

Universidade do Minho
Escola de Economia e Gestão

Beatriz Soares da Costa

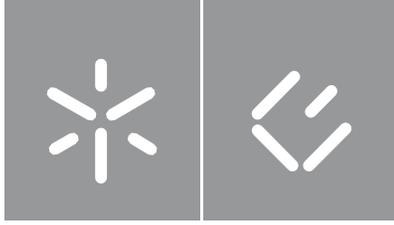
Economia Circular no Setor da Construção

**Economia Circular no
Setor da Construção**

Beatriz Soares da Costa

UMinho | 2022

abril de 2022



Universidade do Minho
Escola de Economia e Gestão

Beatriz Soares da Costa

Economia Circular no Setor da Construção

Projeto de Mestrado
Mestrado em Gestão e Negócios

Trabalho efetuado sob a orientação da
**Professora Doutora Elisabete Maria
Sampaio Sá**

abril de 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgal
CC BY-NC-SA

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Agradecimentos

A realização deste projeto tem uma importância significativa para o meu percurso académico e para a minha realização pessoal e tal não seria possível sem a presença de algumas pessoas a quem não poderia deixar de expressar os meus mais sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha orientadora, Professora Doutora Elisabete Sá pela confiança que depositou em mim para a realização deste projeto e pelo constante apoio, disponibilidade e dedicação que sempre demonstrou ao longo destes meses e que foram cruciais para a realização deste trabalho. Foi sem dúvida uma peça fundamental para a conclusão deste projeto, pelo que estou verdadeiramente agradecida.

Gostaria também de agradecer à minha família pelo apoio incondicional, pela paciência e pela motivação que me deram ao longo destes anos e que foram fundamentais para o meu percurso.

A todos, o meu muito obrigada.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Economia Circular no Setor da Construção

Sumário Executivo

Atualmente, o setor da construção é dos que mais contribui para o desenvolvimento insustentável. Com fortes impactos ao nível ambiental, social e económico, este setor é responsável por um elevado consumo de recursos e energia e produção de resíduos. Isto deve-se ao facto de, na maioria dos casos, este setor adotar um modelo linear, onde os recursos têm apenas uma única utilização, e onde a sua reutilização não é uma preocupação. Desta forma, tem-se sentido cada vez mais a necessidade de uma mudança de paradigma neste setor, com a adoção do modelo da Economia Circular (EC), que tem como objetivo manter os recursos num circuito fechado, retendo ao máximo o seu valor. Este modelo tem um grande potencial para a redução da produção de resíduos e extração de recursos, e por isso permite melhorar consideravelmente a sustentabilidade deste setor. No entanto, este modelo ainda enfrenta muitas barreiras que têm atrasado a sua adoção, como a falta de informação dos consumidores acerca das vantagens deste tipo de construção. Além disso, uma habitação totalmente autossustentável baseada nos princípios da Economia Circular requer um investimento inicial muito elevado, que é inalcançável para a maioria dos consumidores.

Assim, este projeto, realizado em colaboração com a empresa Vizelpas, tem como objetivo identificar as principais componentes de uma casa construída de acordo com os princípios da sustentabilidade mais valorizadas pelos consumidores, bem como avaliar a sua sensibilidade ao custo, de modo a estabelecer uma base para a tomada de decisão dos construtores que pretendam priorizar algumas destas componentes. Para isso, começou-se por rever a literatura e identificar as estratégias assentes nos princípios da Economia Circular que permitem tornar este setor mais sustentável nas componentes do *design*, dos materiais, da energia e da água. Numa fase seguinte, foi adotado o método Delphi, para perceber, junto de especialistas da construção sustentável, em quais das estratégias há uma maior probabilidade dos consumidores reconhecerem o seu valor até 2030 e em relação às quais existe uma menor sensibilidade ao preço. O estudo foi desenvolvido em duas rondas, tendo participado na primeira 22 especialistas de 15 países diferentes, dos quais 14 completaram a segunda ronda.

Palavras-chave: Ciclo de vida, Desenvolvimento Sustentável, Economia Circular, Estratégias da EC, Setor da Construção

Circular Economy in the Construction Sector

Executive summary

Nowadays, the construction sector is one of the major contributors to unsustainable development. With strong environmental, social and economic impacts, this sector is responsible for a high consumption of resources and energy and waste production. This is due to the fact that, in most cases, this sector adopts a linear model, where resources have only one use, and where their reuse is not a concern. As a result, it has been increasingly felt the need for a paradigm shift in this sector, with the adoption of the Circular Economy (CE) model, which aims to keep resources in a closed loop, retaining their value to the maximum. This model has great potential for reducing waste production and resource extraction, and therefore allows for considerable improvement in the sustainability of this sector. However, this model still faces many barriers that have delayed its adoption, such as consumers' lack of information about the advantages of this type of construction. In addition, a fully self-sustainable housing based on Circular Economy principles requires a very high initial investment, which is unaffordable for most consumers.

In this way, this project, carried out in collaboration with the company Vizelpas, aims to identify the main components of a house built according to the principles of sustainability most valued by consumers, as well as to evaluate their sensitivity to cost, in order to establish a basis for decision making for builders who wish to prioritize some of these components. To this end, the first step was to review the literature and identify the strategies based on Circular Economy principles that allow this sector to become more sustainable in the components of *design*, materials, energy and water. In a next stage, the Delphi method was adopted to understand, among sustainable construction specialists, in which of the strategies consumers are more likely to recognize their value by 2030 and for which there is less price sensitivity. The study was developed in two rounds, having participated in the first round 22 experts from 15 different countries, 14 of which completed the second round.

Keywords: CE Strategies, Circular Economy, Construction Sector, Life Cycle, Sustainable Development

Índice

Lista de tabelas e figuras	viii
Siglas	ix
1.INTRODUÇÃO	1
2.REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1.Desenvolvimento sustentável e o impacto ambiental do setor da construção	4
2.2.Economia Circular na construção	5
2.2.1.Barreiras	8
2.2.2.Benefícios	10
2.3.Estratégias para a implementação da Economia Circular no setor da construção	12
2.3.1.Arquitetura e <i>design</i> do edifício	15
2.3.2.Energia	17
2.3.3.Água	20
2.3.4.Materiais e Recursos	21
3.METODOLOGIA	24
3.1.Método de Delphi	24
3.2.Seleção dos especialistas	27
3.3.Instrumento de recolha de dados	32
3.4.Análise dos dados	35
4.RESULTADOS	38
4.1.Considerações Gerais	38
4.2.Projeções A	39
4.3.Projeções B	41
4.4.Projeções C	47
4.5.Projeção D	53
5.CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
Apêndice A	68
Apêndice B	69

Lista de tabelas e figuras

Tabela 1. Estratégias de Economia Circular na componente de arquitetura e design.....	16
Tabela 2. Estratégias de Economia Circular na componente de energia.....	19
Tabela 3. Estratégias de Economia Circular na componente da água.....	20
Tabela 4. Estratégias de Economia Circular na componente de materiais.....	23
Tabela 5A. Caracterização do painel.....	30
Tabela 5B. Caracterização do painel: Informação Profissional.....	68
Tabela 6. Projeções avaliadas pelo painel.....	33
Tabela 7. Resultados das Projeções A.....	40
Tabela 8. Resultados das Projeções B.....	42
Tabela 9. Resultados das Projeções C.....	48
Tabela 10. Resultados das Projeções D.....	54
Figura 1. Estratégias para a transição da Economia Circular.....	14
Figura 2. Síntese das estratégias da Economia Circular no setor da construção.....	23
Figura 3. Anos de experiência dos especialistas.....	31
Figura 4. Nível de experiência dos especialistas.....	31
Figura 5. Estimativas de probabilidade média na componente do Design.....	43
Figura 6. Estimativas de probabilidade média na componente dos Materiais.....	44
Figura 7. Estimativas de probabilidade média na componente da Energia.....	45
Figura 8. Estimativas de probabilidade média na componente da Água.....	46
Figura 9. Estimativas de sensibilidade média na componente do Design.....	49
Figura 10. Estimativas de sensibilidade média na componente dos Materiais.....	50
Figura 11. Estimativas de sensibilidade média na componente da Energia.....	51
Figura 12. Estimativas de sensibilidade média na componente da Água.....	52
Figura 13. Valor e sensibilidade ao preço das quatro estratégias – média das estimativas da 2ª ronda ...	57

Siglas

AVA: Sistema de aquecimento, ventilação e arrefecimento

CESBE: *Circular Economy for a Sustainable Built Environment*

CS: Construção Sustentável

CV: Coeficiente de Variação

EC: Economia Circular

EDCE: *Engineering Design for a Circular Economy*

EDGE: Excelência em Design para Maior Eficiência

GBCD: *Green Building Council Denmark*

GBCI: *Green Business Certification Inc*

IQR: Intervalo Interquartil

LEED: *Leadership in Energy and Environmental Design*

PIB: Produto Interno Bruto

1. INTRODUÇÃO

Sendo responsável por 13% do Produto Interno Bruto (PIB) e empregando 7% da população a nível mundial, a construção é um dos maiores setores da economia global, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento económico e social de um país (Acharya, Boyd & Finch, 2018; Darko & Chan, 2017; Díaz-López, Carpio, Martín-Morales & Zamorano, 2021; Liu & Lin, 2016; Ruiz, Ramón & Domingo, 2020; Zhang, Wu & Liu, 2018). No entanto, o rápido crescimento da urbanização, ao longo dos últimos anos, que tem impulsionado o setor, está associado a importantes impactos ambientais, uma vez que a construção é responsável não só pelo consumo de um grande volume de recursos e energia, mas também pela emissão de gases com impactos irreversíveis no meio ambiente (Araujo, Carneiro & Palha, 2020; Darko & Chan, 2017; Liu & Lin, 2016; Perveen, Kamruzzaman & Yigitcanlar, 2017; Pomponi & Moncaster, 2017; Tserng, Chou & Chang, 2021). Com a população mundial a seguir uma tendência crescente, esperando-se um aumento de 2 mil milhões de pessoas até 2050, também a área da construção irá aumentar significativamente, e com ela a utilização global de recursos, que se estima que atinja 90 mil milhões de toneladas nos próximos 30 anos, o dobro da quantidade registada em 2015 (Acharya et al., 2018; Guerra, Shahi, Molleai, Skaf, Weber, Leite & Haas, 2021; Joensuu, Edelman & Saari, 2020). Consequentemente, o meio ambiente irá sofrer uma pressão ainda mais elevada, com efeitos significativos nos recursos, designadamente ao nível da água e energia e nos resíduos gerados (Acharya et al., 2018; Ruiz et al. 2020). Desta forma, apesar do contributo significativo deste setor para o desenvolvimento, dado o seu atual modo de funcionamento, este não é um desenvolvimento sustentável (Araujo et al., 2020; Darko & Chan, 2017; Guerra & Leite, 2021; Luo, Kanzaki & Matsushita, 2017; Manoliadis, Tsolas & Nakou, 2006; Ogunmakinde, Egbelakin & Sher, 2022).

Tendo em conta o seu impacto negativo, existe cada vez mais a necessidade de se implementar medidas que vão ao encontro dos princípios de desenvolvimento sustentável neste setor (Darko & Chan, 2017; Hossain, Ng, Antwi-Afari & Amor, 2020; Joensuu et al., 2020; Manoliadis et al., 2006). A aplicação dos princípios da Economia Circular no setor da construção afigura-se como uma forma de mitigação dos seus impactos (Araujo et al., 2020; Bocken, Pauw, Bakker & Grinten, 2016; Gan, Zuo, Ye, Skitmore, & Xiong, 201; Hossain et al., 2020; Tserng et al., 2021; Zhang et al., 2018). Este modelo representa uma nova abordagem de construção baseada nos princípios da sustentabilidade, não apenas ao nível ambiental, mas também económico, considerando os custos ao longo de todo o ciclo de vida de um edifício, e social, tendo em conta a saúde e bem-estar dos consumidores (Darko & Chan, 2017; Díaz-López et al., 2021; Leising, Quist & Bocken, 2018; Rosa, Sassanelli & Terzi, 2019). Dentro desta abordagem, os edifícios são planeados,

concebidos, mantidos e desconstruídos utilizando uma gestão mais eficiente dos recursos e da energia, mantendo-os num circuito fechado, utilizando materiais sustentáveis e energia de fontes renováveis, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais (Acharya et al., 2018; Alhilli & Burhan, 2021; Darko & Chan, 2017; Hossain et al., 2020; Hwang & Tan, 2012). Assim, através de uma melhor gestão dos recursos, este modelo permite reduzir o seu consumo excessivo, substituindo-se o conceito de fim de vida pela reutilização, reciclagem, recuperação e renovação dos materiais e dos processos de produção e consumo (De los Rios & Charnley, 2017; Guerra & Leite, 2021; Mhatre, Gedam, Unnikrishnan & Verma, 2021; United Nations Environment Programme, 2020).

Apesar de, ao longo dos últimos anos, este novo modelo ter vindo a ganhar cada vez mais importância no setor da construção (Luo et al., 2017; Pomponi & Moncaster, 2017; Ruiz et al., 2020; Tserng et al., 2021), a sua adoção ainda enfrenta muitas barreiras em todo o mundo, o que tem atrasado a sua implementação (Darko & Chan, 2017; Díaz-López et al., 2021; Tserng et al., 2021). A falta de informação, a falta de incentivos, o elevado custo e a consequente falta de interesse dos consumidores e procura do mercado são considerados as principais barreiras que têm dificultado o crescimento da construção sustentável (Bond, 2011; Darko & Chan, 2017; Guerra & Leite, 2021; Hwang & Tan, 2012; Luthra, Kumar, Garg & Haleem, 2015; Williams & Dair, 2007). Apesar da urgência de soluções para o problema de sustentabilidade ambiental global, atualmente, os fatores sociais e ambientais continuam a ser descurados quando se analisa a viabilidade de qualquer projeto, e no setor da construção isso não é exceção, sendo o fator económico a principal preocupação quer dos consumidores finais quer dos especialistas na área (Gan et al., 2015; Oloade & Rametse, 2018). As soluções para tornar a construção num setor sustentável estão, efetivamente, associadas a um custo inicial elevado, que é inalcançável para a maioria das pessoas (Ofek, Akron & Portnov, 2018; Zhang et al., 2018). Assim, para promover uma maior adoção por parte do mercado, torna-se relevante explorar as componentes da construção sustentável mais valorizadas pelos consumidores, de forma a priorizá-las numa possível transição progressiva para a construção assente nos princípios da Economia Circular.

Ao longo dos anos, a pesquisa na área da Economia Circular no setor da construção tem incidido essencialmente em temas como o custo e benefício deste tipo de modelo (Olawumi e Chan 2018; Zhang et al., 2018) e nas barreiras à sua implementação (Bond, 2011; Darko & Chan, 2017; Guerra & Leite, 2021; Hossain et al., 2020; Hwang & Tan, 2012; Liu & Lin, 2016; Luthra et al., 2015; Mahpour, 2018; Manoliadis et al., 2006; Nuñez-Cacho, Górecki, Molina-Moreno & Corpas-Iglesias, 2018; Williams & Dair, 2007). Além disso, têm também sido desenvolvidos estudos que avaliam os fatores que podem influenciar as pessoas a optar por uma construção assente neste modelo (Juan, Hsu & Xie, 2017; Oloade & Rametse, 2018). No

entanto, apesar de haver inúmeros estudos e investigações nesta área, são poucas as que fazem uma avaliação às principais componentes da construção sustentável (Manoliadis et al., 2006; Nuñez-Cacho et al., 2018). O projeto desenvolvido pretende contribuir para reduzir esta lacuna e simultaneamente dar resposta ao desafio colocado pela empresa Vizelpas, que atua maioritariamente no setor dos plásticos, mas tenciona expandir a sua atividade na área da construção sustentável. Desta forma, esta investigação visa dar resposta à seguinte pergunta: *Quais as componentes da construção sustentável assente nos princípios da Economia Circular que os consumidores mais valorizam e em relação às quais existe menor sensibilidade ao custo?*

Para responder a esta questão, a investigação recorre ao método de Delphi. Este consiste numa técnica de investigação baseada na comunicação de grupo sistemática e interativa, tendo como objetivo obter o julgamento e, sempre que possível, o consenso nas opiniões de um grupo de especialistas sobre um tema complexo e, normalmente, apresentado de forma prospetiva (Beiderbeck, Frevel, von der Gracht, Schmidt & Schweitzer, 2021; Okoli & Pawlowski, 2004; Olawumi & Chan, 2018; Landeta, 2006; Tunn, Bocken, van den Hende & Schoormans, 2019). Este método permite ajudar no processo de tomada de decisão e na previsão do desenvolvimento de um tema específico através de questionários, em várias rondas, com *feedback* controlado (Grover, Emmitt & Copping, 2020; Landeta, 2006; Manoliadis et al., 2006; Tunn et al., 2019). Esta abordagem foi considerada mais adequada do que a obtenção de dados diretamente a partir dos consumidores, uma vez que a literatura sugere que os consumidores finais nem sempre conseguem fazer essa avaliação porque, por um lado, podem ser influenciados pelas emoções e valores, e por outro lado, porque podem ter conhecimentos limitados que condicionam a sua capacidade cognitiva para analisar racionalmente um determinado problema, ao contrário dos agentes do setor que conseguem mais facilmente fornecer uma opinião baseada em factos (Hussler, Muller & Rondé, 2011). Nesse sentido, este estudo foca-se nos especialistas na área, para analisar de forma prospetiva, a transição Circular no setor da construção para o mercado *business-to-consumer*. Participaram no estudo 22 especialistas de 15 países, tendo 14 completado a primeira e a segunda ronda.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Desenvolvimento sustentável e o impacto ambiental do setor da construção

O desenvolvimento sustentável é definido como a capacidade para satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas (Alhilli & Burhan, 2021; Anastasiades, Blom, Buyle & Audenaert, 2020; Darko & Chan, 2017; Manoliadis et al., 2006). Nesta perspetiva, o desenvolvimento sustentável está relacionado com os padrões de consumo e com modos de produção, tendo como objetivo central a eficiência e o uso ambientalmente responsável dos recursos para satisfazer as necessidades das populações e melhorar a sua qualidade de vida (Manoliadis et al., 2006; Nuñez-Cacho et al., 2018).

