deve incluir nos custos da obra o valor dos encargos pagos aos funcionários.

Com o orçamento da construção do empreendimento convencional e do terreno, foi possível obter o valor de venda dos apartamentos, no qual incide sobre o preço de venda, em decimais, o somatório das alíquotas de impostos e da lucratividade. A lucratividade depende de cada empresa e, nesse caso, foi definida como 10% sobre o valor global das vendas. Já para as alíquotas, o regime de tributação que foi adotado foi por lucro real, com os valores de programação de integração social (PIS), contribuição para financiamento da seguridade social (Cofins), desoneração e imposto sobre serviços de qualquer natureza (ISS) praticados.

<sup>2</sup> Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>. Acesso em: 14 set. 2024.

O cálculo do preço de venda correspondente à toda edificação foi dado pela Equação 1, e, para cada apartamento, o valor de venda foi obtido em proporção a área, visto que os apartamentos possuem áreas diferentes.

$$PV = \frac{CT}{(1-i)} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

$PV$  = preço de venda, em R\$

$CT$  = custo total da obra, em R\$, incluindo custos diretos (material e mão de obra e compra do terreno) e indiretos (administração de obra)

$i$  = incidência da lucratividade e da somatória dos impostos (PIS, CONTRIBUIÇÃO SOCIAL SOBRE O LUCRO, DESONERAÇÃO E ISS)

A Equação 2 possibilita o cálculo dos benefícios e despesas indiretas – (BDI), que é o percentual que deve ser aplicado sobre o custo direto dos itens da planilha da obra para se chegar ao preço de venda, ou seja, é a majoração percentual que  $PV$  representa sobre o custo direto.

$$BDI = \left( \frac{PV}{CT} - 1 \right) \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

O custo da edificação sustentável ( $C_{SUS}$ ) foi obtido considerando o custo da edificação convencional acrescido do custo do sistema de reúso de água (instalações prediais de água não potável, Etac etc.). O BDI incidiu sobre o preço de venda da edificação sustentável, ou seja, do empreendimento com reúso de água cinza (Equação 3).

$$PV_{SUS} = \left( \frac{BDI}{100} + 1 \right) \cdot C_{SUS} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

$PV_{SUS}$  = preço de venda do edifício sustentável, em R\$

$BDI$  = benefícios e despesas indiretas (Equação 2), em %

$C_{SUS}$  = custo da obra sustentável, em R\$

### 2.3.2 Valorização ambiental

Os investimentos em habitações sustentáveis, na maioria das vezes, representam maior custo no processo de construção, apesar de trazerem benefícios como possibilidade de aumento de geração de energia por fontes renováveis e redução do consumo de água potável por meio do reúso de águas cinza e do aproveitamento de água de chuva.

Além disso, o consumidor está cada vez mais exigente em relação a ações e práticas que promovam o consumo sustentável, estando dispostos a pagar por tais benefícios (Pereira *et al.*, 2017). Diante disso, as empresas têm investido em construções sustentáveis, buscando adequar-se à gestão ambiental e agregar valores aos produtos e/ou serviços oferecidos, visando a valorização do empreendimento.

Assim, propõe-se, para o cálculo da valorização econômica dos benefícios ambientais de uma edificação sustentável, a inserção de uma variável de valorização ambiental no preço de venda do imóvel (Equação 4).

$$PV_{SUSVA} = PV_{SUS} \cdot VA \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

$PV_{SUSVA}$  = preço de venda do edifício sustentável com valorização ambiental, em R\$

$VA$  = valorização ambiental, em %

A variável de valorização ambiental proposta baseia-se nos dos índices praticados por algumas empresas da construção civil e índices registrados pela CBIC e pelo governo (Tabela 1).

**Tabela 1** – Porcentagem de valorização ambiental de um empreendimento.

Referência	Porcentagem de aumento
Ministério do Meio Ambiente (2012)	de 10% a 30%
CBIC (2014)	10%
Pires (2008) – Construtora Koprime	0%
Pires (2008) – Construtora Bautec	de 10 a 15%
Pires (2008) – Construtora ACCR	0%
Federação Brasileira de Bancos (2010)	8%
Federação Brasileira de Bancos (2010)	3%
Zauli (2013)	15%
MÉDIA	8,56%

Dessa forma, é possível comparar o preço de venda da edificação convencional com o preço da edificação verde e verificar se, com a valorização ambiental, o preço de venda supera os custos de investimento em reúso de água, propiciando a implantação de uma edificação sustentável.