Atualmente, o setor da construção é um dos principais geradores de resíduos a nível mundial e consumidor de grandes quantidades de energia e de recursos ao longo de todo o processo de produção, tornando-se no setor económico menos sustentável e o mais prejudicial para o meio ambiente (Araujo et al., 2020; Darko & Chan, 2017; Gan et al., 2015; Juan et al., 2017; Liu & Lin, 2016; Luo et al., 2017; Manoliadis et al., 2006; Nuñez-Cacho et al., 2018; Pomponi & Moncaster, 2017; Tserng et al., 2021). De acordo com o *United Nations Environment Programme* (2020), em 2019 o setor da construção foi responsável por 38% das emissões totais de CO₂, por mais de 50% da eletricidade consumida a nível mundial e por 35% do consumo de energia global. Estes dados vêm afirmar o setor da construção como o que mais consome energia em todo o mundo (Akhanova, Nadeem, Kim & Azhar, 2019; Aşchilean, Cobîrzan, Bolboaca, Boieru & Felseghi, 2021; Luo et al., 2017; Schuetze, Lee & Lee, 2013). Para além da sua contribuição para as emissões e consumo de energia, este setor exerce uma pressão significativa sobre os recursos globais, sendo responsável por 25% dos resíduos sólidos que são gerados a nível mundial e pela extração de cerca de 30% dos recursos naturais (Akhanova et al., 2019; Benachio, Freitas & Tavares, 2020; Guerra et al., 2021). Até 2025 é esperado que sejam geradas 2,2 mil milhões de toneladas de resíduos por ano em todo o mundo devido à Construção e Demolição neste setor, e apesar de estes materiais terem um elevado potencial de reutilização, atualmente apenas 40% destes resíduos são reutilizados, sendo os restantes enviados para aterros (Guerra et al., 2021).

Apesar de nos últimos anos se ter verificado uma melhoria na sua eficiência energética, estes dados são o reflexo de que este setor continua a ser baseado num modelo económico linear de *take, make, consume, dispose* (Benachio et al., 2020; Guerra & Leite, 2021; Guerra et al., 2021; Joensuu et al., 2020; Leising et

al., 2018; Mahpour, 2018; Ruiz et al., 2020; Tserng et al., 2021; Wijewickrama, Rameezdeen & Chileshe, 2021). Este modelo assenta na produção em massa e no consumo de recursos de forma insustentável, no qual os materiais utilizados e o tipo de construção são definidos para uma única utilização (Anastasiades et al., 2020; Benachio et al., 2020; Guerra & Leite, 2021; Nuñez-Cacho et al., 2018). Isto significa que os recursos são eliminados no fim da sua vida útil e, não havendo reutilização, faz com que este seja o setor que mais consome recursos a nível mundial (Acharya et al., 2018). Desta forma, este modelo linear tem conduzido ao longo dos anos a uma pressão crescente e ao esgotamento dos recursos naturais, a um elevado consumo de energia, a um aumento da produção de resíduos e da poluição, com grandes emissões de gases com efeito de estufa e a um aumento do custo dos materiais de construção (Guerra et al., 2021; Ruiz et al., 2020).

2.2. Economia Circular na construção

De forma a reverter esta situação e a promover a sustentabilidade neste setor, torna-se indispensável uma mudança de paradigma com a adoção de um modelo assente nos princípios da Economia Circular, capaz de proporcionar e estimular a construção sustentável em todas as fases do processo (Gan et al., 2015; Hossain et al., 2020; Luo et al., 2017; Nuñez-Cacho et al., 2018). Este é um conceito de extrema importância para este setor, pois permite a inovação ao longo de toda a cadeia de produção, consumo, distribuição e recuperação de produtos, com vista à sustentabilidade (Ghisellini, Ripa & Ulgiati, 2018; Joensuu et al., 2020; Luo et al., 2017). Este modelo começou a ter um maior impacto depois de a Fundação Ellen MacArthur ter publicado um conjunto de relatórios que promovem as diversas oportunidades e benefícios que a Economia Circular tem no setor da construção (Benachio et al., 2020; Bocken et al., 2016; Eberhardt, Birkved & Birgisdottir, 2020; Gallego-Schmid, Chen, Sharmina & Mendoza, 2020; Leising et al., 2018).

O conceito de “edifício verde” foi formalmente anunciado em 1992 na Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento, onde foi defendido que os edifícios devem ser capazes de satisfazer as necessidades dos seus utilizadores com reduzidos impactos ambientais (Liu & Lin, 2016). Desta forma, este tipo de construção é definido como aquele que procura criar estruturas e utilizar processos ambientalmente responsáveis e eficientes ao longo de todo o ciclo de vida dos edifícios, com o objetivo de diminuir os impactos negativos no meio ambiente (Alhilli & Burhan, 2021; Li & Yao, 2012; Luo et al., 2017; Steinemann, Wargocki & Rismanchi, 2017; Zhang et al., 2018; Zhu, 2018). Tendo por base os princípios do desenvolvimento sustentável, os edifícios verdes, procuram uma utilização eficiente da energia, da água e dos materiais, uma melhor qualidade ambiental interior, uma melhor gestão dos resíduos e a minimização

das externalidades negativas no ambiente (Akadiri, Chinyio & Olomolaiye, 2012; Joensuu et al., 2020; Luo et al., 2017; Steinemann et al., 2017; Zhang et al., 2018; Zhu, 2018).

Esta mudança de paradigma na indústria da construção, com a adoção dos edifícios verdes, tem dado origem ao modelo de Economia Circular (Benachio et al., 2020). Este modelo tem vindo a ganhar uma importância cada vez maior por criar uma oportunidade para otimizar e promover a sustentabilidade em todas as fases do processo de construção (Alhilli & Burhan, 2021; Aşchilean et al., 2021; Hossain et al., 2020; Luo et al., 2017; Zhang et al., 2018).

Enquanto que o modelo predominante de construção se centra essencialmente em questões como o custo, o desempenho e a qualidade, a construção sustentável acrescenta as vertentes sociais e ambientais, centrando-se em questões como a minimização da degradação ambiental e a criação de um ambiente construído saudável, garantindo a saúde e bem-estar dos consumidores (Aşchilean et al., 2021; Sev, 2009). As estratégias Circulares contribuem para esta sustentabilidade na construção ao terem como principal objetivo uma melhor gestão dos recursos, retendo ao máximo o seu valor e reduzindo a necessidade de recursos adicionais ao mantê-los num circuito fechado, permitindo também reduzir os resíduos produzidos (Benachio et al., 2020; Guerra & Leite, 2021; Hasheminasab, Zolfani, Kharrazi & Streimikiene, 2022; Hossain et al., 2020).

Embora não haja uma definição única para o conceito de Economia Circular na construção, todas se alinham num princípio geral comum de contribuir para o desenvolvimento sustentável, através da implementação de práticas que permitam uma melhor e mais eficiente gestão dos recursos, da energia e dos resíduos que são gerados (Benachio et al., 2020; Guerra & Leite, 2021; Hossain et al., 2020; Joensuu et al., 2020; Luo et al., 2017; Ruiz et al., 2020). A definição mais adotada é a da Fundação Ellen MacArthur, que descreve a Economia Circular como um sistema regenerativo, económico e industrial que tem como objetivo reduzir os efeitos negativos do setor da construção, procurando sempre manter os produtos, as componentes e os materiais no seu maior valor e utilidade em todas as fases do ciclo de vida, mantendo-os num circuito fechado (Benachio et al., 2020; Leising et al., 2018; Norouzi, Chàfer, Cabeza, Jiménez & Boer, 2021; Rosa et al., 2019; Ruiz et al., 2020). Desta forma, a ideia principal é reter o valor dos recursos o maior tempo possível, e por isso, quando um produto chegar ao fim da sua vida, este vai poder ser usado de forma repetida como um recurso secundário, permitindo assim reduzir e evitar a entrada de novos materiais, e consequentemente, minimizar a produção de resíduos (Guerra et al., 2021; Joensuu et al., 2020; Ruiz et al., 2020).

Nos dias de hoje, a construção sustentável é encarada como uma medida de apoio que permite alcançar uma economia mais saudável, ajudando a reduzir o impacto negativo que este setor tem no ambiente e na sociedade, estando por isso relacionado com o desenvolvimento sustentável (Liu, Pypłacz, Ermakova & Konev, 2020; Ofek et al., 2018, Ünal, Urbinati, Chiaroni, & Manzini, 2019). A utilização desta nova abordagem no setor da construção promove melhorias significativas na sustentabilidade, tendo por base o princípio fundamental da diminuição dos impactos negativos sobre o meio ambiente através da utilização de materiais sustentáveis, da utilização eficiente da energia, água e materiais e da reciclagem e da reutilização, de forma a evitar a produção desnecessária de resíduos e a sua deposição em aterros (Anastasiades et al., 2020; Hossain et al., 2020; Mahpour, 2018; Nuñez-Cacho et al., 2018; Zhang et al., 2018). Assim, o modelo de Economia Circular permite reduzir as externalidades negativas que são geradas pelo setor da construção (Benachio et al., 2020; Sev, 2009; Zhang et al., 2018).

A Economia Circular, sendo um conceito sustentável, contribui de forma significativa para alcançar os objetivos do Desenvolvimento Sustentável nomeadamente para os objetivos 3 (boa saúde e bem-estar), 7 (energia limpa e acessível), 9 (indústria, inovação e infraestruturas), 11 (cidades e comunidades sustentáveis), 12 (produção e consumo responsável) e 13 (ação climática) (Ogunmakinde et al., 2022; United Nations Environment Programme, 2020). Como tal, a Economia Circular no setor da construção é um modelo económico que permitir contribuir para os três pilares (económico, social e ambiental) do desenvolvimento sustentável em todas as fases do processo (Alhilli & Burhan, 2021; Benachio et al., 2020; Gan et al., 2015; Manoliadis et al., 2006; Mhatre et al., 2021; Ogunmakinde et al., 2022; Rosa et al., 2019).

Em termos ambientais, este modelo permite, não só reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e o desperdício, através da redução da quantidade de materiais que são enviados para os aterros sanitários, como também conservar os recursos naturais e reduzir a quantidade de recursos necessários, aumentando a sua eficiência e recorrendo à reutilização (Minunno, O'Grady, Morrison, Gruner & Colling, 2018; Ogunmakinde et al., 2022). Com a adoção deste modelo, a Fundação Ellen MacArthur prevê uma redução de 32% em 2030 e 53% em 2050 na utilização de material finito pelas indústrias, assim como uma redução de 7% na pegada de carbono até 2035 (Ogunmakinde et al., 2022).

A adoção deste novo modelo também tem efeitos positivos ao nível do crescimento económico, através da criação de novos postos de trabalho e contribuindo para o PIB dos países (Ogunmakinde et al., 2022). Segundo a Fundação Ellen MacArthur, quando a eficiência dos recursos for aumentada em 30%, a Economia Circular vai conseguir aumentar o PIB em 1% e gerar cerca de dois milhões de empregos em todo o mundo até 2030 (Ogunmakinde et al., 2022). Além disso, a transição para a Economia Circular no setor

da construção permite aumentar a produtividade e reduzir os custos de construção nas matérias-primas e na energia, através da utilização de energias renováveis e da reutilização dos materiais, assim como inovar a conceção de novos produtos, gerando novas oportunidades de mercado para as empresas (Ogunmakinde et al., 2022). Em termos empresariais, a transição para um modelo Circular irá permitir às empresas uma poupança de até 630 mil milhões de dólares em custos de material até 2025, e um aumento de cerca de 50% dos seus lucros por via da recuperação e refabricação de materiais (Ogunmakinde et al., 2022).

Além dos aspetos económicos e ambientais, a Economia Circular tem também uma vertente social, na medida em que permite responder às necessidades sociais existentes (Ogunmakinde et al., 2022). Uma economia que é baseada na circularidade tem como base uma economia de partilha, que permite criar uma plataforma de interação entre os membros de uma sociedade, através de uma rede de partilha e reutilização de recursos (Ogunmakinde et al., 2022; Pomponi & Moncaster, 2017). Além disso, a Economia Circular permite também aumentar o bem-estar e a saúde da comunidade, assim como ajudar a promover a igualdade social, uma vez que a implementação deste tipo de modelo tem impacto em toda a sociedade (Luo et al., 2017; Ogunmakinde et al., 2022; Zhang et al., 2018). Apesar de ao longo dos anos terem vindo a ser adotadas medidas que procuram mitigar os impactos negativos que o setor da construção tem no meio ambiente (Luo et al., 2017; Mhatre et al., 2021; Shi & Chew, 2012; Zhang et al., 2018), esta mudança de paradigma ainda só é aceite por menos de 10% das economias mundiais (Fořt & Āerný, 2020).

2.2.1. Barreiras

A Economia Circular no setor da construção tem como objetivo minimizar os impactos negativos que este setor tem, não só no meio ambiente, mas também na saúde humana, nos recursos e no consumo (Darko & Chan, 2017; Zhang et al., 2018). No entanto, apesar da sua extrema importância, ainda existem diversas barreiras que têm dificultado e atrasado a adoção deste tipo de construção (Bond, 2011; Darko & Chan, 2017; Guerra & Leite, 2021; Hossain et al., 2020; Hwang & Tan, 2012; Liu & Lin, 2016; Luthra et al., 2015; Mahpour, 2018; Manoliadis et al., 2006; Nuñez-Cacho et al., 2018; Williams & Dair, 2007).

Para que um determinado modelo seja aceite pela sociedade é necessário que as pessoas tenham interesse na mudança, o que não acontece de forma generalizada neste caso (Darko & Chan, 2017; Guerra & Leite, 2021; Guerra et al., 2021). Esta falta de interesse está muito relacionada com o desconhecimento dos potenciais benefícios da Economia Circular no setor da construção, o que tem dificultado a sua adoção,

tornando-se numa das principais barreiras à implementação deste novo modelo de construção (Benachio et al., 2020; Darko & Chan, 2017; Guerra & Leite, 2021; Guerra et al., 2021; Luthra et al., 2015; Mahpour, 2018). Os consumidores não são os únicos intervenientes neste setor, mas dado que são os que definem o modelo de construção que desejam, torna-se mais difícil implementar práticas sustentáveis por parte dos agentes de construção quando os consumidores não demonstram esse interesse (Darko & Chan, 2017).

Uma outra barreira que tem dificultado a adoção deste tipo de construção está relacionada com o seu custo inicial mais elevado (Darko & Chan, 2017; Guerra & Leite, 2021; Zhang et al., 2018). Os edifícios que seguem esta filosofia podem custar 20 vezes mais do que os edifícios tradicionais, devido não só ao uso de materiais mais caros, como também aos elevados custos de conceção e os custos mais elevados com recursos, como a mão de obra, devido à sua especialização e complexidade que são requeridas (Darko & Chan, 2017; Ofek et al., 2018). No entanto, quando se analisa o custo de um determinado projeto não se pode ter apenas em consideração o preço que se paga pela sua realização, mas também os custos e os benefícios futuros e externos ao projeto, como os benefícios ambientais que esse projeto pode ter (Darko & Chan, 2017; Zhang et al., 2018). Ou seja, há vantagens de custo que, apesar de não serem visíveis no momento da realização do projeto, não devem ser esquecidos quando se analisa a sua viabilidade, e por isso, no que diz respeito à construção assente no modelo da Economia Circular, é necessário ter em consideração outros aspetos para além do seu custo inicial (Darko & Chan, 2017; Juan et al., 2017; Zhang et al., 2018). Desta forma, o escasso conhecimento sobre a viabilidade económica deste tipo de construção continua a ser uma grande barreira na adoção da Economia Circular, uma vez que o setor empresarial tem uma grande preocupação de que os custos iniciais envolvidos neste tipo de construção possam prejudicar o desempenho financeiro da sua oferta (Darko & Chan, 2017; Guerra & Leite, 2021; Zhang et al., 2018).

Devido ao elevado custo que este tipo de construção implica e à falta de conhecimento sobre este novo modelo, é fundamental que se tomem medidas de incentivo à sua implementação (Benachio et al., 2020). A falta destes incentivos representa a terceira grande barreira à implementação da Economia Circular neste setor (Darko & Chan, 2017; Guerra & Leite, 2021; Guerra et al., 2021). A criação de políticas de incentivo, como por exemplo incentivos financeiros por parte do governo, iria facilitar e impulsionar a sua implementação (Benachio et al., 2020; Darko & Chan, 2017; Guerra & Leite, 2021). Estes incentivos, quando dirigidos aos consumidores, poderão ajudar a pagar ou a compensar parcialmente o custo adicional envolvido nos projetos assentes neste modelo, o que permitiria reduzir os efeitos da barreira dos custos elevados (Darko & Chan, 2017). Além disso, os estudos revelam que os construtores, ao serem responsáveis por um terço dos resíduos gerados por este setor, têm um papel decisivo na sua redução e por isso, através da implementação deste tipo de incentivos para os construtores seria possível reduzir os impactos ambientais

de forma significativa, através da adoção de práticas que permitam reutilizar e reduzir a produção de resíduos (Liu & Lin, 2016; Wibowo, Handayani & Mustikasari, 2018).

Assim, o modelo de construção sustentável ainda é relativamente recente e por isso é necessário um maior desenvolvimento do conhecimento e dos instrumentos necessários para que seja possível a sua adoção mais generalizada pela indústria (Bond, 2011; Darko & Chan, 2017; Hossain et al., 2020; Hwang & Tan, 2012). O caso da construção é particularmente desafiante, uma vez que neste setor a inovação demora mais tempo a ser implementada devido ao facto de os edifícios serem, na maioria das vezes, projetos de longa duração, o que dificulta a implementação da Economia Circular (Araujo et al., 2020; Benachio et al., 2020; Pomponi & Moncaster, 2017; Sev, 2009). Isto implica que o modo como um edifício é concebido tem repercussões a longo prazo no desempenho ambiental de uma estrutura (Sev, 2009).

Por outro lado, apesar de se considerar que este setor tem um grande potencial para implementar esta nova abordagem da Economia Circular, a sua concretização é uma tarefa bastante desafiante que requer drásticas mudanças não só na indústria, mas também na sociedade, relacionadas essencialmente com a gestão dos resíduos e do funcionamento das empresas (Hossain et al., 2020; Ruiz et al., 2020). Assim, devido ao consumo excessivo de recursos e aos efeitos negativos que este setor tem para o meio ambiente, torna-se especialmente relevante a mudança de paradigma neste setor, sendo esta uma das indústrias prioritárias para a implementação deste novo modelo (Benachio et al., 2020; Ruiz et al., 2020).

2.2.2. Benefícios

Há um conjunto de benefícios incrementais que permitem compensar o elevado custo inicial que este tipo de construção exige, nomeadamente ao nível económico, com custos de manutenção e operação mais reduzidos, uma melhor reputação corporativa e um valor de mercado mais elevado; ao nível social com uma maior produtividade, saúde e bem estar dos ocupantes; e ao nível ambiental com as externalidades ambientais positivas (Azzi, Duc & Ha, 2015; Darko & Chan, 2017; Guerra et al., 2021; Luo et al., 2017; Zhang et al., 2018).

O elevado custo inicial é recuperado no longo prazo pelo facto de este tipo de construção permitir uma poupança de energia e água e exigir um menor custo de funcionamento e uma menor manutenção ao longo dos anos (Azzi et al., 2015; Darko & Chan, 2017; Luo et al., 2017; Zhang et al., 2018). Está comprovado que os edifícios verdes têm o potencial de reduzir o consumo de energia em 30 a 50% (Zhu,

2018). Foi realizado um estudo onde não só se demonstrou que um edifício construído com base nos princípios da sustentabilidade apresenta uma poupança de energia em ar condicionado, iluminação e equipamentos de 62%, 18% e 20%, respetivamente, como também se demonstrou que esta poupança na energia permite compensar os custos incrementais em apenas 8,4 anos (Zhang et al., 2018). O Fórum Económico Mundial estima que a adoção dos princípios da Economia Circular neste setor permite uma poupança de mais de 100 mil milhões de dólares por ano devido a uma melhoria significativa na produtividade (Guerra et al., 2021).

As características ecológicas presentes neste tipo de construção permitem também melhorar a qualidade do ambiente interior, o que contribui para criar uma sensação de bem-estar e saúde para os residentes, resultando em aumentos de produtividade a longo prazo (Azzi et al., 2015; Luo et al., 2017; Zhang et al., 2018). Segundo Zhang et al (2018), foram realizados alguns estudos que provam que estas características permitem um aumento de 6 a 25% na produtividade dos consumidores e um aumento de 6% na qualidade do sono.

Desta forma, acredita-se que estes benefícios incrementais são fatores que podem influenciar os consumidores a adotar soluções de construção sustentável (Juan et al., 2017; Ofek et al., 2018). Embora alguns consumidores estejam dispostos a aceitar o acréscimo no custo em troca dos benefícios que a Economia Circular permite, a disposição para pagar está muito dependente das características pessoais dos consumidores (Juan et al., 2017; Ofek et al., 2018). Ofek, Akron e Portnov (2018) elaboraram um estudo onde avaliaram as diferentes posturas e motivações que os consumidores e os construtores podem ter na implementação da Economia Circular na construção. Segundo estes autores, os construtores estão dispostos a aumentar os seus custos de construção aproximadamente em 12%, enquanto que os consumidores apenas estão dispostos a pagar mais 7% por uma construção assente nestes princípios. No entanto, estes autores também defendem que os consumidores que estão mais familiarizados com este tipo de construção estarão dispostos a pagar mais 30% por uma construção sustentável do que aqueles que não têm este conhecimento. Desta forma, há uma relação positiva entre a educação e o conhecimento sobre este tipo de construção e o comportamento dos consumidores, o que significa que quanto mais conhecimento tiverem sobre as vantagens da Economia Circular, maior vai ser a adoção destas práticas por parte dos consumidores (Hwang & Tan, 2012; Luo et al., 2017; Ofek et al., 2018).

2.3. Estratégias para a implementação da Economia Circular no setor da construção

Os padrões de consumo e desenvolvimento da nossa sociedade têm vindo a agravar de forma significativa os atuais desafios ambientais, como as alterações climáticas e a escassez dos recursos (Perveen et al., 2017; Tunn et al., 2019). Desta forma, a sociedade não pode continuar a tratar os recursos que ainda são utilizáveis como resíduos, uma vez que, devido à sua extração contínua, os recursos naturais estão a esgotar-se cada vez mais rapidamente, pelo que as empresas precisam de mudar urgentemente as suas práticas de negócio, procurando novos modelos mais sustentáveis (Ghisellini et al., 2018; Ogunmakinde et al., 2022; Tunn et al., 2019). Dada a atual taxa de extração das matérias-primas, as gerações futuras não vão ter os recursos finitos necessários para satisfazer as suas necessidades (Ogunmakinde et al., 2022; Sev, 2009; Tunn et al., 2019). Por isso, este novo modelo implica repensar todo o processo de construção tendo em consideração as restrições ecológicas do planeta (Ghisellini et al., 2018; Padilla-Rivera, Carmo, Arcese & Merveille, 2021; Ünal et al., 2019).

A transição para a Economia Circular promove uma série de oportunidades para criar negócios sustentáveis, permitindo que este setor reduza não só o seu consumo de recursos e energia, como também a produção de resíduos (Benachio et al., 2020; Luo et al., 2017; Ruiz et al., 2020; Tunn et al., 2019; United Nations Environment Programme, 2020). Os 3R (Reduzir, Reciclar e Reutilizar) são considerados a base da Economia Circular, devendo estar, por isso, presentes em qualquer prática sustentável (Ruiz et al., 2020).

De um modo geral, uma abordagem Circular tem como objetivo alcançar uma sociedade e uma economia sustentável, tendo por base fundamental a utilização de recursos e energia da forma mais eficiente e contínua possível ao longo de todo o processo de construção e dos ciclos de vida dos edifícios, com o objetivo de minimizar o seu consumo e a geração de resíduos, de forma a conservar o meio ambiente (Acharya et al., 2018; De los Rios & Charnley, 2017; Ogunmakinde et al., 2022; Padilla-Rivera et al., 2021; Tunn et al., 2019). A implementação destes princípios no setor da construção através de novos modelos empresariais e da utilização de novas tecnologias poderia não só reduzir os impactos ambientais negativos, como também reduzir os custos de longo prazo das habitações e tornar as áreas urbanas mais habitáveis, produtivas e úteis (Acharya et al., 2018; Zhu, 2018).

É essencial que se desenvolvam estratégias de sustentabilidade baseadas na Economia Circular logo na fase inicial do processo de conceção de um produto, uma vez que as características de um produto influenciam diretamente como toda a cadeia de valor será gerida e por isso é difícil serem feitas alterações num determinado produto quando este é desenvolvido com determinadas especificações, estando

comprometido com um determinado *design* (Bocken et al., 2016; De los Rios & Charnley, 2017; Sev, 2009). Cerca de 80% da pegada de carbono dos produtos é determinada no processo de *design* e por isso esta fase desempenha um papel importante na redução dos efeitos ambientais negativos (Ogunmakinde et al., 2022). Além disso, todas as fases de construção geram resíduos e por isso é necessário assegurar que a quantidade é minimizada o mais possível, e para isso é fundamental que se tornem medidas antes da sua produção em vez de gerir os resíduos após a sua produção (Ogunmakinde et al., 2022).

Desta forma, na fase inicial de conceção dos produtos, é necessário ter em consideração o tipo de fluxo de material, que se divide em ciclos biológicos, que incluem todos os materiais orgânicos e biodegradáveis que acabam no solo para enriquecer o ecossistema, e em ciclos técnicos que são aqueles materiais inorgânicos que se destinam a ser utilizados continuamente em diferentes projetos (Joensuu et al., 2020; Ünal et al., 2019). A transição para uma Economia Circular no setor da construção é baseada essencialmente em três estratégias: o encerramento do ciclo (*closing loops*); a desaceleração do ciclo (*slowing loops*), e por fim, a redução do ciclo dos recursos (*narrowing loops*) (Jesus, Antunes, Santos & Mendonça, 2019; Mhatre et al., 2021; Ruiz et al., 2020; Tunn et al., 2019) (Figura 1).

O **encerramento do ciclo** (*closing loops*) consiste em criar um fluxo circular onde os recursos são usados num circuito fechado através da reutilização, reciclagem e reconstrução (Bocken et al., 2016; Mhatre et al., 2021; Ruiz et al., 2020). Esta estratégia está diretamente relacionada com o ciclo técnico e biológico dos recursos, e por isso o *design* dos produtos deve de ir ao encontro destes dois ciclos (Bocken et al., 2016). Assim, uma das estratégias passa pelo *design* para um ciclo técnico, que é mais adequado para produtos de serviço, onde o objetivo passa por desenvolver produtos que possam ser facilmente reciclados de forma contínua e segura em novos materiais ou produtos, por outro lado, o *design* para um ciclo biológico, que é adequado para produtos de consumo, ou seja, para produtos que vão ser consumidos ou desgastados durante a sua utilização e por isso estes devem ser desenvolvidos com materiais seguros para a biodegradação, de forma a iniciar um novo ciclo (Bocken et al., 2016). Por fim, há o *design* para a desmontagem e remontagem, que é mais adequado para aqueles produtos que têm ambos os ciclos na sua composição e que, por isso, devem ser concebidos para assegurar que os materiais possam ser facilmente separados de forma a entrar num novo ciclo (Bocken et al., 2016).

A **desaceleração do ciclo** (*slowing loops*) tem como objetivo prolongar a utilização dos recursos e as duas principais estratégias passam pelo *design* de produtos de longa duração e pelo prolongamento da vida útil dos produtos, através da reparação, renovação e manutenção (Bakker, Wang, Huisman & Den Hollander, 2014; Bocken et al., 2016; Hollander, Bakker & Hultink, 2017; Mhatre et al., 2021; Ruiz et al., 2020; Tunn

et al., 2019). O *design* de produtos de longa duração procura assegurar que os produtos possam ser utilizados durante um longo período, e para isso devem ser baseados num *design* para a fiabilidade e durabilidade física, onde a qualidade deve ser o principal objetivo, e num *design* para a fixação e confiança, que está relacionado com o *design* para a durabilidade emocional (Bocken et al., 2016; De los Rios & Charnley, 2017). No que diz respeito ao prolongamento da vida útil dos produtos, o objetivo é prolongar o período de utilização dos bens e isso é possível através de estratégias como o *design* para a facilidade de manutenção e reparação de forma a permitir que os produtos sejam mantidos em boas condições, o *design* para a capacidade de atualização e adaptabilidade de forma a permitir a sua expansão e modificação futura, o *design* para a estandardização e compatibilidade através da criação de produtos com peças que se adaptam facilmente a outros produtos, e o *design* para a desmontagem e remontagem, permitindo aumentar as futuras reutilizações dos materiais (Bocken et al., 2016; De los Rios & Charnley, 2017; Hollander et al., 2017).

A **redução do ciclo** (*narrowing loops*) procura reduzir a utilização de recursos associados ao produto e ao processo de produção, e por isso o *design* dos produtos deve estar orientado de forma a permitir a maximização e otimização da eficiência dos recursos (Bakker et al., 2014; Bocken et al., 2016; Mhatre et al., 2021; Ruiz et al., 2020).

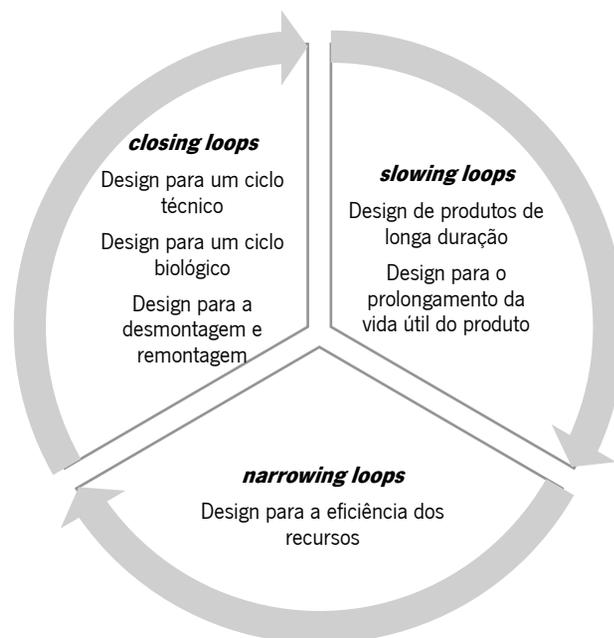


Figura 1. Estratégias para a transição da Economia Circular

A fim de alcançar um futuro sustentável neste setor, a literatura sugere a adoção de uma abordagem multidisciplinar que tenha em consideração as diferentes componentes de uma construção: o *design*, a energia, os materiais e a água (Akadiri et al., 2012; Alhilli, Burhan, 2021; Sev, 2009; Tserng et al., 2021).

2.3.1. Arquitetura e *design* do edifício

Na fase do planeamento, a definição das práticas do *design*, como por exemplo o *design* para a reciclagem, reutilização, recuperação e desmontagem, são consideradas importantes estratégias para melhorar a circularidade dos projetos de construção e permitir reduzir os resíduos, produzindo produtos mais sustentáveis (Akadiri et al., 2012; Hossain et al., 2020; Minunno et al., 2018; Ogunmakinde et al., 2022; Ünal et al., 2019). Na fase da desmontagem, deve ser utilizada uma abordagem sequencial de forma a facilitar e a permitir a reutilização dos materiais (Mhatre et al., 2021) (Tabela 1).

A **estandardização de tamanhos** é uma estratégia eficiente que contribui para a Economia Circular, uma vez que permite que as diferentes componentes possam ser facilmente desmontadas, reutilizadas ou substituídas (Hossain et al., 2020; Mhatre et al., 2021; Minunno et al., 2018; Sev, 2009; Tserng et al., 2021; Zhu, 2018). Além disso, ao serem utilizadas **componentes pré-fabricadas**, significa que estas são montadas fora do local, em fábricas próprias, o que permite reduzir a quantidade de recursos necessários, uma vez que as matérias-primas são otimizadas e o desperdício é evitado, e ao combinar esta estratégia com a estandardização de tamanhos, permite que materiais e produtos sejam facilmente adaptados a diferentes projetos (Hossain et al., 2020; Mhatre et al., 2021; Minunno et al., 2018; Sev, 2009; Toppinen, Röhr, Pätäri, Lähtinen & Toivonen, 2018; Tserng et al., 2021; Zhu, 2018).

A construção sustentável deve proporcionar um ambiente interior saudável e confortável ao mesmo tempo que protege o meio ambiente (Sev, 2009). Assim, um sistema de **ventilação e iluminação natural** permitem não só reduzir a energia necessária para ventilação mecânica ou forçada e iluminação artificial, como melhorar a saúde, o conforto e a produtividade dos ocupantes através, por exemplo, de janelas e vidros que permitam equilibrar a luz e o efeito térmico do sol (Akadiri et al., 2012; Alhilli, Burhan, 2021; Sev, 2009).

Além disso é fundamental que, na fase do *design* de um edifício, se tenha em consideração o impacto ambiental e as implicações contextuais do edifício em relação ao local, e por isso, deve-se procurar soluções de forma a assegurar que o *design* arquitetónico se adapta ao meio envolvente (Akadiri et al., 2012; Akhanova et al., 2019; Sev, 2009). A **orientação e o design do edifício** influenciam a carga térmica, pelo que deve ser outro fator a ter em consideração para a eficiência energética (Akadiri et al., 2012; Akhanova et al., 2019;

Sev, 2009; Wu & Skye, 2021). Assim, o edifício deve ser orientado e desenhado não só em função da exposição solar, como também em função da vegetação, de forma a permitir o aquecimento e arrefecimento passivo, reduzindo o consumo de eletricidade (Akadiri et al., 2012; Akhanova et al., 2019; Sev, 2009).

A **construção de baixo impacto** é um outro fator importante que deve ser refletido nos projetos de construção de forma a minimizar o impacto da atividade de construção no meio ambiente, através da proteção e restauração da vegetação já existente no terreno, de forma a preservar o ecossistema (Akadiri et al., 2012; Akhanova et al., 2019; Sev, 2009). Isto significa que, por exemplo, a vegetação só deve ser removida em último recurso, devendo depois ser replantada e o solo fértil deve ser recultivado (Akhanova et al., 2019; Sev, 2009).

Uma outra estratégia que tem vindo a ganhar uma maior atenção na construção sustentável devido ao seu impacto no desempenho térmico é a **ecologização vertical e horizontal do edifício** (Akhanova et al., 2019; Perini, Ottelé, Fraaij, Haas & Raiteri, 2011; Zhu, 2018). As plantas utilizadas nos telhados e nas fachadas dos edifícios funcionam como um filtro solar, que permite diminuir a absorção da radiação térmica dos materiais de construção, atuando como um isolamento externo que possibilita a redução da perda e ganho de calor (Perini et al., 2011). Este tipo de construção tem um impacto significativo não só ao nível ambiental, mas também social e económico, na medida em que permite melhorar o isolamento térmico e acústico do edifício, reduzir o consumo de energia, prolongar a vida útil do telhado, melhorar o valor de mercado do edifício e melhorar a qualidade do ar (Akhanova et al., 2019; Perini et al., 2011).

Tabela 1. Estratégias de Economia Circular na componente de arquitetura e design

Design	Fase de construção	
		<ul style="list-style-type: none">• <i>Design</i> para a reutilização, reciclagem e recuperação• <i>Design</i> para a desmontagem sequencial• Estandarização de tamanhos• Sistemas pré-fabricados• Sistema de ventilação e iluminação natural• Otimização da orientação e <i>design</i> do edifício• Construção de baixo impacto• Sistema de ecologização do edifício

2.3.2. Energia

Toda a fase do processo de construção e produção dos materiais e a fase operacional dos edifícios está centrada no consumo de grandes quantidades de energia, pelo que esta é uma das questões ambientais mais importantes no setor da construção (Akadiri et al., 2012; Akhanova et al., 2019; Azzi et al., 2015). Para se alcançar um consumo sustentável de energia no futuro é necessário ter em consideração dois aspetos fundamentais, nomeadamente o fornecimento e a produção de energia, onde o objetivo é tornar o sistema elétrico o mais eficiente possível, através da integração de tecnologias de energias renováveis, e por outro lado, o consumo, onde é fundamental minimizar a carga elétrica necessária do edifício, através do comportamento eficiente dos ocupantes e da utilização de equipamentos eficientes para a diminuição da necessidade de energia operacional (Azzi et al., 2015; Chel & Kaushik, 2018; Wu & Skye, 2021). A tabela 2 apresenta uma síntese das estratégias para a Economia Circular na construção, na componente da energia.

Desta forma, a implementação de sistemas de **energia proveniente de fontes renováveis** é imperativa para ajudar a reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e assegurar a otimização da eficiência do modelo da Economia Circular e reduzir a dependência de fontes de energia fóssil (Akadiri et al., 2012; Aşchilean et al., 2021; Chel & Kaushik, 2018; Hollander, Bakker & Hultink, 2017; Orsini & Marrone, 2019; Ruiz et al., 2020; Schuetze et al., 2013; Sev, 2009; Zhu, 2018). Os edifícios sustentáveis que adotam estes sistemas obtêm ganhos impactos de eficiência do sistema energético, o que contribui para a redução do impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida (Akhanova et al., 2019; Li & Yao, 2012; Orsini & Marrone, 2019; Shi & Chew, 2012; Toppinen et al., 2018; Wu & Skye, 2021).

Atualmente, há diversos sistemas de energia renovável que podem ser integrados de forma a alcançar a eficiência energética e a tornar este setor mais sustentável (Akhanova et al., 2019; Alyami, Rezgui & Kwan, 2013; Li & Yao, 2012; Wu & Skye, 2021). Uma das soluções é a utilização da energia solar como fonte de aquecimento, iluminação e ventilação (Alhilli, Burhan, 2021; Tserng et al., 2021).

A **energia solar** é a fonte de energia renovável mais adotada nas habitações, uma vez que é também a mais acessível, embora esteja muito dependente das condições meteorológicas, uma vez que os sistemas solares apenas são capazes de produzir energia durante o dia e em dias de sol (Shi & Chew, 2012; Wu & Skye, 2021). A adoção de **painéis de energia fotovoltaica**, para a produção de energia elétrica, e de **painéis solares térmicos**, para a produção de energia térmica, são considerados dois tipos de sistemas energeticamente eficientes que podem ser adotados para a construção sustentável (Schuetze et al., 2013; Shi & Chew, 2012; Wu & Skye, 2021). O **sistema fotovoltaico térmico integrado no edifício (BIPVT)** tem sido considerado uma abordagem mais eficiente que permite interligar o sistema fotovoltaico com o

sistema térmico, possibilitando, para além da produção de eletricidade, o fornecimento energia térmica para aquecimento do ar e da água (Shi & Chew, 2012).