### 2.3.3 Análise econômica – perspectiva do proprietário

O investimento em uma edificação com sistema de reúso de água cinza pode ser recuperado com a redução do consumo de água potável fornecida pela concessionária local e na geração de esgoto, o que consequentemente reduz o valor gasto com a conta de água e esgoto.

Foram utilizados dois métodos para analisar a viabilidade econômica do sistema na perspectiva dos proprietários dos apartamentos, *payback* simples e valor presente líquido (VPL).

O *payback* simples (Equação 5) identifica o período de retorno de tempo (geralmente medido em anos) para um investimento gerar benefícios financeiros suficientes para se pagar. Nesse caso, o período de retorno acima da vida útil do sistema foi considerado como investimento inviável. De acordo com Sant'ana, Boeger e Vilela (2013), a vida útil dos sistemas de reúso de água cinza pode ser considerada como de 30 anos. Então,

um *payback* menor do que este valor demonstra benefício do investimento.

$$PBS = \frac{1}{V_p} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

$PBS$  = *payback* simples, em anos

$I$  = valor do investimento no sistema de reúso de água, em R\$

$V_p$  = valor anual economizado na conta de água e esgoto com a redução do consumo de água potável e do volume de esgoto devido ao reúso, em R\$

O valor do investimento ( $I$ ) é a diferença entre o custo da edificação sustentável ( $C_{sus}$ ) excluído o custo da edificação convencional ( $C_T$ ).

A economia anual na conta de água e esgoto ( $V_p$ ) é obtida pela redução no valor da conta de água e esgoto devido ao volume poupado com o reúso de água.

O cálculo do VPL (Equação 6) permite uma comparação dos benefícios financeiros adquiridos ao longo da vida útil dos sistemas. Ressalta-se que quanto maior o VPL, maior é o benefício financeiro gerado pela implementação do sistema de reúso de água não potável ao longo de sua vida útil. Um valor de VPL negativo demonstra que o investimento não é viável financeiramente e a aplicação do capital gera prejuízos.

$$VPL = -1 + \sum_{t=0}^n \frac{V_{pt} - C_{Rt}}{(1+j)^t} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:

$VPL$  = valor presente líquido, em R\$

$I$  = investimento inicial ou custo capital no ano zero, em R\$

$V_{pt}$  = valor poupado no ano  $t$ , em R\$/ano

$C_{Rt}$  = custo de operação e manutenção no ano  $t$ , em R\$/ano

$j$  = taxa de juros anual, em %

$n$  = vida útil, em anos

O valor poupado anualmente na conta de água e esgoto ( $V_p$ ) é referente aos benefícios advindos com a implantação do sistema de reúso de água. O custo anual com a operação e manutenção ( $C_R$ ) do sistema de reúso foi calculado pela Equação 7.

$$C_R = (MO + L + MA + E) \times 12 \quad (\text{Equação 7})$$

Em que:

$C_R$  = custo anual com o sistema de reúso de água, em R\$/ano

$MO$  = valor mensal de mão de obra, resultante da multiplicação entre o valor da hora de mão de obra, em R\$/h, pelo número de horas trabalhadas

$L$  = custo com a retirada do lodo, considerando o custo de remoção do lodo por um caminhão limpa-fossa, em R\$/mês

$MA$  = custo com materiais como produtos químicos, em R\$/mês

$E$  = custo de energia, em R\$/mês, obtido multiplicando o consumo de energia dos equipamentos (bombeamento) pela tarifa de energia cobrada pela concessionária de energia, no caso, a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig)

Os cálculos do *payback* e do VLP também foram realizados considerando a valorização ambiental. Nesse caso, o custo do investimento (*I*) foi obtido pela diferença entre o preço de venda da construção sustentável e o preço de venda da construção convencional.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Análise de viabilidade técnica

A demanda diária de água da edificação resultou em 14.976,44 L/dia (Tabela 2) e foi obtida considerando a vazão de cada aparelho, a frequência de uso e o número total de 56 moradores (quatro habitantes por apartamento e 14 apartamentos). Para o ponto comercial, foi considerado que cada pessoa utilizaria a bacia sanitária quatro vezes ao dia e que a frequência de uso da bacia sanitária no depósito de material de limpeza (DML) e no lavabo seria de uma vez ao dia. A demanda diária externa de água não potável (564,4 L/dia) foi obtida considerando a área de lavagem (506,0 m<sup>2</sup>), o consumo de 4,0 L/m<sup>2</sup> – obtido de Gonçalves e Jordão (2006) – e a frequência de oito limpezas/mês.