Além disso, uma outra solução eficaz para minimizar a utilização das fontes de energia convencionais é a utilização da **energia eólica**, que é uma das fontes de energia renováveis mais antigas e que tem registado um crescimento significativo ao longo dos últimos anos (Chel & Kaushik, 2018; Wu & Skye, 2021). Em comparação com a energia solar, a **energia eólica**, captada através de **turbinas eólicas**, ainda é uma opção menos adotada devido ao seu custo inicial, pese embora, em regiões com elevado vento, serem uma opção muito eficiente (Chel & Kaushik, 2018; Li & Yao, 2012; Wu & Skye, 2021).

A **seleção de equipamentos energeticamente eficientes** é também considerada uma prática eficiente que permite minimizar a carga elétrica necessária do edifício, reduzindo o consumo de energia na fase operacional do edifício, que é a fase do ciclo de vida que está associada a um maior custo de energia (Alhilli & Burhan, 2021; Chel & Kaushik, 2018; Sev, 2009; Tserng et al., 2021). Desta forma, ao serem selecionados equipamentos com uma classe de eficiência energética que não seja inferior a “A” é possível reduzir significativamente o consumo de eletricidade (Akhanova et al., 2019).

Sendo responsável por mais de 30% do consumo total de energia dos edifícios, o processo de aquecimento e arrefecimento requerem uma grande quantidade de energia, pelo que a adoção de sistemas de aquecimento, ventilação e arrefecimento (AVA) de alta eficiência e desempenho são consideradas estratégias essenciais, assim como a utilização de **sistemas de tecnologia de monitorização inteligente** e de **poupança e conservação de energia** (Akhanova et al., 2019; Akram, Zublie, Hasanuzzaman & Rahim, 2022; Alhilli, Burhan, 2021; Sev, 2009; Shi & Chew, 2012; Tserng et al., 2021; Wu & Skye, 2021). A utilização de equipamentos de AVA com sistemas de controlo automático permite uma poupança da carga total de energia do edifício de cerca de 20% (Akram, Zublie, Hasanuzzaman & Rahim, 2022). Além disso, quando a energia solar é utilizada para o aquecimento e o arrefecimento, é possível alcançar uma poupança de 60% na energia, através por exemplo da adoção de um **sistema integrado de armazenamento de coletores**, que consistem em pequenos aquecedores solares de água com um armazenamento que permite cobrir as necessidades diárias de água quente (Chel & Kaushik, 2018).

Uma das razões para a perda e ganho de calor dos edifícios é a falta de isolamento térmico e de sistemas de recuperação de calor eficientes que permitam reduzir o consumo de energia e alcançar a eficiência energética (Akadiri et al., 2012; Akram, Zublie, Hasanuzzaman & Rahim, 2022; Sev, 2009; Tserng et al., 2021). Assim, a utilização de um **isolamento** térmico adequado das paredes e do pavimento do edifício, a

utilização de **janelas economizadoras de energia** que evitam perdas de calor e permitem o aquecimento passivo através da energia solar e a **recuperação de calor das áreas de altas temperaturas** (como a cozinha e casa de banho) através de uma unidade de ventilação mecânica que retira calor destas áreas e o utiliza noutros locais da casa são estratégias que devem ser consideradas numa construção sustentável (Akadiri et al., 2012; Akhanova et al., 2019; Akram, Zublie, Hasanuzzaman & Rahim, 2022; Sev, 2009; Tserng et al., 2021; Wu & Skye, 2021). Relativamente às janelas, estas são consideradas a principal causa para a perda e ganho de calor, pelo que a utilização de janelas de vidro duplo ou triplo desempenham um papel importante no aumento da eficiência energética dos sistemas de iluminação, aquecimento e arrefecimento dos edifícios, para além de melhorar o conforto acústico em comparação com as janelas convencionais (Akram, Zublie, Hasanuzzaman & Rahim, 2022).

Relativamente ao aquecimento da água, os aquecedores solares de água são uma opção eficiente, no entanto exigem uma grande área de instalação e estão dependentes das condições meteorológicas, pelo que os **aquecedores de água com bombas de calor** (HPWH) são uma opção mais eficiente (Wu & Skye, 2021). Da mesma forma, o **sistema de bomba de calor de fonte terrestre** (GSHP) é um sistema eficiente de aquecimento e arrefecimento do ar, que permite uma redução do consumo de energia primária até 60% comparativamente com os sistemas convencionais (Shi & Chew, 2012; Wu & Skye, 2021).

A distribuição de ar por baixo do pavimento é um novo sistema avançado de fornecimento de ar condicionado que tem sido recentemente adotado como sendo uma tecnologia mais eficiente e economizadora de energia em comparação com os métodos convencionais (Akram, Zublie, Hasanuzzaman & Rahim, 2022).

Tabela 2. Estratégias de Economia Circular na componente de energia

Energia	Fase de utilização	<ul style="list-style-type: none"> • Fontes renováveis de energia • Equipamentos energeticamente eficientes • Sistemas inteligentes de poupança e conservação de energia • Utilização de tecnologia de monitorização inteligente • Sistema de distribuição de ar por baixo do pavimento

2.3.3. Água

No que diz respeito à água, o principal objetivo é reduzir o consumo de água potável, através de tecnologias que permitam a poupança e reciclagem da água (Schuetze et al., 2013) (Tabela 3). Uma das estratégias é reduzir a pressão da água através da instalação de **equipamentos eficientes que sejam economizadores de água** como, por exemplo, chuveiros e torneiras com **baixo caudal**, (Akadiri et al., 2012; Akhanova et al., 2019; Alhilli, Burhan, 2021; Schuetze et al., 2013; Sev, 2009). A adoção deste tipo de estratégia permite reduzir, de uma forma muito simples, o consumo de água potável em aproximadamente 30% (Schuetze et al., 2013).

Uma outra estratégia passa pela adoção de **sistemas de reciclagem e reutilização da água** para necessidades técnicas do edifício, como as descargas sanitárias, os radiadores de calor do sistema de arrefecimento e sistemas de irrigação (Akadiri et al., 2012; Akhanova et al., 2019; Schuetze et al., 2013; Sev, 2009; Tserng et al., 2021; Wanjiru & Xia, 2018; Zhu, 2018). A reciclagem da água pode ser feita através da reutilização da água da chuva, com sistemas de captação como jardins no telhado ou cisternas de água da chuva, ou através da reutilização da água residual, que é a água gerada a partir das habitações, como por exemplo a água das máquinas de lavar e dos chuveiros (Sev, 2009; Wanjiru & Xia, 2018; Zhu, 2018). Este tipo de sistemas permite uma redução de cerca de 50% no consumo de água das habitações (Schuetze et al., 2013).

Além disso, a eficiência da água pode ser melhorada através de **sistemas de irrigação eficientes como o sistema gota-a-gota subterrâneo**, o que reduz a perda de água causada pela evaporação durante a rega ou após a chuva (Akhanova et al., 2019; Sev, 2009).

Tabela 3. Estratégias de Economia Circular na componente da água

Água	Fase de utilização	
		<ul style="list-style-type: none">• Equipamentos economizadores de água• Sistemas de reciclagem e reutilização da água• Sistemas de irrigação gota-a-gota subterrâneo

2.3.4. Materiais e Recursos

A extração e consumo de materiais tem um impacto direto na biodiversidade ambiental e este setor consome grandes quantidades de recursos que, na maioria das vezes, não são renováveis, pelo que se estima que cerca de 65% dos materiais residuais são depositados em aterros (Akadiri et al., 2012; Alyousef, Ahmad, Ahmad, Aslam, Joyklad & Alabduljabbar, 2021; Hossain et al., 2020; Ogunmakinde et al., 2022). Desta forma, a seleção dos materiais é um aspeto crucial e deve ter em conta os impactos ambientais (Akadiri et al., 2012) (Tabela 4).

A utilização de **materiais sustentáveis e de qualidade** é considerada uma prática base para a sustentabilidade deste setor, permitindo reduzir significativamente a utilização de novas matérias-primas, bem como a eliminação de resíduos (Alhilli & Burhan, 2021; Hossain et al., 2020; Ogunmakinde et al., 2022; Sev, 2009; Tserng et al., 2021; United Nations Environment Programme, 2020). Assim, o prolongamento da vida útil dos materiais através da reciclagem, reutilização e reparação é considerada uma medida importante na redução do consumo de novos materiais (Tserng et al., 2021).

Além disso, os **materiais naturais** devem ser preferíveis aos materiais fabricados pelo homem, uma vez que estão geralmente associados a uma menor quantidade de substâncias tóxicas e a uma menor quantidade de energia necessária para serem produzidos, pelo que quando são incorporados nos projetos de construção tornam inevitavelmente as construções mais sustentável (Akadiri et al., 2012; Sev, 2009; Wanjiru & Xia, 2018). Há muitos materiais que afetam negativamente a qualidade do ambiente interior, como adesivos, tintas, vedantes, produtos de limpeza e outros produtos comuns, e por isso devem ser utilizados materiais de construção sem substâncias tóxicas, de forma a evitar os problemas de saúde ambientais (Akadiri et al., 2012; Sev, 2009). Por exemplo, o bambu é um exemplo de um material natural que está a ganhar novamente uma maior atenção devido ao seu baixo custo de extração e facilidade de transporte, o que torna este material num material sustentável que permite reduzir até 60% do custo de uma habitação em betão (Zhu, 2018).

No processo de seleção dos materiais é importante ter em consideração a energia incorporada dos mesmos, ou seja, a energia que é consumida ao longo de todo o seu processo de produção e entrega, que inclui, por exemplo, a energia gasta na extração da matéria prima, na produção e no transporte dos materiais (Chel & Kaushik, 2018). Desta forma, a escolha dos materiais de construção com **baixa energia incorporada**, como por exemplo a madeira, a areia e o agregado, é uma estratégia eficaz que permite reduzir o gasto energético deste setor (Akadiri et al., 2012; Chel & Kaushik, 2018; Sev, 2009). Estes materiais devem ser preferidos em comparação com os materiais com elevada intensidade energética, como é o caso

do alumínio, o aço e o cimento (Ahmad, Ahmad, Ostrowski, Aslam & Joyklad, 2021; Chel & Kaushik, 2018).

A seleção de **materiais de longa duração** e de **reduzida manutenção** melhoram substancialmente o desempenho ambiental (Akadiri et al., 2012; Alhilli & Burhan, 2021, Sev, 2009; Wanjiru & Xia, 2018). A utilização deste tipo de materiais requer uma substituição menos frequente o que permite uma redução na necessidade de novos materiais e, conseqüentemente, uma redução na quantidade de resíduos que são produzidos, podendo ser facilmente extraídos e reutilizados em novos projetos (Sev, 2009; Wanjiru & Xia, 2018). Quanto maior for a durabilidade do material, menor será o tempo e os recursos necessários para a sua manutenção (Akadiri et al., 2012).

Uma outra abordagem que contribui de forma eficaz para a redução do consumo de energia e das emissões de gases com efeito de estufa seria a utilização de **materiais locais**, uma vez que o transporte de matérias-primas representa cerca de 40% do consumo total de energia da indústria (Akadiri et al., 2012; Akhanova et al., 2019; Orsini & Marrone, 2019; Sev, 2009; Wanjiru & Xia, 2018; Zhu, 2018). Ao serem utilizados materiais locais as vertentes económicas e sociais são também desenvolvidas na medida em que este tipo de estratégias apoia as economias locais (Akadiri et al., 2012; Akhanova et al., 2019; Wanjiru & Xia, 2018).

A utilização de materiais **reciclados** e **de materiais residuais** da demolição reconvertidos em novos materiais de construção e a **adaptação dos edifícios** já existentes para novas utilizações são consideradas estratégias que permite não só melhorar a eficiência dos recursos e reduzir os custos de construção e demolição, como também reduzir a energia necessária para a produção de novos materiais e a geração de resíduos que são enviados para aterros (Ahmad et al., 2021; Akadiri et al., 2012; Akhanova et al., 2019; Alhilli & Burhan, 2021; Alyousef et al., 2021; Minunno et al., 2018; Sev, 2009; Tomovska & Radivojević, 2017). Assim, o revestimento, as janelas e as portas do antigo edifício podem ser adaptadas para a nova construção, assim como os materiais reciclados a partir, por exemplo, da borracha, vidro e plástico podem ser utilizados como substitutos do agregado natural no betão (Ahmad et al., 2021; Alhilli & Burhan, 2021; Orsini & Marrone, 2019; Sev, 2009).

Tabela 4. Estratégias de Economia Circular na componente de materiais

Materiais	Fase de construção	
		<ul style="list-style-type: none"> • Materiais sustentáveis e de qualidade • Materiais naturais, orgânicos e não tóxicos • Materiais com baixa energia incorporada • Materiais de longa duração e de reduzida manutenção • Materiais locais • Materiais reciclados e residuais • Adaptação dos edifícios existentes em novas utilidades

Com base nas várias contribuições da literatura, a Figura 2 sintetiza as diferentes estratégias alinhadas com os princípios da Economia Circular, que podem ser implementadas nas quatro componentes da construção sustentável.



Figura 2. Síntese das estratégias da Economia Circular no setor da construção

3. METODOLOGIA

3.1. Método de Delphi

O objetivo desta investigação é desenvolver uma análise prospetiva de forma a responder à questão: *Quais as componentes da construção sustentável assente nos princípios da Economia Circular que os consumidores mais valorizam e em relação às quais existe menor sensibilidade ao custo?*

Para isso, utilizou-se o método Método Delphi, onde são analisados diferentes cenários e previsões relativas à adoção dos princípios da Economia Circular neste setor (Grisham, 2009; Grover et al., 2020; Olawumi & Chan, 2019; Toppinen et al., 2018). Este é um método que tem vindo a ser implementado com sucesso em estudos relacionados com a sustentabilidade no setor da construção (Akhanova et al., 2019; Olawumi & Chan, 2018; Toppinen et al., 2018; Nuñez-Cacho et al., 2018). O desenvolvimento das práticas da Economia Circular está associado a um elevado nível de incerteza, sendo esta uma abordagem metodológica adequada por ser considerado um método eficiente para investigar o planeamento estratégico e cenários futuros em tópicos de elevada incerteza e com dados limitados (Ameyaw, Hu, Shan, Chan & Le, 2014; Beiderbeck et al., 2021; Díaz-López et al., 2021; Gebhardt, Spieske & Birkel, 2022; Jesus et al., 2019; Toppinen et al., 2018).

O método Delphi é um método estruturado de comunicação de grupo interativo e dinâmico que, baseado na opinião de peritos, ajuda no processo de tomada de decisão (Beiderbeck et al., 2021; Grover et al., 2020; Landeta, 2006; Manoliadis et al., 2006; Nuñez-Cacho et al., 2018; Olawumi & Chan, 2018; Olsen, Wolcott, Haines, Janke & McLaughlin, 2021; Perveen et al., 2017; Tunn et al., 2019). Trata-se de uma abordagem útil quando se pretende estudar conceitos novos e complexos, assim como questões que necessitam da compreensão e da opinião de especialistas na área (Ameyaw et al., 2014; Diamond, Grant, Feldman, Pencharz, Ling, Moore & Wales, 2014; Grisham, 2009; Hallowell & Gambatese, 2010; Jesus et al., 2019; Riemens, Lemieux, Lamouri & Garnier, 2021).

Tendo como objetivo gerar conhecimentos e responder a questões sobre os desafios atuais e futuros, este método recorre a um painel de especialistas para responder, de forma individual e anónima, a uma série de questionários em diferentes fases, onde são convidados a avaliar e a comentar afirmações e questões relacionadas com o tema de investigação (Beiderbeck et al., 2021; Hallowell & Gambatese, 2010; Hasson & Keeney, 2011; Linstone & Turoff, 2011; Manoliadis et al., 2006; Olawumi & Chan, 2019; Tunn et al., 2019; von der Gracht, 2012). Desta forma, a primeira fase deste processo passa pela identificação da questão a ser analisada e de seguida é necessário definir qual será o painel de especialistas que vai

responder, numa fase seguinte, aos diferentes questionários (Díaz-López et al., 2021; von der Gracht, 2012). De seguida, é feita a recolha e análise das respostas por parte do coordenador que vai procurar uma tendência nas respostas apresentadas, de forma a avaliar se houve ou não um consenso entre os elementos do painel (Belton, MacDonald, Wright, & Hamlin, 2019; Grisham, 2009; Hallowell & Gambatese, 2010). Caso não se tenha chegado a este consenso, ou não se verifique uma tendência geral de concordância sobre o tema, é feita uma nova ronda, na qual é dado *feedback* aos especialistas sobre as respostas gerais do grupo (Barrios, Guilera, Nuño & Gómez-Benito, 2021; Belton et al., 2019; Hallowell & Gambatese, 2010; Hussler et al., 2011). Idealmente, deverão ser realizadas tantas rondas quantas as necessárias para se chegar a uma estabilidade nas respostas, que pode passar por concluir que não há um consenso possível entre os especialistas (Ameyaw et al., 2014; Grisham, 2009; Hallowell & Gambatese, 2010; Hussler et al., 2011; Linstone & Turoff, 2011; Nuñez-Cacho et al., 2018; Sekayi & Kennedy, 2017; von der Gracht, 2012).

Embora tenham surgido novas variantes deste método que implicam que não seja executado exatamente da mesma forma em todos os estudos, há um conjunto de quatro características que se mantêm constantes: o anonimato entre os membros do painel, a interação, o *feedback* controlado e a análise estatística das respostas do painel de especialistas (Barrios et al., 2021; Belton et al., 2019; Díaz-López et al., 2021; Gracht 2012; Linstone & Turoff, 2011; Manoliadis et al., 2006; Okoli & Pawlowski, 2004; Olsen et al., 2021; Rowe & Wright, 1999; Toppinen et al., 2018).