**Tabela 2** – Demanda de água potável e não potável da edificação.

Qualidade da água	Aparelho hidrossanitário	Consumo (L/dia)	%
Água potável	Pia	1680	11,2
	Tanque	2240	15,0
	Máquina de lavar roupa	3312	22,1
	Chuveiro	3920	26,2
	Lavatório	1344	9,0
Água não potável	Bacia sanitária	1916	12,8
	Torneira	564	3,8
<b>Total</b>		14.976	100

O consumo médio diário de água cinza gerado foi considerado igual ao consumo de água potável, excluindo a pia da cozinha, que não será reutilizada como água cinza (10.816L), desprezando-se as perdas. Observa-se que o chuveiro foi respon-

sável por 26,2% (3920 L) da geração de água cinza, sendo o suficiente para atender a demanda de água não potável das bacias sanitárias e limpeza 16,57% (2480 L). Esse foi o volume considerado para o sistema de reúso.



O consumo médio total de água por habitante foi de 277,3 L/hab.dia, valor que condiz com apartamento de padrão alto, comparando com o consumo predial diário de um apartamento de padrão médio, que é de 250 L/dia, e para um apartamento padrão luxo, de 300 L/dia (Botelho; Ribeiro Júnior, 2010). Para Mierzwa *et al.* (2006), o consumo total de água para habitante de empreendimentos verticais é de 294 L/hab.dia, valor um pouco maior do que o obtido neste trabalho.

Para a reservação de água cinza, foram necessários dois reservatórios inferiores, um que antecede o processo de tratamento, denominado reservatório de água cinza bruta (tanque de equalização), e um após o tratamento, denominado reservatório de água cinza tratada, e um reservatório superior. Para o tanque de equalização, foi adotado o mesmo volume da demanda diária de água não potável (2.480,6 L/dia). O reservatório comercial de volume imediatamente superior é o reservatório de 3.000 L. Para o tanque de água cinza tratada, adotou-se dois terços da demanda de água não potável, cujo reservatório de volume comercial adotado foi de 2.000 L. Para o reservatório superior de distribuição de água não potável, adotou-se um terço da demanda de água de reúso, sendo definido um volume de 1.000 L.

Em relação às estações de tratamento de água cinza, há diversos fornecedores no Brasil, e os modelos fabricados se dividem entre as Etacs com tratamento físico-químico e biológico, ao contrário de países desenvolvidos, como a Alemanha, em que predomina a comercialização de reatores biológicos com membrana filtrantes (MBR) (Gonçalves; Keller; Franci, 2019).

Os processos biológicos apresentam elevada eficiência no tratamento e o custo de operação e manutenção é reduzido. No entanto, podem

ocupar áreas significativas nas edificações dependendo da configuração e da capacidade, e demandar um investimento inicial maior do que os sistemas com tratamento físico-químico (Gonçalves; Keller; Franci, 2019). No caso de sistemas anaeróbios, pode haver exalação de maus odores.

Os sistemas de tratamento físico-químico compostos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção são fornecidos em módulos compactos, o que facilita sua instalação, e o consumo de energia é reduzido quando comparado aos MBR. Por outro lado, o tratamento físico-químico não remove eficientemente matéria orgânica dissolvida, e requer consumo elevado de produtos químicos (coagulantes e floculantes) e requer controle automatizado (Gonçalves; Keller; Franci, 2019).

A Etac escolhida foi a Etac 500 da empresa Ecoracional, em decorrência de sua área reduzida e facilidade de instalação e operação. O tipo de tratamento da Etac é o físico-químico, composto por um filtro separador de sólidos, um módulo com floculadores hidráulicos, decantador e tanque de contato, um filtro de areia e um filtro de carvão ativado (Figura 1). A capacidade de tratamento é de 500 L/hora de água cinza, sendo esta foi a menor Etac disponibilizada pela empresa. Assim, foi considerado o funcionamento de seis horas por dia.

As instalações prediais de água não potável acrescentaram 168m de tubulação de DN20 (136% em relação à tubulação utilizada na edificação), 66m de tubulação de DN25 (8% em relação à tubulação utilizada na edificação) e 18m de tubulação de DN32 (134% em relação à tubulação utilizada na edificação). Já a coleta de água cinza acrescentou 156m de tubulações de DN50 (80% em relação à tubulação utilizada na edificação) e 48m DN100 (12% em relação à tubulação utilizada na edificação).





**Figura 1** – Sistema de tratamento da ETAC.

Fonte: Ecoracional (2023)

### 3.2 Análise de viabilidade econômica do sistema

#### 3.2.1 Perspectiva da empresa

O custo da edificação convencional foi de R\$ 5.289.471,32, foi obtido com base no orçamento

e na tabela Sinapi de outubro de 2022. O custo a mais para a implantação do sistema de reúso de água cinza foi de R\$ 111.259,74 (Tabela 3). O custo da edificação com reúso foi de R\$ 5.400.732,06, caracterizando um acréscimo de 2,1%.

**Tabela 3** – Resumo dos valores dos itens que compõem o sistema de reúso de água cinza.

Item	Descrição	Valor (R\$)	%
1	Projetos	R\$ 6.781,85	6,10
2	Fundação	R\$ 1.071,72	0,96
3	Cobertura	R\$ 1.858,99	1,67
4	Instalações de água fria	R\$ 13.444,72	12,08
5	Instalações de esgoto	R\$ 9.461,20	8,50
6	Instalações elétricas	R\$ 304,16	0,27
7	Sistema de recalque	R\$ 3.633,72	3,27
8	Etac	R\$ 57.020,72	51,25
9	Esquadrias	R\$ 15.947,48	14,33
10	Pintura	R\$ 1.735,18	1,56
TOTAL		R\$ 111.259,74	100%

O custo total do empreendimento convencional, inserindo o preço da compra do terreno (R\$ 1.821.060,00) foi de R\$ 7.110.531,32. Para o valor de incidência de tributos e da lucratividade no preço de venda, foram considerados os valores de PIS e Cofins para regime cumulativo de 0,65% e 3%, respectivamente, de acordo com a Lei n. 9.718, de 27 de novembro de 1998. Para

o valor da desoneração, foi considerado 4,5%, de acordo com o artigo 7º da Lei n. 12.546, de 14 de dezembro de 2011. O valor do ISS foi considerado de 2%, conforme código tributário municipal de Santa Rita do Sapucaí. Portanto, a incidência sobre o preço de venda resultou na porcentagem de 20,15%. O preço de venda do edifício (Equação 1) do edifício convencional resultou em

R\$ 8.904.860,76. O BDI calculado resultou em 25,23% (Equação 2).

O custo da edificação sustentável com adição do preço da compra do terreno foi de R\$ 7.221.791,06, caracterizando um acréscimo de apenas 1,56% sobre o custo da edificação convencional. Esse custo pode facilmente ser absorvido pela construtora, numa visão estratégica de se adequar a um modelo de gestão ambiental somada à necessidade de atender um mercado consumidor interessado na aquisição de edificação sustentável (Pereira *et al.*, 2017).

O preço de venda para o empreendimento com reúso de água cinza, considerando o BDI de 25,23%, resultou em R\$ 9.044.196,69. Adicionou-se a valorização ambiental do empreendimento, referente à disposição do consumidor em pagar por um empreendimento com itens de sustentabilidade, a esse preço. Essa valorização ambiental sobre o preço de venda do empreendimento variou de 0% (nenhuma valorização) até 30% (Tabela 1).

Num cenário mais pessimista, foi considerada a menor porcentagem de valorização ambiental, de 3%, registrada pela Federação Brasileira de Bancos (Febraban) (2010). O preço de venda do empreendimento é de R\$ 9.315.522,59. Assim, considerando o lucro inicial da construtora de 10% no custo da edificação (R\$ 271.325,90), mais o valor adicional no preço de venda com a valorização ambiental (R\$ 711.503,13), o lucro total da empresa aumentou para 10,9%.

Já em um cenário mais otimista, foi considerado o valor de 15% registrado por Pires (2008) e Zauli (2013) para a construtora Bautech. A lucratividade da construtora subiu para 22,9%. O valor de 30% registrado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) corresponde ao dobro da maior porcentagem, que somente seria conveniente considerar num cenário de escassez hídrica mais severa.

Por fim, considerando a média dos valores, que corresponde a 8,56%, obteve-se o preço de venda de R\$ 9.818.379,93, que representa um aumento no lucro da empresa de 16,4%.

### 3.2.2 Perspectiva do proprietário

Para o cálculo do *payback* simples, o valor do investimento foi considerado como a diferença entre os preços dos apartamentos no edifício convencional e o edifício sustentável, com a implantação do sistema de reúso de água cinza.