As investigações que utilizam este método devem garantir o anonimato, o que significa que os diferentes participantes permanecem desconhecidos entre si ao longo de toda a investigação (Barrios et al., 2021; Gracht 2012; Graham, Regehr & Wright, 2003; Hallowell & Gambatese, 2010; Manoliadis et al., 2006). Esta característica permite diferenciar este método dos restantes mais tradicionais de interação direta, na medida em que permite reduzir o efeito negativo que os indivíduos dominantes podem ter no restante grupo, o que possibilita uma redução da influência e da pressão que alguns peritos podem provocar devido à sua personalidade e estatuto (Beiderbeck et al., 2021; Belton et al., 2019; Bolger & Wright, 2011; Graham et al., 2003; Hallowell & Gambatese, 2010; Landeta, 2006; Olsen et al., 2021; Perveen et al., 2017; Riemens et al., 2021; Rowe & Wright, 1999; Toppinen et al., 2018). Assim, este é um método inclusivo que permite que todos os participantes tenham as mesmas oportunidades para apresentarem as suas ideias, incentivando uma expressão de opiniões livre de pressões de grupo (Gebhardt et al., 2022; Jesus et al., 2019; Olsen et al., 2021; Rowe & Wright, 1999; Toppinen et al., 2018). Além disso, o facto de ser realizado de forma anónima entre os diferentes participantes leva a uma taxa de respostas mais elevada, uma vez que os participantes se sentem, normalmente, mais confortáveis para partilharem a sua opinião (Manoliadis et al., 2006; Perveen et al., 2017; von der Gracht, 2012). Foi realizado um estudo que comprova que a maioria

dos participantes concorda que esta característica é um fator chave que contribui para o resultado positivo da investigação (von der Gracht, 2012). Dado que as respostas vão diretamente para o coordenador, não há a necessidade de haver uma conciliação no tempo e no espaço para todos os participantes, como acontece em muitos outros métodos (Grisham, 2009; Landeta, 2006; McMillan, King & Tully, 2016; Toppinen et al., 2018).

A segunda característica está relacionada com o facto de este método ser executado de forma repetitiva através de um conjunto de rondas (Ameyaw et al., 2014; Hasson, Keeney & McKenna, 2000; Linstone & Turoff, 2011; Olsen et al., 2021; Powell, 2003; von der Gracht, 2012). Este processo acontece até que se consiga atingir o consenso entre todos os participantes ou simplesmente uma estabilidade nas respostas (Barrios et al., 2021; Grisham, 2009; Hussler et al., 2011; McMillan et al., 2016; Olsen et al., 2021; Riemens et al., 2021; von der Gracht, 2012). Não há um número oficial de rondas que devem ser executadas, no entanto este método requer um mínimo de duas e, de um modo geral, tem sido demonstrado que duas a três rondas são suficientes para atingir esse objetivo, embora este número possa depender das respostas apresentadas (Ameyaw et al., 2014; Belton et al., 2019; Hallowell & Gambatese, 2010; Jesus et al., 2019; Landeta, 2006; Manoliadis et al., 2006; McMillan et al., 2016; Olawumi & Chan, 2018; Olawumi & Chan, 2019; Olsen et al., 2021). Desta forma, cada especialista é abordado pelo menos duas vezes, de forma a que receba, numa segunda ronda, sobre as respostas gerais do grupo, com o objetivo de o/a fazer reconsiderar as respostas dadas com base na informação quantitativa e qualitativa acrescentada e ajustar as suas classificações iniciais, ou a manter a sua posição (Beiderbeck et al., 2021; Diamond et al., 2014; Grover et al., 2020; Hussler et al., 2011; Landeta, 2006; McMillan et al., 2016; Riemens et al., 2021). Neste estudo foram realizadas duas rondas, devido à limitação de tempo e porque as respostas da segunda ronda apresentaram-se estáveis na maioria das projeções.

Relativamente ao *feedback* controlado, esta característica permite eliminar toda a informação que não é relevante para a questão e apresentar de forma resumida e agrupada os resultados aos participantes (Barrios et al., 2021; Belton et al., 2019; Graham et al., 2003; Hasson et al., 2000; Landeta, 2006; Riemens et al., 2021; Rowe & Wright, 1999). As respostas da primeira ronda são utilizadas para formular a ronda seguinte, pelo que no final de cada ronda, o coordenador analisa estatisticamente e/ou através da realização de análise de conteúdo as respostas dadas e transmite ao grupo um *feedback* de forma agregada e estruturada (Barrios et al., 2021; Diamond et al., 2014; Graham et al., 2003; Manoliadis et al., 2006; McMillan et al., 2016; Olsen et al., 2021; Rowe & Wright, 1999; von der Gracht, 2012). O *feedback* permite, assim, que cada membro do painel tenha acesso de forma anónima à opinião dos restantes membros, e, conseqüentemente, alargue o seu conhecimento, estimulando-se novas ideias, que podem levar à alteração das suas respostas

iniciais, o que significa que estas podem variar ao longo de todo o processo, de forma a chegar, ou não, a uma convergência de opiniões (Barrios et al., 2021; Olsen et al., 2021)

São consideradas todas as respostas do grupo e as perguntas são normalmente elaboradas para que seja possível processar as informações de forma quantitativa e estatística, pelo que a resposta estatística do grupo é uma característica geral deste método (Grover et al., 2020; Landeta, 2006; Rowe & Wright, 1999). Através deste método é possível observar com mais facilidade como as respostas variam ao longo do processo e é foi atingido o consenso ou a estabilidade das respostas (Olsen et al., 2021). No entanto, apesar de não ser tão comum, também é possível apresentar os resultados através de respostas qualitativas (Sekayi & Kennedy, 2017).

Enquanto que o anonimato contribui de forma positiva para reduzir a influência dominante que certos participantes podem ter nas respostas dos vários membros do painel, o recurso ao *feedback* controlado permite incentivar que os especialistas reavaliem os seus julgamentos iniciais tendo em consideração aquilo que é a opinião geral do grupo (Barrios et al., 2021).

3.2. Seleção dos especialistas

O sucesso e a eficácia deste método está centrado essencialmente na composição do painel de especialistas, nomeadamente na sua dimensão e qualificação/experiência, pelo que a seleção dos especialistas é uma das fases mais cruciais para o sucesso de qualquer estudo Delphi, devido à influência direta que a qualidade dos especialistas tem na qualidade dos resultados do estudo (Alyami et al., 2013; Ameyaw et al., 2014; Belton et al., 2019; Díaz-López et al., 2021; Gebhardt et al., 2022; Jesus et al., 2019; Olsen et al., 2021; Padilla-Rivera et al., 2021; Perveen et al., 2017; Powell, 2003; Tunn et al., 2019). No entanto, não existem critérios específicos que definam o número de participantes ou o nível de experiência que é exigido ao painel de especialistas (Ameyaw et al., 2014; Belton et al., 2019; Díaz-López et al., 2021; Gracht 2012; McMillan et al., 2016).

A **dimensão do painel** está dependente de diversos fatores como o âmbito do problema que se está a analisar, dos recursos disponíveis e da acessibilidade dos peritos (Ameyaw et al., 2014; Belton et al., 2019; Díaz-López et al., 2021; Olsen et al., 2021; Powell, 2003). Ao contrário de outros métodos, o Delphi não exige que os especialistas sejam uma amostra representativa da população para fins estatísticos e por isso não são escolhidos de forma aleatória, uma vez que, neste caso, a representatividade é avaliada com base

nos conhecimentos dos especialistas e não na sua quantidade, pelo que os participantes são selecionados de forma intencional (Alyami et al., 2013; Belton et al., 2019; Hasson et al., 2000; Olsen et al., 2021; Powell, 2003; Toppinen et al., 2018). Apesar de não haver um método padrão para determinar a dimensão do painel, o objetivo é ter um número suficientemente grande de intervenientes que permita variedade de conhecimentos e que as conclusões sejam as mais elaboradas possíveis (Alyami et al., 2013; Gracht 2012; McMillan et al., 2016). Além disso, também é necessário ter em conta que alguns dos especialistas selecionados podem abandonar o projeto antes de este estar finalizado, pelo que é necessário ter intervenientes suficientes para que estas falhas não comprometam a qualidade do projeto (Hallowell & Gambatese, 2010; Olsen et al., 2021). Por outro lado, também não é aconselhado um painel com um número demasiado elevado de especialistas, uma vez que os resultados podem ser comprometidos pela baixa taxa de respostas devido ao inerente processo de *feedback* demorado e a possíveis limitações de tempo (Jesus et al., 2019; Riemens et al., 2021).

Desta forma, de acordo com a literatura, é recomendado um painel composto por um número entre 10 e 30 especialistas (Ameyaw et al., 2014; Belton et al., 2019; Grover et al., 2020; Hasson et al., 2000; Jesus et al., 2019; Li, Wang & Zhou, 2020; McMillan et al., 2016; Okoli & Pawlowski, 2004; Olawumi & Chan, 2018; Olawumi & Chan, 2019; Olsen et al., 2021). Neste estudo foram convidados mais de 90 especialistas, tendo 26 aceitado participar. No entanto, apenas 22 participaram efetivamente na primeira ronda, representando uma taxa de resposta de 85%, mas apenas 14 participaram na segunda ronda, representando uma taxa de desistência de 36%.

No que diz respeito à **qualificação e experiência**, é essencial que o painel seja composto por especialistas na área que sejam capazes de dar contributos válidos e exprimir conhecimentos e perceções atuais com imparcialidade em relação às conclusões (McMillan et al., 2016; Olsen et al., 2021; Powell, 2003). A diversidade do painel é considerada um aspeto benéfico e desejável para a investigação, uma vez que permite uma maior variedade de conhecimentos, ideias e perspetivas, o que assegura que as opiniões são provenientes de múltiplas fontes independentes, minimizando, na medida do possível, o enviesamento (Barrios et al., 2021; Belton et al., 2019; Bolger & Wright, 2011; Hussler et al., 2011; Mahanty, Boons, Handl & Batista-Navarro, 2021; Perveen et al., 2017; Powell, 2003; Tunn et al., 2019).

Esta diversidade pode ser alcançada através de dois critérios, nomeadamente em função da disposição geográfica do painel e em função da experiência profissional, através de uma diversidade na área de especialização e no setor de atuação (Belton et al., 2019; Gebhardt et al., 2022; Jesus et al., 2019; Mahanty et al., 2021; Padilla-Rivera et al., 2021; Perveen et al., 2017; Tunn et al., 2019). Não há investigação

científica suficiente sobre a influência que as características inerentes dos participantes como o sexo e a idade podem ter na mudança de opinião dos peritos, pelo que não foram fatores decisivos na definição do painel (Barrios et al., 2021; Hussler et al., 2011).

A seleção dos especialistas deve ser feita com base na experiência e conhecimentos no tema em questão (Alyami et al., 2013; Jesus et al., 2019). Há diversos critérios que podem ser usados para a seleção do painel, como por exemplo, o número de publicações de artigos científicos, o número de anos de experiência profissional, o envolvimento em projetos e a relação com organizações ou instituições (Ameyaw et al., 2014; Belton et al., 2019; Manoliadis et al., 2006).

Para este estudo, foi reunido um painel de especialistas com base no conhecimento especializado no setor da construção sustentável e no conhecimento e experiência da aplicação da Economia Circular neste setor (Akhanova et al., 2019; Belton et al., 2019; Jesus et al., 2019; Olsen et al., 2021; Tunn et al., 2019). Esta seleção foi realizada consultando informação no LinkedIn de profissionais que cumprissem com este requisito. De forma a garantir a diversidade, foram selecionados especialistas de três áreas de atuação, nomeadamente a académica, industrial e política, espalhados por 15 países diferentes, com áreas de especialização muito diversificadas, incluindo consultores, arquitetos, investigadores, engenheiros civis, gestores de projetos e fundadores de empresas (Akhanova et al., 2019; Alyami et al., 2013) (Apêndice A).

O processo de contacto e recolha de dados junto dos especialistas foi feito através de meios eletrónicos, pelo facto de não só permitir chegar a um maior número de especialistas, visto que o objetivo era ter um painel internacional, como também permite uma maior facilidade de contacto, uma vez que permite que os membros do painel participem num processo de comunicação de grupo de forma assíncrona, em momentos e locais que lhes sejam mais convenientes (Akhanova et al., 2019; Belton et al., 2019; Díaz-López et al., 2021; Linstone & Turoff, 2011; McMillan et al., 2016; Padilla-Rivera et al., 2021; Perveen et al., 2017).

A caracterização dos participantes é apresentada na Tabela 5A, sendo que a informação profissional mais aprofundada dos especialistas é apresentada na Tabela 5B do apêndice A. Como se pode observar, houve uma grande preocupação em ter um painel muito diversificado, em termos demográficos, geográficos e em termos profissionais.

Tabela 5A. Caracterização do painel

Nº especialista	Gênero	Idade	Anos de experiência	Nível de experiência	País	Área de atuação	Segunda ronda
1	Homem	55	30 +	3	África do Sul	Industrial	X
2	Homem	49	5	4	Suécia	Industrial	X
3	Homem	36	17	3	Dinamarca	Industrial	X
4	Homem	33	10	3	Brasil	Industrial	X
5	Homem	30	7	4	Inglaterra	Industrial	X
6	Homem	27	5	2	Espanha	Industrial	X
7	Mulher	34	15	4	Brasil	Industrial	
8	Homem	52	10	3	Luxemburgo	Política	X
9	Mulher	52	26	4	Brasil	Industrial	X
10	Mulher	33	7	4	França	Industrial	
11	Mulher	29	6	2	Holanda	Académico	X
12	Homem	61	35	3	Portugal/ Dinamarca	Industrial	
13	Homem	57	28	3	Eslovénia	Industrial	
14	Homem	40	13	4	Alemanha	Industrial	X
15	Homem	36	15	4	Dinamarca	Industrial	X
16	Mulher	-	10	3	Inglaterra	Industrial	X
17	Homem	61	40	4	Bélgica	Industrial	
18	Mulher	34	7	3	Holanda	Industrial	
19	Homem	30	10	2	Holanda	Industrial	X
20	Mulher	44	15	3	Espanha	Industrial	
21	Mulher	29	6	4	Dinamarca	Académica	
22	Mulher	27	6	3	Holanda	Académica	X

Nota. Nível de experiência: 2=razoável; 3=elevado; 4=muito elevado

Tendo em consideração a informação pessoal (Tabela 5A), e considerando apenas os especialistas que participaram nas duas rondas, é possível observar que o painel é maioritariamente composto por especialistas do sexo masculino (10 contra 4) e estão distribuídos por nove países diferentes. Com uma média de idades de 38 anos, a maioria dos membros do painel têm pelo menos 10 anos de experiência (Figura 3). Como se pode observar na Figura 3, há cinco especialistas que têm até 9 anos de experiência no setor da construção, sendo que através da Tabela 5A podemos observar que nenhum apresenta menos do que 5 anos de experiência. Além disso, há sete especialistas com entre 10 a 19 anos de experiência, um com entre 20 a 29 anos, e há ainda um especialista com experiência neste setor há mais de 30 anos.

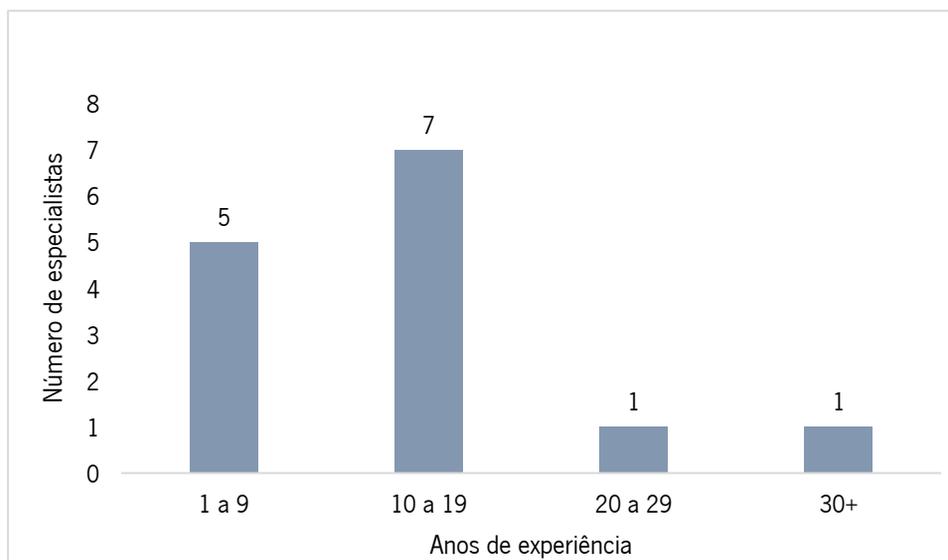


Figura 3. Anos de experiência dos especialistas

Em termos profissionais, o painel é composto pelas três áreas de atuação, sendo que a área industrial é a predominante, com 11 especialistas, seguida da área académica com dois e a política com um. Os participantes da área industrial estão divididos em diversas sub-áreas, nomeadamente, consultoria em sustentabilidade e da Economia Circular, coordenação e gestão de projetos, arquitetura e direção de empresas ligadas à construção sustentável. Além disso, há também cinco profissionais com algum certificado profissional relacionado com a Economia Circular e a sustentabilidade.

Na primeira ronda foi pedido aos especialistas que avaliassem, numa escala de 1 a 4, o seu nível de experiência na aplicação da Economia Circular neste setor. Como se pode observar na Figura 4, apenas três dos 14 especialistas consideram ter um conhecimento razoável (nível 2) neste tema, enquanto que seis consideram ter um conhecimento elevado (nível 3) e cinco um conhecimento muito elevado (nível 4). Além disso, nenhum especialista considerou ter um conhecimento muito baixo (nível 1).

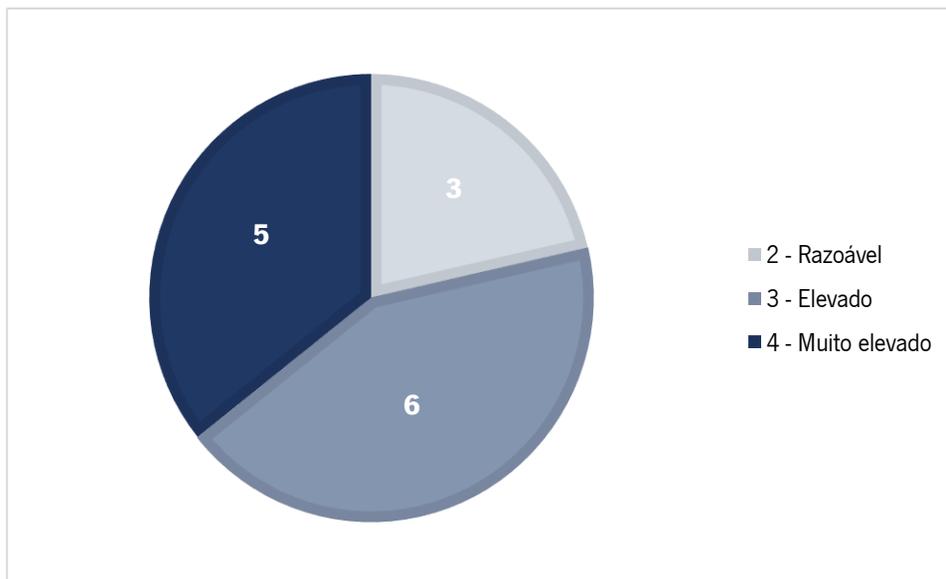


Figura 4. Nível de experiência dos especialistas

3.3. Instrumento de recolha de dados

A estrutura e a configuração do questionário têm uma grande influência nas respostas que são apresentadas, e conseqüentemente, nos resultados do estudo, o que significa que estes critérios devem ser cuidadosamente selecionados (Belton et al., 2019). De uma forma geral, o questionário é desenvolvido para que as respostas sejam fornecidas em formato numérico, para tal sendo frequentemente utilizada uma escala de Likert ou uma escala ordenada por ordem de classificação (Akhanova et al., 2019; Alyami et al., 2013; Ameyaw et al., 2014; Barrios et al., 2021; Belton et al., 2019; Diamond et al., 2014; Gebhardt et al., 2022; Jesus et al., 2019; Mahanty et al., 2021; McMillan et al., 2016; Perveen et al., 2017). Depois de selecionado o tipo de escala, é necessário definir o número de opções de resposta. É necessário ter em consideração que um número demasiado elevado pode levar a um maior risco de erro aleatório, uma vez que os participantes podem não conseguir interpretar de forma correta o significado das diferentes opções, embora mais opções possa permitir uma maior precisão das respostas (Belton et al., 2019). Desta forma, para este estudo foi selecionada uma escala de Likert de 5 pontos que tem sido considerada adequada noutros estudos semelhantes (Alyami et al., 2013; Perveen et al., 2017; Toppinen et al., 2018).