A economia mensal na conta de água e esgoto para a edificação com o sistema de reúso de água cinza foi de R\$ 1.083,43. Foi considerado o valor da tarifa de água cobrado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), de acordo com a Resolução ARSAE-MG 154, de 28 de junho de 2021 – 10,036 R\$/m<sup>3</sup> para consumo de 20 a 40 m<sup>3</sup>/mês, mais a taxa fixa mensal de R\$ 17,61. Para o esgoto, esse valor é de 7,427 R\$/m<sup>3</sup> para um volume de esgoto de 20 a 40 m<sup>3</sup>/mês, mais a taxa fixa mensal de R\$ 13,03.

O custo mensal de operação e manutenção da Etac (mão de obra, gestão de lodo, suprimentos de materiais e custo de energia) é apresentado na Tabela 4.

O valor poupado mensalmente foi dividido proporcionalmente para cada apartamento em função da área de cada um. O valor do *payback* (Equação 5) do investimento no sistema reúso de água cinza para os apartamentos e ponto comercial é apresentado na Tabela 5.

Para o cálculo do VPL, foi considerada uma taxa de juros de 100% do valor do certificado de depósito interbancário (CDI) de 2022, sendo utilizado o valor de 13,50% para taxa de investimento. Com isso, obteve-se os valores de VPL (Equação 6) para os apartamentos e o ponto comercial para implantação do sistema de reúso de água (Tabela 6).

**Tabela 4** – Custo mensal com o sistema de reúso de água cinza.

Itens	Unidade	Quant/mês	R\$/un	R\$/mês
Mão de obra (R\$/mês) – MO	h	30	R\$ 7,81	R\$ 234,38
Materiais (R\$/mês) – MA	VB	1	R\$ 197,98	R\$ 197,98
- Areia do filtro	kg	8,3	R\$ 3,10	R\$ 25,82
- Carvão	kg	4,17	R\$ 15,59	R\$ 64,98
- Pastilha de cloro	Uni.	4	R\$ 9,89	R\$ 39,56
- Sulfato de alumínio	kg	5,3	R\$ 7,48	R\$ 39,97
- Cal	kg	0,8	R\$ 1,14	R\$ 0,89
- Mangueira de sucção	m	0,83	R\$ 32,12	R\$ 26,77
Energia (R\$/mês) – E (Etac)	kWh/mês	132,39	R\$ 0,746	R\$ 98,72
Energia (R\$/mês) – E (bomba 2cv)	kWh/mês	50,75	R\$ 0,746	R\$ 37,84
			<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 568,92</b>

**Tabela 5** – Cálculo do *payback* para o sistema de reúso de água não potável.

Variáveis	Apto 101 e 102	Apto 201 a 602	Apto 701 a 702	Ponto comercial
Custo capital de investimento – K (R\$)	R\$ 11.081,34	R\$ 8.321,37	R\$ 13.266,67	R\$ 7.426,18
Valor poupado por ano (R\$)	R\$ 890,49	R\$ 890,49	R\$ 890,49	R\$ 534,29
<b>Payback simples – PBS (anos)</b>	<b>12,44</b>	<b>9,34</b>	<b>14,90</b>	<b>13,90</b>

**Tabela 6** – Cálculo do VPL para os sistemas de reúso de água não potável.

Variáveis	Apto 101 e 102	Apto 201 a 602	Apto 701 a 702	Ponto comercial
Custo capital no ano zero – K0 (R\$)	R\$ 11.081,34	R\$ 8.321,37	R\$ 13.266,67	R\$ 7.426,18
Valor poupado por ano – Bt-Ct (R\$)	R\$ 890,49	R\$ 890,49	R\$ 890,49	R\$ 534,29
Taxa de juros anual – <i>i</i> (%)	13,65%	13,65%	13,65%	13,65%
Vida útil – <i>n</i> (anos)	30	30	30	30
Valor presente líquido – VPL (R\$)	<b>-R\$ 4.698,04</b>	<b>-R\$ 1.938,07</b>	<b>-R\$ 6.883,37</b>	<b>-R\$ 3.596,20</b>

#### 4 DISCUSSÃO

Observando os custos da edificação convencional (R\$ 5.289.471,32) comparados com os custos da edificação com sistema de reúso de água cinza (R\$ 5.400.732,06), percebeu-se que esse sistema equivalia a uma porcentagem pequena do custo total de um empreendimento (2,1%).

Tomando essa mesma proporção, porém com o preço com BDI do empreendimento convencional e os acréscimos de custo devido à implantação do sistema de reúso, teve-se que o acréscimo da

implantação do sistema de reúso de água cinza acrescentaria somente 1,56% no preço de venda.

O serviço que representou a maior parte dos custos da implantação do sistema de reúso foi a estação de tratamento de água cinza, responsável por aproximadamente 51,25% de todo o custo do sistema.

Considerando que a Etac, o sistema de bombeamento e os reservatórios de água não potável podem ser instalados após a finalização da obra do

empreendimento, vale ressaltar que, para a água cinza, excluindo os itens de sistema de recalque e instalação da Etac, o restante dos serviços corresponde a cerca de 45,48% do custo da implantação do sistema, um investimento de apenas 0,96% a mais durante a construção do empreendimento.

Observa-se que as instalações prediais de rede dupla de água fria e de coleta de esgoto no sistema de reúso de água cinza representam um acréscimo de apenas 0,42% no custo da edificação. Assim, mesmo que a implantação de um sistema de reúso de água não se mostre viável atualmente, pois a escassez hídrica na região não é acentuada e a tarifa da água é baixa, a implementação da rede dupla é interessante. Assim, no caso de agravamento da crise hídrica, a edificação já estaria com parte das instalações adequadas ao reúso de água, evitando os custos de implantação de rede dupla numa edificação já existente, que seriam muito maiores, pois haveria necessidade de somar o custo remoção e colocação de reboco, azulejo, piso etc.

O aumento da tarifa de água tem se mostrado uma medida eficaz para reduzir o desequilíbrio entre a oferta e a procura (Gonçalves; Keller; Franci, 2019; Rinaudo; Neverre; Montginoul, 2012,). Em países como a França, a legislação obriga as empresas de saneamento a adotarem tarifas que proporcionem incentivos a conservação da água (Rinaudo; Neverre; Montginoul, 2012). O consumo de água potável na Alemanha é significativamente menor do que no Brasil, em decorrência das diferenças climáticas, culturais e tecnológicas, mas, principalmente, devido as tarifas de água e esgoto mais elevadas que no Brasil (Gonçalves; Keller; Franci, 2019).

Analisando os valores de *payback* apresentados na Tabela 5 e tendo como base que a vida útil dos sistemas de reúso de água não potável é de 30 anos, percebe-se que houve viabilidade econômica na implantação do sistema de reúso de água cinza,

uma vez que os valores de *payback* são menores do que 30 anos, mesmo que sejam um tempo de retorno alto.

Observa-se, na Tabela 6, que todos valores de VPL foram negativos, ou seja, para nenhum dos apartamentos ou ponto comercial foi viável economicamente a implantação do sistema de reúso de água não potável. Um VPL negativo significa que o investimento aplicado gerou prejuízo ao longo dos 30 anos de vida útil do sistema. Entretanto, para Pereira *et al.* (2017), a nova geração estará mais preocupada com as questões ambientais e disposta a pagar pelos benefícios ambientais.

Um dos motivos para a inviabilidade do sistema de reúso de água cinza foi o custo da Etac, uma vez que foi adotada uma estação com uma capacidade quatro vezes maior do que a necessária para a edificação. Para esse caso, não foi encontrado-se no mercado uma Etac de capacidade menor, porém é possível realizar a análise econômica com preço da Etac proporcional a sua capacidade, ou seja, considerando um quarto de seu preço, obtém-se um *payback* de 6,04 anos para os apartamentos e um VPL de R\$ 1.006,87, o que já demonstra a viabilidade econômica do sistema.

Gonçalves, Simões e Wanke (2010) analisaram o sistema de reúso de água cinza para uso não potável exclusivamente para descarga das bacias sanitárias no edifício Royal Blue, que é um edifício de luxo na cidade de Vitória (ES). O *payback* para o sistema foi de 8,5 anos, valor próximo ao atingido neste estudo para o sistema de reúso de água cinza se considerado o custo proporcional da Etac.

Diante do exposto, a empresa responsável pela construção do empreendimento em estudo foi questionada sobre os custos acrescidos aos apartamentos ao adicionar o sistema de reúso. A empresa informou que não pretendia repassar os custos no preço de venda e que o retorno do investimento viria com a venda mais rápida

dos apartamentos, dado o interesse crescente da sociedade em adquirir um empreendimento com as vantagens ambientais dos sistemas de reúso de água não potável. Futuramente, com o aumento do interesse em empreendimentos sustentáveis, passaria a incorporar a valorização ambiental no preço de venda de seus empreendimentos.