O questionário foi desenvolvido com base na revisão de literatura (Jesus et al., 2019). Na primeira ronda, o questionário estava dividido essencialmente em três partes principais (Akhanova et al., 2019). A primeira parte tinha como objetivo avaliar uma série de projeções e cenários futuros, onde foram feitas estimativas de probabilidade da sua ocorrência para o ano de 2030 com base numa escala de Likert de cinco pontos

(Belton et al., 2019; Gebhardt et al., 2022). Na segunda parte, o painel de especialistas foi convidado a avaliar quantitativamente, novamente numa escala de Likert de cinco pontos, as estimativas de probabilidade de valorização de uma série de componentes da construção sustentável por parte dos consumidores até 2030, estimativas de sensibilidade dos consumidores em relação ao preço e, por fim, o impacto que a adoção dessas componentes podem ter na sustentabilidade deste setor (Akhanova et al., 2019; Belton et al., 2019; Gebhardt et al., 2022). A última parte procurou recolher os dados pessoais do painel de especialistas, onde foi também pedido que autodefinissem o seu grau de especialistas, os anos de experiência e a sua área de especialidade, de forma a permitir uma caracterização mais precisa do painel (Akhanova et al., 2019; Gebhardt et al., 2022; Jesus et al., 2019). A escala temporal do estudo foi orientada para o ano 2030, por ser o ano alvo em várias agendas de sustentabilidade, como é o caso dos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (Toppinen et al., 2018). Na segunda ronda o questionário manteve a mesma estrutura acrescido do *feedback* acerca dos resultados da primeira ronda e omitindo a secção de caracterização dos participantes (Apêndice 1).

No total, os especialistas avaliaram 64 projeções divididas em quatro componentes: A- Projeções gerais; B- probabilidade de o consumidor reconhecer valor em diferentes elementos da construção sustentável nas quatro estratégias de implementação da Economia Circular na construção; C- Sensibilidade do consumidor ao preço dos mesmos elementos; e D – Importância das quatro diferentes estratégias para a sustentabilidade do setor (Tabela 6)

Tabela 6. Projeções avaliadas pelo painel

A. Projeções Gerais	A1 Custos associados a todo o ciclo de vida dos edifícios terão mais peso do que o preço de compra
	A2 A procura de edifícios sustentáveis será suficientemente atrativa para alterar o foco dos construtores
	A3 Os consumires serão menos sensíveis ao custo inicial associado à construção sustentável
	A4 A adoção da EC será sobretudo motivada pelo seu impacto ambiental
B. Probabilidade de reconhecer o valor	1. <i>Design</i>
	B1.1 Sistemas pré-fabricados
	B1.2 Estandarização de tamanhos
	B1.3 Sistema de ventilação e iluminação natural
	B1.4 <i>Design</i> para a desmontagem sequencial
	B1.5 Construção de baixo impacto
	B1.6 Otimização da orientação e <i>design</i> do edifício
	B1.7 Sistema de ecologização do edifício
	2. Materiais
	B2.1 Materiais locais
	B2.2 Materiais com baixa energia incorporada
	B2.3 Materiais naturais, orgânicos e não tóxicos
	B2.4 Materiais reciclados
	B2.5 Adaptação dos edifícios existentes em novas utilidades
	B2.6 Materiais de longa duração e de reduzida manutenção
	3. Energia
	B3.1 Isolamento térmico
B3.2 Janelas economizadoras de energia	
B3.3 Bombas de calor	

		B3.4 Sistemas de recuperação de calor B3.5 Sistema Integrado de Armazenamento de Coletores B3.6 Sistema de painéis de energia fotovoltaica B3.7 Sistema de painéis solares de energia térmica B3.8 Turbinas eólicas B3.9 Equipamentos energeticamente eficientes B3.10 Sistema de controlo automático da temperatura B3.11 Sistema de distribuição de ar por baixo do pavimento
	4. Água	B4.1 Sistema de reciclagem da água B4.1.1 Sistema de reciclagem de água através da água da chuva B4.1.2 Sistema de reciclagem de água através da água cinzenta B4.2 Equipamentos com baixo caudal B4.3 Sistema subterrâneo de irrigação gota a gota
C. Sensibilidade ao preço		C1.1 Sistemas pré-fabricados C1.2 Estandarização de tamanhos C1.3 Sistema de ventilação e iluminação natural C1.4 <i>Design</i> para a desmontagem sequencial C1.5 Construção de baixo impacto C1.6 Otimização da orientação e <i>design</i> do edifício C1.7 Sistema de ecologização do edifício
	1. <i>Design</i>	
	2. Materiais	C2.1 Materiais locais C2.2 Materiais com baixa energia incorporada C2.3 Materiais naturais, orgânicos e não tóxicos C2.4 Materiais reciclados C2.5 Adaptação dos edifícios existentes em novas utilidades C2.6 Materiais de longa duração e de reduzida manutenção
	3. Energia	C3.1 Isolamento térmico C3.2 Janelas economizadoras de energia C3.3 Bombas de calor C3.4 Sistemas de recuperação de calor C3.5 Sistema Integrado de Armazenamento de Coletores C3.6 Sistema de painéis de energia fotovoltaica C3.7 Sistema de painéis solares de energia térmica C3.8 Turbinas eólicas C3.9 Equipamentos energeticamente eficientes C3.10 Sistema de controlo automático da temperatura C3.11 Sistema de distribuição de ar por baixo do pavimento
	4. Água	C4.1 Sistema de reciclagem da água C4.2 Equipamentos com baixo caudal C4.3 Sistema subterrâneo de irrigação gota a gota
D. Importância para a sustentabilidade do setor	D1. <i>Design</i> D2. Materiais D3. Energia D4. Água	

É também uma prática comum em estudos anteriores com o Método Delphi que as respostas dos especialistas sejam acompanhadas por argumentos que justifiquem as suas opiniões, através de comentários qualitativos, de forma a garantir que as respostas têm fundamento lógico e a assegurar que os resultados revelam adequadamente o consenso do grupo, permitindo assim melhores resultados (Belton et al., 2019; Bolger, Stranieri, Wright & Yearwood, 2011; Gebhardt et al., 2022; Jesus et al., 2019; Mahanty et al., 2021; McMillan et al., 2016; Olsen et al., 2021; Rowe & Wright, 1999; von der Gracht, 2012). Desta forma, após cada grupo de questões de resposta fechada, foi solicitado aos especialistas que apresentassem

as principais razões para as suas estimativas.

No final da primeira ronda, as respostas são analisadas e resumidas estatisticamente, para, na ronda seguinte, serem apresentadas aos membros do painel de especialistas, com o objetivo de dar a conhecer os diferentes pontos de vista e de dar a possibilidade de reconsiderar, caso queiram, as suas respostas iniciais (Alyami et al., 2013; Díaz-López et al., 2021; Gebhardt et al., 2022; Jesus et al., 2019; Riemens et al., 2021; Rowe & Wright, 1999; Toppinen et al., 2018; Tunn et al., 2019). O *feedback* que é fornecido aos membros do painel é um fator chave a ter em consideração, uma vez que a forma como o *feedback* é transmitido após a primeira ronda vai ter influência direta não só na forma como os membros vão responder à ronda seguinte, como também na obtenção do consenso ou da estabilidade das respostas (Ameyaw et al., 2014; Belton et al., 2019; Rowe & Wright, 1999). Na segunda ronda, apresentou-se aos especialistas a média e desvio padrão das respostas do painel na ronda anterior, bem como a sua resposta anterior. A utilização destas medidas permite reportar as respostas agregadas ao grupo, de uma forma simples e eficaz, para que os especialistas comparem as suas respostas com a tendência do grupo (Belton et al., 2019; Hasson et al., 2000; von der Gracht, 2012). Depois de desenvolver o questionário, é importante definir a forma como vai ser transmitido aos membros do painel (Belton et al., 2019). Atualmente é frequentemente adotado o uso de meios eletrónicos, nomeadamente através de softwares de inquéritos (Akhanova et al., 2019; Belton et al., 2019; Gebhardt et al., 2022), como o Qualtrics, que foi a plataforma adotada neste estudo (Belton et al., 2019).

Antes do questionário ser enviado para o painel de especialistas, foi desenvolvido um estudo piloto de pré-teste a uma pessoa com conhecimentos da aplicação da Economia Circular neste setor, com o objetivo de melhorar, através dos seus comentários, a qualidade e a clareza do inquérito (Alyami et al., 2013).

3.4. Análise dos dados

Uma vez que o consenso entre os membros do painel é um dos objetivos deste método, a definição dos critérios que determinam que o consenso foi alcançado é um aspeto fundamental para a análise de dados (Ameyaw et al., 2014; Belton et al., 2019). Apesar de ser um tema bastante debatido na literatura, os critérios que definem quando o consenso é alcançado não é unânime entre os autores (Ameyaw et al., 2014; Belton et al., 2019; Diamond et al., 2014; Jesus et al., 2019; Olsen et al., 2021; von der Gracht, 2012). O consenso é uma das questões metodológicas mais controversas deste método, uma vez que nem sempre é claro o que é aceite como consenso ou como este é alcançado, estando dependente da questão que se está a

analisar (Barrios et al., 2021; Diamond et al., 2014; Graham et al., 2003; Olsen et al., 2021). Assim, é essencial que seja definido numa fase inicial os critérios que definem quando é que será alcançado o consenso, apesar de este valor poder ser adaptado no decorrer da investigação (Barrios et al., 2021; Belton et al., 2019; Diamond et al., 2014; McMillan et al., 2016).

A literatura mostra que há vários métodos que podem ser adotados para a estatística descritiva dos dados e para tomar uma decisão sobre o nível de consenso entre os membros do painel, pelo que os dados podem ser analisados de inúmeras maneiras, podendo incorporar análises qualitativas e quantitativas (Akhanova et al., 2019; Beiderbeck et al., 2021; Belton et al., 2019; Hasson et al., 2000; Riemens et al., 2021). Desta forma, neste estudo foram consideradas várias métricas de avaliação para permitir uma identificação mais robusta do consenso (Jesus et al., 2019). Os dados foram também analisados através de medidas descritivas permitindo a sua mais fácil interpretação.

3.4.1. Medidas descritivas

De acordo com a literatura, quando é utilizada uma escala numérica, como a escala de Likert, a análise descritiva dos dados é frequentemente feita através da utilização de medidas de tendência central, como a **média**, e de níveis de dispersão estatística, como o **desvio padrão (DP)**, como forma de quantificar a variação ou dispersão das respostas (Akhanova et al., 2019; Alyami et al., 2013; Ameyaw et al., 2014; Beiderbeck et al., 2021; Belton et al., 2019; Díaz-López et al., 2021; Gebhardt et al., 2022; Hasson et al., 2000; Jesus et al., 2019; Landeta, 2006; Perveen et al., 2017; Rowe & Wright, 1999; von der Gracht, 2012). Este tipo de informação permite que os especialistas comparem com mais facilidade as suas respostas em relação às respostas do grupo (Belton et al., 2019; Hasson et al., 2000). O desvio padrão é uma medida de dispersão em relação à média, ou seja, traduz a distância média das respostas em relação à média, pelo que valores mais reduzidos demonstram uma concordância maior, uma vez que isso indica que as respostas vão estar mais agrupadas em torno da média (Perveen et al., 2017; von der Gracht, 2012).

3.4.2. Medidas de concordância e consenso

Além das medidas descritivas, a análise dos dados deve também ser feita através da análise do consenso (Belton et al., 2019; Beiderbeck et al., 2021; von der Gracht, 2012). Esta análise pode ser feita através da verificação de um certo nível de concordância que é determinado com base numa **percentagem pré-definida** de participantes que pontuaram as diferentes projeções na zona baixa (1 ou 2), neutra (3) ou alta (4 ou 5), podendo esta percentagem representar a maioria (i.e. $\geq 51\%$) (Belton et al., 2019; Fritschy & Spinler, 2019; Hasson et al., 2000; Jesus et al., 2019). Para este estudo foi adotado o mínimo de 60% de

especialistas a colocarem a sua estimativa numa destas três categorias para se concluir a existência de um certo nível de concordância entre os mesmos (Fritschy & Spinler, 2019).

O **intervalo interquartil** (IQR) é uma medida de dispersão estatística em relação à mediana e é frequentemente aceite como uma forma objetiva e rigorosa para determinar o consenso nos estudos Delphi (von der Gracht, 2012). Esta é uma medida que permite averiguar se as respostas apresentadas estão agrupadas ou dispersas pelas várias opções possíveis, pelo que valores mais reduzidos desta medida estão associados a um maior grau de consenso (Jesus et al., 2019; Perveen et al., 2017; von der Gracht, 2012). O valor do IQR, calculado pela diferença entre o quartil 3 (Q3) e o quartil 1 (Q1), está dependente da escala de resposta utilizada no questionário, pelo que uma maior escala está associada a valores mais elevados de IQR, sendo frequentemente adotado um limiar máximo de 25% da escala utilizada, o que significa que neste caso, em que foi adotada uma escala de 5 pontos, um IQR inferior a 1.25 é considerado um bom indicador de que o consenso foi alcançado (Beiderbeck et al., 2021; von der Gracht, 2012).

O consenso pode também ser analisado através do **coeficiente de variação** (CV), que é determinado através do quociente entre o desvio padrão e a média das respostas, e se for inferior ou igual a 0.5 significa que o consenso entre os especialistas é considerado aceitável (Díaz-López et al., 2021; von der Gracht, 2012). Além disso, uma diminuição do CV entre duas rondas está associada a um maior consenso, uma vez que implica que há uma maior variação das respostas em direção à média (von der Gracht, 2012).

3.4.3. Medida de estabilidade

Uma vez que o Método de Delphi não procura apenas alcançar o consenso, sendo também o objetivo haver uma estabilidade nas respostas apresentadas, uma outra forma de análise dos dados é através de medidas de estabilidade (Beiderbeck et al., 2021; Belton et al., 2019; von der Gracht, 2012). Desta forma, uma das opções é através da **variação do CV**, que é calculada pela diferença do coeficiente de variação de duas rondas sucessivas (von der Gracht, 2012). Apesar de se esperar que o CV diminua entre rondas, indicando maior consenso, variações do CV muito expressivas significam que as respostas não são estáveis entre rondas. Segundo a literatura, para ser concluído que há uma estabilidade das respostas esta medida deverá ter um valor inferior a 0.1 (Anderhofstadt & Spinler, 2019).

4. RESULTADOS

A estatística descritiva da análise dos dados é apresentada nas Tabelas 7 a 10, onde são apresentadas as medidas mais frequentes de análise descritiva em estudos Delphi de tendência central e de dispersão estatística, nomeadamente a mediana (Md), a média (\bar{X}), o desvio padrão (DP) e a moda (Mo), e as respetivas medidas de concordância, consenso (IQR) e de estabilidade (variação do CV) das várias projeções.

4.1. Considerações Gerais

Analisando o valor do CV é possível verificar que foi alcançado um bom nível de consenso em todas as projeções, uma vez que nenhuma apresenta um CV superior a 0.5. Este resultado poderia significar que não era necessário mais uma ronda. No entanto, quando analisamos o nível de concordância, pelo critério de um mínimo de 60% dos especialistas a pontuarem as diferentes projeções na zona baixa (1 ou 2), neutra (3) ou alta (4 ou 5), apenas 34 das 64 projeções conseguiram alcançar este valor na primeira ronda. Adicionalmente, ao analisarmos o consenso através do IQR, considerando um limite máximo de 1.25, este valor diminui para 29 projeções. Visto que o IQR é uma medida mais robusta para medir o consenso, não se pode concluir que este foi alcançado, pelo que foi realizada uma segunda ronda. Esta nova ronda registou um ligeiro aumento do consenso entre os especialistas, uma vez que 36 projeções conseguiram alcançar um nível de concordância acima dos 60% e 34 tiveram um IQR inferior a 1.25.

Em todas as projeções nas quais houve concordância entre os especialistas na primeira ronda, este foi sempre alcançado no nível mais alto da escala de respostas (4 ou 5), o que significa que os especialistas estimam que há uma grande probabilidade de os consumidores reconhecerem valor nas várias estratégias até 2030. No entanto, os participantes tendem a concordar também que continuará a persistir uma elevada sensibilidade ao preço. Na segunda ronda, apenas a estratégia C1.4 (*Design* para a desmontagem sequencial) registou uma percentagem de respostas acima de 60% na zona neutra (nível 3).

Quando analisamos as projeções relativas às componentes B e C do estudo, é possível observar que, nas duas rondas, há maior concordância e um maior consenso nas projeções de probabilidade de adoção das várias estratégias do que nas projeções de sensibilidade ao preço. Na primeira ronda, 69% das projeções B – Valor conseguiram alcançar os 60% de concordância num dos três níveis de resposta, em comparação com 30% das projeções C – Sensibilidade ao preço. Na segunda ronda, registou-se um aumento da concordância nas projeções B (de 69% para 72%) e nas projeções C (de 30% para 33%). Relativamente à análise do consenso, na primeira ronda apenas 22% das projeções C – Sensibilidade ao preço tiveram um IQR inferior a 1.25, comparativamente com 55% das projeções B – Valor. No final da segunda ronda, registou-

se um aumento do consenso de 55% para 66% nas projeções B - Valor, e de 22% para 33% nas projeções C – Sensibilidade ao preço.

Estes resultados sugerem que, depois de duas rondas, o nível de concordância e consenso dos especialistas não é generalizado, particularmente no que diz respeito à sensibilidade dos consumidores ao preço. No entanto, visto que nos estudos Delphi o consenso nem sempre pode ser alcançado, importa analisar o nível de estabilidade das respostas. Os resultados indicam que apenas dez projeções não conseguiram registar uma variação do CV entre a primeira e a segunda ronda inferior a 0.1, o que significa que apenas 16% das projeções não apresentaram uma estabilidade nas respostas.