Portanto, considerando que a construtora não incluiria os custos com reúso de água não potável no preço de venda dos apartamentos, o investimento do proprietário seria igual a zero. Dessa forma, tendo o proprietário do apartamento com reúso de água cinza uma economia de R\$ 890,49 reais ao ano com a conta de água, em 30 anos, que é a vida útil dos sistemas de reúso de água não potável, esse proprietário teria uma economia de R\$ 26.714,70 no total. Trazendo esse valor para o valor presente, isso significa que, no ato do investimento, essa economia teria o valor de R\$ 6.383,30. O proprietário pode entender esse valor como um desconto no ato da compra do imóvel. Seria como se um imóvel com valor de venda de R\$ 540.134,42 reais fosse comprado por R\$ 533.751,12, ou seja, com aproximadamente 1,18% de desconto.

## 5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, analisou-se a viabilidade técnica e econômica da implantação do sistema de reúso de água de água para fins não potáveis em edifícios multifamiliares.

Verificou-se que a implantação de um sistema de reúso de água não potável representa acréscimo pequeno no custo da edificação (2,1%), sendo a Etac a maior parcela no custo do sistema de reúso de água cinza.

Considerando a valorização ambiental da edificação verde, há um aumento da lucratividade da empresa, podendo ser mais um fator positivo para incrementar a construção sustentável.

Verificou-se, ainda, que os benefícios econômicos para os proprietários decorrentes da economia na conta de água com a redução do consumo de água potável não são suficientes para recuperar o investimento, sendo uma das razões levantadas o baixo preço da tarifa de água praticada no país. Ressalta-se que isso não diminui o interesse em investir numa edificação verde, visto que é crescente o interesse do consumidor em contribuir para redução dos impactos ambientais.

Por fim, dado o interesse da empresa em atender o mercado consumidor cada vez mais sensível às questões ambientais, a aquisição de um imóvel equipado com um sistema de reúso pode significar um desconto no preço de compra da edificação.

Para trabalhos futuros, sugere-se adoção de um modelo de estação de tratamento de água cinza mais adequado. Além disso, é possível ampliar os cálculos de forma a definir a partir de quantos pavimentos e com quantos apartamentos por pavimento é possível obter a viabilidade econômica do sistema.

## 6 AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora Márcia que me ajudou durante todo o mestrado, agradeço também a empresa JCosta Construtora que me cedeu os projetos do empreendimento para o estudo de caso e agradeço a minha família por todo o apoio.

## 7 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

**Conceitualização:** Faria ICF, Martins MVL; **Metodologia:** Faria ICF, Martins MVL; **Investigação:** Faria ICF, Martins MVL; **Redação:** Faria ICF, Martins MVL; **Revisão & Edição:** Faria ICF, Martins MVL; **Supervisão:** Martins MVL.

## 8 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160:** Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.783**: uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.782**: Conservação de água em edificações – Requisitos, procedimentos e diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2019b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BRASIL. **Lei Federal n. 9.718, de 27 de novembro de 1998**. Altera a Legislação Tributária Federal. Brasília, DF: Presidência da República, 1998. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9718.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9718.htm). Acesso em: 28 jan. 2023.

BRASIL. **Lei Federal n. 12.546/2011, de 14 de dezembro de 2011**. Institui o Regime Especial de Reintegração de Valores Tributários para as Empresas Exportadoras (Reintegra); dispõe sobre a redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) à indústria automotiva; altera a incidência das contribuições previdenciárias devidas pelas empresas que menciona; altera as Leis nº 11.774, de 17 de setembro de 2008, nº 11.033, de 21 de dezembro de 2004, nº 11.196, de 21 de novembro de 2005, nº 10.865, de 30 de abril de 2004, nº 11.508, de 20 de julho de 2007, nº 7.291, de 19 de dezembro de 1984, nº 11.491, de 20 de junho de 2007, nº 9.782, de 26 de janeiro de 1999, e nº 9.294, de 15 de julho de 1996, e a Medida Provisória nº 2.199-14, de 24 de agosto de 2001; revoga o art. 1º da Lei nº 11.529, de 22 de outubro de 2007, e o art. 6º do Decreto-Lei nº 1.593, de 21 de dezembro de 1977, nos termos que especifica; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2011. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2011/lei/l12546.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12546.htm). Acesso em: 28 jan. 2023.

BOTELHO, M. H. C.; RIBEIRO JÚNIOR, G. A. **Instalações hidráulicas prediais**: usando tubos de PVC e PPR. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **A inovação na construção civil no Brasil sob a ótica do consumidor**. São Paulo: Instituto Sensus, 2014.

DARKO, A.; CHAN, A. P. C.; HUO, X.; OWUSU-MANU, D.-G. A scientometric analysis and visualization of global green building research. **Building And Environment**, Kidlington, v. 149, p. 501-511, 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.059>.

FEBRABAN – FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE BANCOS. Comissão de Responsabilidade Social e Sustentabilidade. **Café com sustentabilidade**: construção sustentável. 17. ed. São Paulo: Febraban, 2010.

GONÇALVES, R. F.; BAZZARELLA, B. B. Reuso de águas cinzas e gerenciamento alternativo das águas amarelas (urina) em

áreas urbanas. Anais eletrônicos do Workshop sobre Reuso. Campina Grande, PB, 2005.

GONÇALVES, R. F.; JORDÃO, E. P. Introdução. In: GONÇALVES, R. F. (coord.). **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 1-28.

GONÇALVES, R. F.; KELLER, R. P.; FRANCI, T. K. Análise comparativa das práticas de reúso de água cinza em edificações urbanas na Alemanha e no Brasil. **Revista DAE**, São Paulo, v. 67, n. 217, p. 75-89, 2019. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2019.024>

GONÇALVES, R. F.; SIMÕES, G. M. S.; WANKE, R. Reuso de águas cinzas em edificações urbanas: estudo de caso em Vitória (ES) e Macaé (RJ). **Revista AIDIS**, Cidade do México, v. 3, n. 1, p. 120-131, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**: amostra – famílias. Brasília, DF: IBGE, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/23/24161>. Acesso em: 28 nov. 2021.

MIERZWA, J. C. *et al.* Avaliação econômica dos sistemas de reuso de água em empreendimentos imobiliários. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta Del Este. **Anais [...]**. Punta Del Este: AIDS, 2006.

MINAS GERAIS (Estado). **Resolução ARSAE-MG nº 154, de 28 de junho de 2021**. Autoriza a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa a aplicar aos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário prestados as tarifas constantes do Anexo I desta resolução, aprova as regras a serem observadas pela Copasa para o próximo ciclo tarifário e dá outras providências. Belo Horizonte, MG, 29 jun. 2021. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=53949>. Acesso em: 13 set. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Cartilha Moradias Sustentáveis**: economia e durabilidade. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/mma-orienta-sobre-obras-sustentaveis>. Acesso em: 14 set. 2024.

PEREIRA, G. R. *et al.* Marketing verde: fatores da geração Z sobre questões ambientais. **Consumer Behavior Review**, Recife, v. 1, n. 2, p. 58-72, 2017.

PIRES, F. M. **Análise do comportamento sustentável das empresas do setor da construção civil da Grande Florianópolis**. 2008. Monografia (Especialização em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

RIAUDO, J.-D.; NEVERRE, N.; MONTGINOUL, M. Simulating the impact of pricing policies on residential water demand: a southern France case study. **Water Resources Management**,



[s. l.], v. 26, p. 2057-2068, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-9998-z>

SANT'ANA, D.; BOEGER, L.; VILELA, L. Aproveitamento de águas pluviais e o reuso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília – Parte 2: viabilidade técnica e econômica. **Paranoá**, Brasília, DF, v. 6, n. 10, p. 85-93, 2013. <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n10.2013.12126>

SCRAMIN, L. Unicamp desenvolve tecnologia para construções mais sustentáveis. **Jornal da Unicamp**, Campinas, 24 maio 2022. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2022/05/24/unicamp-desenvolve-tecnologia-para-construcoes-mais-sustentaveis>. Acesso em: 16 set. 2023.

TOMAZ, Plínio. Aproveitamento de água de chuva de telhados em áreas urbanas para fins não potáveis: diretrizes básicas para um projeto. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA, 6., Belo Horizonte, 2007.

ZAULI, A. O. **Uso eficiente de água em edificações residenciais**. 2013. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

ZHAO, C.; LIU, M; WANG, K.. Monetary valuation of the environmental benefits of green building: a case study of China. **Journal Of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 365, e132704, 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132704>