4.2. Projeções A

4.2.1. Análise quantitativa

Os resultados da análise descritiva, de concordância e consenso e estabilidade relativos às projeções A são apresentados na Tabela 7. Os dados da análise descritiva das projeções gerais (A), no final da segunda ronda, mostram que em média, os participantes avaliam a probabilidade de estas projeções se concretizarem em 3.4. A estimativa mais elevada é a da A1 (Custos associados a todo o ciclo de vida dos edifícios terão mais peso do que o preço de compra), apresentando uma média de 3.9, enquanto que a mais baixa é a estimativa A3 (Os consumidores serão menos sensíveis ao custo inicial associado à construção sustentável), com uma média de 2.9. Além disso, é possível verificar que não houve uma alteração na mediana e na moda da primeira para a segunda ronda, o que significa que não houve uma alteração muito significativa das respostas.

Quando analisamos a distribuição das estimativas pelos três níveis da escala (baixo, neutro e elevado) verifica-se que mais de 60% dos especialistas atribui uma probabilidade elevada (≥ 4) de as projeções A1 e A4 se concretizarem até 2030. Isto significa que a maior parte dos especialistas considera ser bastante provável que o custo do ciclo de vida dos edifícios tenha um efeito significativamente maior na tomada de decisões em projetos de construção do que o preço de compra (A1) e que o aumento da procura por uma construção sustentável seja baseado essencialmente nos impactos ambientais deste setor (A4). Relativamente à projeção A2, embora 50% dos especialistas considerem que há uma probabilidade elevada (≥ 4) de que, até 2030, o aumento da procura de edifícios sustentáveis por parte dos consumidores seja suficientemente atrativo para se tornar o centro das atenções dos construtores, não existe concordância em relação a esta avaliação. Em relação à projeção A3, que avalia a probabilidade de os consumidores serem,

até 2030, menos sensíveis ao investimento inicial de uma construção baseada nos princípios da Economia Circular, a distribuição das estimativas pelos três níveis é ainda mais equilibrada, revelando falta de concordância entre os membros do painel.

Tabela 7. Resultados das Projeções A

Projeções	Análise Descritiva				Análise da Concordância e Consenso								Análise da Estabilidade						
	Ronda 1		Ronda2		Ronda 1				Ronda2				Ronda1	Ronda2	Variação CV				
	\bar{X}	DP	Md	Mo	%≤2	%=3	%≥4	IQR	%≤2	%=3	%≥4	IQR	CV	CV					
A1	3,4	1,2	4	4	3,9	1,2	4	4	29%	7%	64%*	1,8	14%	7%	79%*	0,8*	0,36	0,30	0,05*
A2	3,4	1,2	4	4	3,1	1,2	4	4	21%	29%	50%	1*	36%	14%	50%	2	0,34	0,37	0,03*
A3	3,1	0,9	3	3	2,9	1,1	3	3	21%	43%	36%	1*	29%	36%	36%	1,8	0,30	0,37	0,07*
A4	3,6	1,1	4	4	3,6	1,2	4	4	14%	14%	71%*	0,8*	14%	21%	64%*	1*	0,30	0,32	0,02*

Nota. *Cumpru o limite definido para a medida

Analisando o consenso, medido pelo IQR, é possível verificar que, na primeira ronda, a projeção A1 foi a única em que este não foi alcançado. Na segunda ronda, os membros do painel mostram consenso em relação a esta projeção, mas o consenso não foi mantido nas projeções A2 e A3 para as quais IQR passou a ser superior a 1.25. Apesar de apresentar um desvio padrão inferior, a projeção A3 é a que apresenta uma distribuição mais equilibrada das respostas pelos três níveis nas duas rondas.

Em relação à estabilidade das opiniões entre rondas, medida pela variação do CV, verifica-se que a mesma foi alcançada em todas as projeções (variação do CV < 0.1) o que demonstra uma estabilidade na opinião dos especialistas apesar da sua discordância. Desta forma, apenas duas das quatro projeções A conseguiram alcançar o consenso na segunda ronda, no entanto, a estabilidade das respostas foi alcançada.

4.2.2. Análise qualitativa

A análise das razões apresentadas pelos especialistas para as suas estimativas ajuda a esclarecer os aspetos de maior discordância. Quem classifica estas projeções no nível mais elevado defende que há uma consciência cada vez maior por parte dos consumidores em relação à «sustentabilidade e economia circular» (Esp 12), e que há uma consciência crescente da necessidade «da transição climática» (Esp 18), por isso «o impacto ambiental (alterações climáticas) pode mudar as regras do jogo» (Esp 8). Além disso, com «o aumento dos preços da energia, os consumidores irão compreender melhor o benefício dos edifícios com

melhor desempenho ambiental para manterem os custos operacionais baixos» (Esp10).

No entanto, aqueles especialistas que classificam as projeções num nível mais baixo defendem que muitas vezes, apesar de os consumidores manifestarem uma preocupação pelos impactos ambientais e *«dizerem que querem salvar o planeta, é pouco provável que coloquem isso em ação»* (Esp 2). Há quem considere que 2030 é uma meta demasiado curta para *«as pessoas ganharem consciência e se tornarem ativas em relação à Economia Circular»* (Esp 9). Alguns participantes defendem que *«o preço inicial é extremamente importante para os consumidores, uma vez que (uma habitação) é um investimento de uma vida»* (Esp 10), por isso, o preço será sempre a preocupação *«número um»* (Esp 17). Mesmo que a consciência ambiental exista, *«se o consumidor não puder reunir investimento inicial suficiente, as necessidades imediatas prevalecerão sobre as visões de longo prazo»* (Esp 10). Por isso, para que a mudança ocorra, *«os construtores precisarão de encontrar soluções mais económicas (uma vez que) a vontade apenas, não chega»* (Esp 11). Por outro lado, a imposição de *«regras, avaliações e eficiências obrigatórias»* poderá ser necessária para acelerar o processo (Esp 9).

4.3. Projeções B

4.3.1. Análise quantitativa

Considerando as estimativas B, que se referem à probabilidade de os consumidores reconhecerem, até 2030, valor num conjunto de estratégias para a implementação da Economia Circular, os especialistas fazem uma avaliação média de 3.9.

A estratégia B4.3 (Sistema subterrâneo de irrigação gota a gota) é a que apresenta uma menor média (2.9), o que significa que esta é a componente em relação à qual os especialistas consideram que será menos provável os consumidores reconhecerem valor. Por outro lado, a estimativa mais elevada é a da estratégia B3.6 (Sistema de painéis de energia fotovoltaica) que registou uma média de 4.9, o que significa que, do ponto de vista dos especialistas, é muito provável que o seu valor seja reconhecido pelos consumidores até 2030. Os resultados apresentam-se na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados das Projeções B

Projeções	Análise Descritiva				Análise da Concordância e Consenso								Análise da Estabilidade				Variação CV		
	Ronda 1		Ronda2		Ronda 1				Ronda2				Ronda1	Ronda2					
	\bar{X}	DP	Md	Mo	\bar{X}	DP	Md	Mo	%≤2	%=3	%≥4	IQR	%≤2	%=3	%≥4	IQR		CV	CV
B1.1	4,0	1,0	4	4	4,4	0,8	5	5	14%	7%	79%*	1*	0%	14%	86%*	1*	0,26	0,17	0,09*
B1.2	3,8	0,9	4	4	3,9	1,0	4	5	7%	29%	64%*	1*	7%	29%	64%*	2	0,24	0,25	0,02*
B1.3	4,1	0,9	4	4	4,3	0,6	4	4	7%	14%	79%*	1*	0%	7%	93%*	1*	0,23	0,14	0,08*
B1.4	3,4	1,1	4	4	3,2	1,2	3	3	21%	14%	64%*	1*	29%	29%	43%	1,8	0,32	0,37	0,05*
B1.5	2,9	1,3	3	2	3,0	1,4	3	3	43%	29%	29%	1,8	29%	43%	29%	1,5	0,45	0,47	0,02*
B1.6	3,9	0,8	4	4	4,1	0,9	4	4	7%	14%	79%*	0*	7%	7%	86%*	1*	0,20	0,21	0,01*
B1.7	3,9	0,8	4	4	4,3	0,6	4	4	7%	14%	79%*	0*	0%	7%	93%*	1*	0,21	0,14	0,07*
B2.1	3,8	1,1	4	4	3,4	1,2	4	4	7%	29%	64%*	1,8	29%	7%	64%*	1,8	0,30	0,36	0,06*
B2.2	3,4	1,3	4	4	3,7	1,0	4	4	29%	0%	71%*	1,5	14%	0%	86%*	0*	0,38	0,27	0,11
B2.3	3,8	1,3	4	5	4,1	1,1	4	5	14%	21%	64%*	2	7%	7%	86%*	1*	0,33	0,27	0,07*
B2.4	3,6	1,3	4	4	3,9	1,1	4	5	14%	21%	64%*	1,8	7%	21%	71%*	1,8	0,37	0,29	0,08*
B2.5	3,8	1,2	4	4	3,6	1,3	4	4	14%	14%	71%*	1,5	21%	14%	64%*	1,8	0,31	0,35	0,04*
B2.6	3,8	1,0	4	4	3,9	0,9	4	4	14%	14%	71%*	0,8*	7%	21%	71%*	0,75*	0,26	0,22	0,03*
B3.1	4,5	0,8	5	5	4,7	0,5	5	5	0%	14%	86%*	1*	0%	0%	100%*	0,8*	0,17	0,10	0,07*
B3.2	4,3	0,9	5	5	4,7	0,5	5	5	7%	7%	86%*	1*	0%	0%	100%*	0,8*	0,21	0,10	0,11
B3.3	3,9	1,0	4	5	4,1	0,9	4	4	7%	29%	64%*	2	7%	7%	86%*	1*	0,25	0,21	0,05*
B3.4	3,6	1,0	4	3	3,9	0,8	4	4	14%	36%	50%	1*	0%	36%	64%*	1,8	0,28	0,21	0,07*
B3.5	3,5	1,0	4	3	3,4	0,9	3	3	7%	43%	50%	1*	14%	50%	36%	1*	0,29	0,28	0,01*
B3.6	4,6	0,5	5	5	4,9	0,4	5	5	0%	0%	100%*	1*	0%	0%	100%*	0*	0,11	0,07	0,03*
B3.7	4,4	0,6	5	5	4,5	0,5	5	4	0%	7%	93%*	1*	0%	0%	100%*	1*	0,15	0,12	0,03*
B3.8	3,1	1,3	3	4	3,3	1,0	3	3	36%	21%	43%	2	21%	43%	36%	1*	0,43	0,30	0,13
B3.9	4,5	0,8	5	5	4,7	0,6	5	5	0%	14%	86%*	1*	0%	7%	93%*	0*	0,17	0,13	0,04*
B3.10	3,5	0,9	3	3	4,0	0,8	4	4	7%	50%	43%	1*	0%	29%	71%*	1,5	0,24	0,20	0,05*
B3.11	3,3	1,1	3	3	3,3	1,1	3	3	14%	50%	36%	1*	14%	57%	29%	0,8*	0,33	0,35	0,02*
B4.1	3,1	1,2	3	4	3,5	1,1	4	4	29%	29%	43%	1,8	14%	29%	57%	1*	0,39	0,31	0,08*
B4.1.1	3,9	1,3	4	5	4,0	1,1	4	4	14%	14%	71%*	1,8	7%	14%	79%*	1*	0,32	0,28	0,05*
B4.1.2	2,9	1,1	3	4	3,3	1,1	4	4	43%	14%	43%	2	29%	14%	57%	1,8	0,37	0,35	0,02*
B4.2	4,1	1,3	5	5	4,4	1,3	5	5	14%	14%	71%*	1,8	14%	7%	79%*	0*	0,33	0,31	0,02*
B4.3	3,1	1,3	3	2	2,9	1,3	3	2	43%	14%	43%	2	50%	14%	36%	2	0,41	0,43	0,02*

Nota. *Cumpre o limite definido para a medida

4.3.1.1. Design

Relativamente à probabilidade de adoção por parte dos consumidores das estratégias de *design* (projeções B1), a estimativa mais elevada é a da estratégia B1.1 (sistemas pré-fabricados), com uma média de 4.4, enquanto que a estratégia B1.5 (construção de baixo impacto) foi a que apresentou uma estimativa mais baixa (3) (Figura 5)



Figura 5. Estimativas de probabilidade média na componente do Design

Ao analisarmos a distribuição das estimativas pelos três níveis da escala é possível verificar que, após duas rondas, mais de 60% dos especialistas atribuiu uma probabilidade elevada (≥ 4) de os consumidores reconhecerem o valor a todas as estratégias B1, à exceção das estratégias B1.4 (*design* para a desmontagem sequencial) e B1.5 (construção de baixo impacto). No caso da B1.4, o nível de concordância baixou na segunda ronda.

Analisando o IQR, também é possível verificar uma diminuição do consenso da primeira para a segunda ronda. Enquanto que inicialmente a estratégia B1.5 (construção de baixo impacto) foi a única que não conseguiu alcançar o consenso, apresentando um IQR de 1.8, na segunda ronda, as estratégias B1.2 (estandarização de tamanhos) e B1.4 (*design* para a desmontagem sequencial) também passaram a apresentar um IQR superior a 1.25. Desta forma, apesar de mais de 60% dos especialistas colocarem as suas estimativas no nível mais elevado (≥ 4), não existe consenso em relação à estratégia B1.2.

Relativamente à estabilidade na opinião dos especialistas, verifica-se que esta foi alcançada em todas as projeções, uma vez que a variação do CV é inferior a 0.1.

4.3.1.2. Materiais

Em relação à utilização de materiais de construção de acordo com os princípios da Economia Circular (projeções B2), os especialistas avaliam, em média, as estimativas de probabilidade de reconhecimento do seu valor em 3.8. A utilização de materiais locais (estratégia B2.1) foi a estratégia que apresentou uma menor estimativa de probabilidade média (3.4), enquanto que a utilização de materiais naturais, orgânicos e não tóxicos (estratégia B2.3) foi a que apresentou uma estimativa de probabilidade média mais elevada (4.1) (Figura 6).

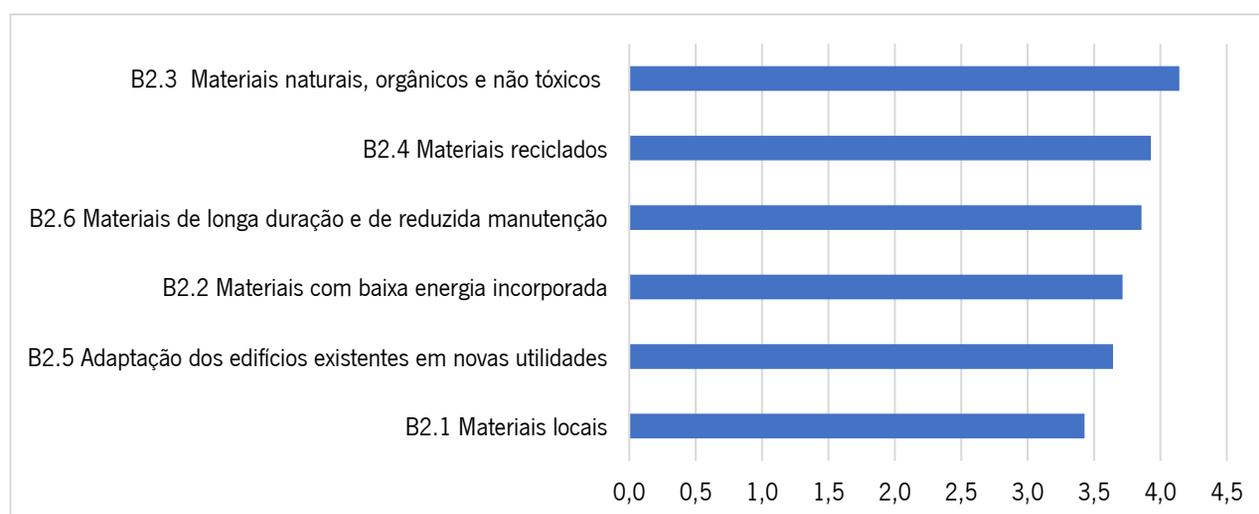


Figura 6. Estimativas de probabilidade média na componente dos Materiais

A distribuição das estimativas pelos três níveis da escala (baixo, neutro e elevado) mostra que mais de 60% dos especialistas atribuiu uma probabilidade elevada de reconhecimento do valor por parte dos consumidores (≥ 4) a todas as estratégias B2. Contrariamente ao que aconteceu relativamente às estratégias de *Design* (B1), verificou-se um aumento do consenso na segunda ronda nas estratégias B2. Enquanto que inicialmente a estratégia B2.6 foi a única que conseguiu alcançar um IQR inferior a 1.25, na segunda ronda, nas estratégias B2.2 e B2.3 também se conseguiu alcançar o consenso.

Em relação à estabilidade, medida pela variação do CV, verifica-se que esta apenas não foi alcançada na estratégia B2.2, uma vez que apresenta uma variação de CV superior a 0.1 (0.11).

4.3.1.3. Energia

No caso das estratégias da energia (projeções B3), os participantes avaliaram uma estimativa de probabilidade em 4.1, em média, sendo que a estratégia da adoção de sistemas de painéis de energia fotovoltaica (B3.6) foi a que, apresentou, em média, uma maior probabilidade de reconhecimento do seu valor por parte dos consumidores (4.9). Pelo contrário, a adoção de turbinas eólicas (B3.8) e de um sistema de distribuição de ar por baixo do pavimento (B3.11) apenas apresentaram uma estimativa média de 3.3 (Figura 7).

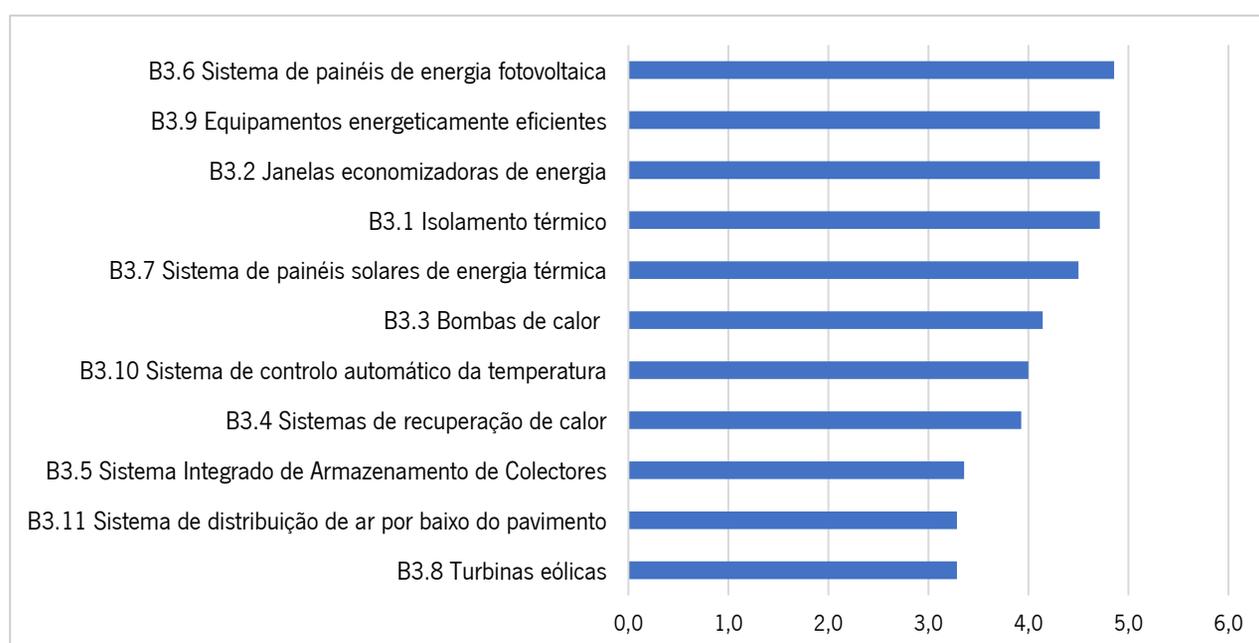


Figura 7. Estimativas de probabilidade média na componente da Energia

Ao analisarmos a concordância dos especialistas, é possível verificar que apenas as estratégias B3.5, B3.8 e B3.11 não conseguiram alcançar o mínimo de 60% de respostas num dos três níveis da escala. Em todas as outras estratégias, mais de 60% dos especialistas consideraram que há uma probabilidade elevada (≥ 4) de as estratégias serem valorizadas pelos consumidores, sendo que todos consideraram uma probabilidade elevada nas estratégias do isolamento térmico (B3.1), das janelas economizadoras de energia (B3.2), do sistema de painéis de energia fotovoltaica (B3.6) e do sistema de painéis solares de energia térmica (B3.7). Relativamente ao consenso, apenas as estratégias B3.4 e B3.10 apresentaram um IQR superior a 1.25, pelo que o consenso não foi alcançado pelos especialistas nestas duas estratégias.

No caso da análise da estabilidade das respostas, as estratégias B3.2 e B3.8 registaram uma baixa estabilidade, apresentando uma variação do CV de 0.11 e 0.13, respetivamente.

4.3.1.4. Água

Nas estratégias relativas à água (projeções B4) verificou-se uma estimativa de probabilidade média de 3.6. A adoção de um sistema subterrâneo de irrigação gota a gota (B4.3) é considerada a estratégia com uma menor probabilidade (2.9) de ser reconhecida como tendo valor por parte dos consumidores, sendo que houve um maior número de especialistas a considerarem como pouco provável (nível 2) a sua valorização. Por outro lado, apresentando uma estimativa média de 4.4, a utilização de equipamentos com baixo caudal (B4.2) foi considerada como a mais provável de ser valorizada pelos consumidores, sendo que pelo menos metade dos especialistas considerou como muito provável (nível 5) a sua valorização (Figura 8).

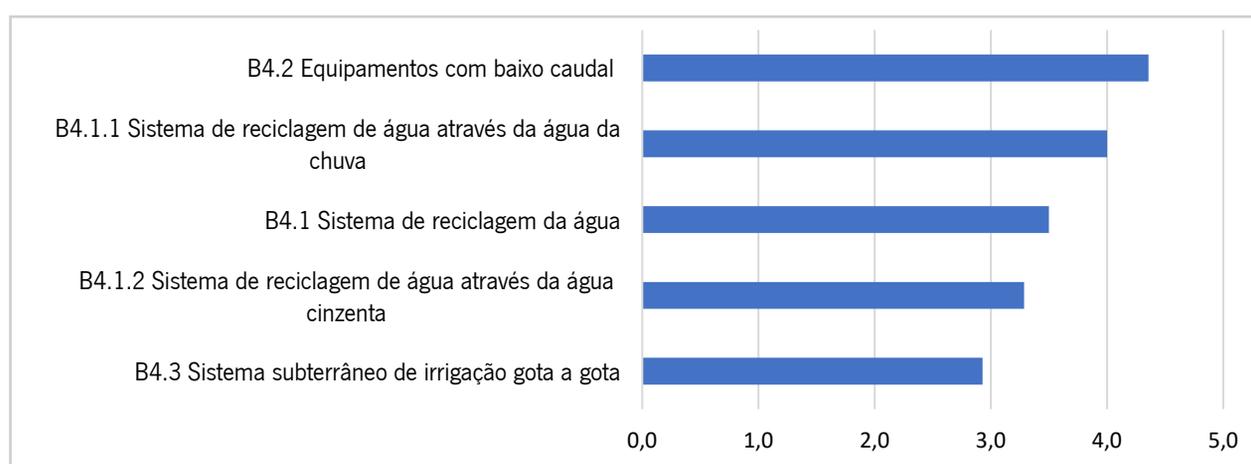


Figura 8. Estimativas de probabilidade média na componente da Água

Quando analisamos o nível de concordância entre os especialistas, verificamos que mais de 60% dos participantes consideram haver uma probabilidade elevada (≥ 4) de os consumidores reconhecerem valor nas estratégias B4.1.1 (sistema de reciclagem da água através da água da chuva) e B4.2 (equipamentos com baixo caudal). As restantes estratégias não conseguiram alcançar o certo nível de concordância pré-definido. Relativamente ao consenso, os especialistas apenas não conseguiram chegar a um consenso nas estratégias B4.1.2 (sistema de reciclagem da água através da água cinzenta) e B4.3 (sistema subterrâneo de irrigação gota a gota), apresentando um IQR de 1.8 e 2, respetivamente.

Analisando a medida de estabilidade de variação do CV verifica-se que nenhuma estratégia B4 apresentou um valor superior a 0.1, pelo que em todas as estratégias houve uma estabilidade nas respostas dos especialistas entre rondas.

4.3.2. Análise qualitativa

Os especialistas que avaliaram as projeções B como pouco prováveis defendem que os consumidores estão *«mais preocupados com o resultado final do que com o processo de construção»* (Esp 8). Aquilo que é *«visível aos olhos dos consumidores»* (Esp 17) e que permite reduzir os custos iniciais *«é mais facilmente aceite do que as estratégias que têm benefícios principalmente na fase do ciclo de vida que o consumidor não vê»* (Esp 4). Além disso, a adoção deste tipo de estratégias está muito dependente das condições locais, e no caso da componente da água, como há países em que este bem *«é muito barato»* (Esp 2), a probabilidade da adoção de estratégias mais sustentáveis que acabam por aumentar o investimento inicial é menos provável de serem valorizadas pelo consumidor. Por outro lado, os especialistas que avaliaram as projeções nos valores mais altos defendem que, aquelas estratégias que têm impacto na saúde e bem-estar dos consumidores estão a ganhar uma importância cada vez maior devido à pandemia Covid 19 e por isso vão ser mais facilmente aceites pelos consumidores. Além disso, com o *«aumento dos preços da energia, que foram muito provocados pela atual guerra da Ucrânia, os consumidores sentem um maior incentivo em melhorar a eficiência energética dos edifícios»* (Esp 18). Os *«atuais incentivos da União Europeia e a legislação de alguns países»* (Esp 21) são também fatores que influenciaram positivamente as avaliações dos especialistas. No entanto, houve também quem justificasse a baixa probabilidade destas projeções pela falta destes incentivos, pelo que este é um fator muito dependente da localização dos participantes.

4.4. Projeções C

4.4.1. Análise quantitativa

As estimativas das projeções C dizem respeito à sensibilidade ao preço que os consumidores podem ter perante o custo acrescido inerente à implementação das várias estratégias apresentadas. Como se pode observar na Tabela 9 nenhuma estratégia apresentou uma estimativa média do nível de sensibilidade ao preço inferior a 3, o que significa que os especialistas consideram que, em média, os consumidores irão ser sensíveis ao preço de todas as estratégias apresentadas. As projeções C apresentaram uma estimativa de sensibilidade média de 3.6, sendo que a estratégia da utilização de materiais com baixa energia incorporada (C2.2) foi a que registou, em média, uma maior sensibilidade ao preço (4.1), enquanto que a estratégia da adoção de sistemas de recuperação de calor (C3.4) e de sistema subterrâneo de irrigação gota a gota (C4.3) foram as estratégias que registaram uma menor estimativa (3.1). De um modo geral é possível observar uma concordância e um consenso muito baixo relativamente à sensibilidade ao preço dos consumidores nas

várias estratégias. Apenas nove das 27 estratégias conseguiram alcançar um IQR inferior a 1.25 na segunda ronda. Além disso, registou-se também uma maior instabilidade das respostas comparativamente às projeções B, uma vez que das dez projeções totais que registaram uma variação do CV superior a 0.1, sete foram nas projeções C.

Tabela 9. Resultados das Projeções C

Projeções	Análise Descritiva				Análise da Concordância e Consenso								Análise da Estabilidade			Variação CV			
	Ronda 1		Ronda2		Ronda 1				Ronda2				Ronda1	Ronda2					
	\bar{X}	DP	Md	Mo	%≤2	%=3	%≥4	IQR	%≤2	%=3	%≥4	IQR	CV	CV					
C1.1	3,6	1,1	4	4	4,0	0,9	4	4	21%	14%	64%*	1*	7%	14%	79%*	0,8*	0,30	0,22	0,08*
C1.2	3,2	1,2	4	2	4,0	0,9	4	4	43%	7%	50%	2	7%	14%	79%*	0,8*	0,37	0,22	0,15
C1.3	3,4	1,1	4	4	3,3	1,1	3	2	29%	21%	50%	1,8	29%	29%	43%	1,8	0,32	0,33	0,00*
C1.4	3,2	1,3	3	3	3,6	0,9	3	3	29%	36%	36%	1,8	0%	64%*	36%	1*	0,39	0,24	0,15
C1.5	3,3	1,5	4	5	3,9	1,0	4	5	29%	21%	50%	2,5	7%	29%	64%*	2	0,47	0,25	0,22
C1.6	3,4	1,2	4	2	3,5	1,5	4	5	36%	7%	57%	2	36%	7%	57%	3	0,36	0,42	0,06*
C1.7	3,8	1,3	4	5	3,8	1,1	4	4	29%	7%	64%*	2,8	21%	7%	71%*	1,5	0,35	0,30	0,05*
C2.1	3,6	1,3	4	5	3,9	1,1	4	4	29%	14%	57%	2,8	14%	14%	71%*	1,8	0,35	0,27	0,08*
C2.2	3,7	1,3	4	5	4,1	1,3	5	5	21%	14%	64%*	2	21%	7%	71%*	1,8	0,36	0,31	0,05*
C2.3	3,9	1,0	4	4	3,6	1,3	4	4	14%	7%	79%*	0,8*	21%	21%	57%	1,8	0,25	0,36	0,11
C2.4	3,6	1,0	4	4	3,9	0,8	4	3	14%	29%	57%	1*	0%	36%	64%*	1,8	0,28	0,21	0,07*
C2.5	3,6	1,2	4	4	3,9	0,8	4	4	29%	7%	64%*	2,5	7%	14%	79%*	0*	0,33	0,21	0,12
C2.6	3,8	1,3	4	5	3,8	1,3	4	5	21%	7%	71%*	1,8	21%	21%	57%	2	0,35	0,33	0,02*
C3.1	3,6	1,3	4	2	3,4	1,5	4	5	36%	7%	57%	3	36%	14%	50%	3	0,38	0,42	0,05*
C3.2	3,5	1,3	4	4	3,6	1,3	4	5	29%	14%	57%	2,5	21%	21%	57%	2	0,38	0,37	0,02*
C3.3	3,2	1,1	4	4	3,2	1,1	3	3	29%	21%	50%	1,8	21%	36%	43%	1*	0,35	0,33	0,02*
C3.4	3,1	1,2	3	3	3,1	0,9	3	3	29%	36%	36%	1,8	21%	57%	21%	0*	0,37	0,30	0,07*
C3.5	3,2	1,0	3	3	3,2	0,9	3	3	21%	50%	29%	0,8*	21%	43%	36%	1*	0,30	0,28	0,03*
C3.6	3,9	1,3	4	5	3,7	1,4	4	5	14%	21%	64%*	2	14%	29%	57%	2	0,34	0,39	0,05*
C3.7	3,7	1,2	4	4	3,5	1,1	4	4	14%	21%	64%*	1,8	14%	29%	57%	1*	0,32	0,31	0,01*
C3.8	3,0	1,4	3	2	3,4	1,2	4	2	43%	21%	36%	2	36%	14%	50%	2	0,47	0,36	0,11
C3.9	3,6	1,3	4	5	3,2	1,5	3	5	31%	15%	54%	3	36%	21%	43%	2,8	0,37	0,46	0,09*
C3.10	3,2	0,9	3	3	3,2	0,9	3	3	21%	43%	36%	1*	21%	43%	36%	1*	0,28	0,28	0,00*
C3.11	3,1	1,2	3	3	3,3	1,3	3	3	29%	36%	36%	1,8	29%	36%	36%	2,5	0,37	0,40	0,03*
C4.1	3,6	1,2	4	5	3,4	1,2	4	2	21%	21%	57%	1,8	29%	21%	50%	1,8	0,32	0,34	0,02*
C4.2	3,8	1,1	4	5	3,2	1,5	3	5	14%	29%	57%	2	36%	29%	36%	3	0,30	0,48	0,18
C4.3	2,7	1,2	2	2	3,1	1,3	3	2	57%	21%	21%	1*	36%	29%	36%	2	0,44	0,41	0,03*

Nota. *Cumprir o limite definido para a medida

4.4.1.1. *Design*

Considerando as estimativas C1, os participantes consideraram que em média, os consumidores têm uma sensibilidade ao preço de 3.7 nas estratégias de *design*. A estratégia da adoção de sistemas pré-fabricados (C1.1) e a standardização de tamanhos (C1.2) são as que apresentam, em média, uma maior sensibilidade ao preço (4.0). Por outro lado, os sistemas de ventilação e iluminação natural (C1.3) é a estratégia que apresenta a menor estimativa (3.3), o que significa que, do ponto de vista dos especialistas, os consumidores vão ser menos sensíveis ao preço (Figura 9).



Figura 9. Estimativas de sensibilidade média na componente do *Design*

Ao analisarmos a concordância entre os especialistas (Tabela 9) é possível observar um aumento desta medida da primeira para a segunda ronda. Mais de 60% dos participantes consideraram que os consumidores apresentam uma sensibilidade elevada ao preço (≥ 4) nas estratégias C1.1, C1.2, C1.5 e C1.7, e uma sensibilidade neutra (nível 3) na estratégia C1.4. Apesar de com a segunda ronda o número de projeções que registaram um IQR inferior a 1.25 também tenha aumentado, mais de metade das estratégias continuam a registar um forte desacordo. Apenas as estratégias C1.1, C1.2 e C1.4 conseguiram alcançar o consenso.

Relativamente à análise da estabilidade, as estratégias C1.2, C1.4 e C1.5 apresentaram uma variação do CV superior a 0.1, o que demonstra que a segunda ronda levou a uma elevada variação nas respostas dos especialistas.

4.4.1.2. Materiais

Relativamente aos materiais de construção, os especialistas avaliaram uma estimativa de sensibilidade ao preço média de 3.9, sendo que a estratégia da utilização de materiais com baixa energia incorporada (C2.2) é a que os consumidores apresentam uma maior sensibilidade ao preço (4.1), enquanto a estratégia dos materiais naturais, orgânicos e não tóxicos (C2.3) é a que apresenta uma menor estimativa (3.6) (Figura 10).

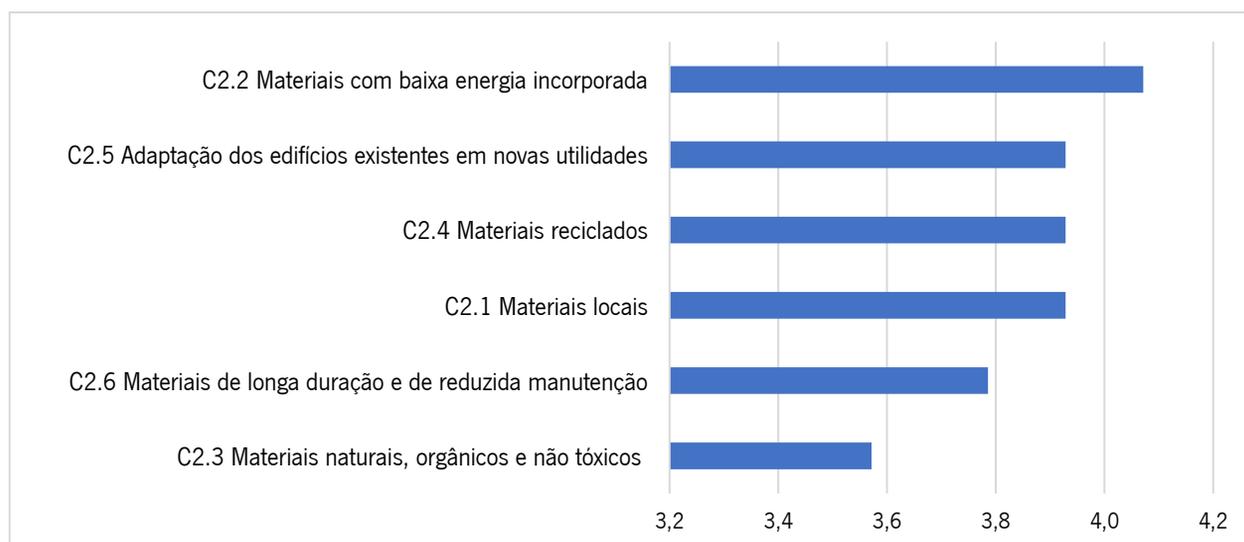


Figura 10. Estimativas de sensibilidade média na componente dos Materiais

Mais de 60% dos participantes consideram haver uma elevada sensibilidade ao preço (≥ 4) por parte dos consumidores nas estratégias C2.1, C2.2, C2.4 e C2.5. No entanto, apesar de se ter registado uma elevada concordância, apenas a estratégia C2.5 conseguiu alcançar o consenso entre os especialistas, apresentando um IQR de 0.

Analisando a variação do CV, é possível observar que a estratégia C2.3 e C2.5 apresentaram um valor superior a 0.1 nesta medida, o que significa que as estimativas em relação a estas duas estratégias não foram estáveis entre rondas.

4.4.1.3. Energia

Analisando as estratégias da energia (C3), os consumidores apresentam, de acordo com a estimativa dos especialistas, uma sensibilidade ao preço média de 3.3. Em 2030, os consumidores vão ser mais sensíveis ao preço dos sistemas de painéis de energia fotovoltaica (C3.6), com uma estimativa de 3.7, em comparação com os sistemas de recuperação de calor (C3.4), que apresentaram uma estimativa de 3.1 (Figura 11). Isto pode ser explicado pelo facto de os consumidores, apesar de reconhecerem o seu valor, poderem ser mais sensíveis ao preço dos produtos que já conhecem em comparação com os produtos mais inovadores.

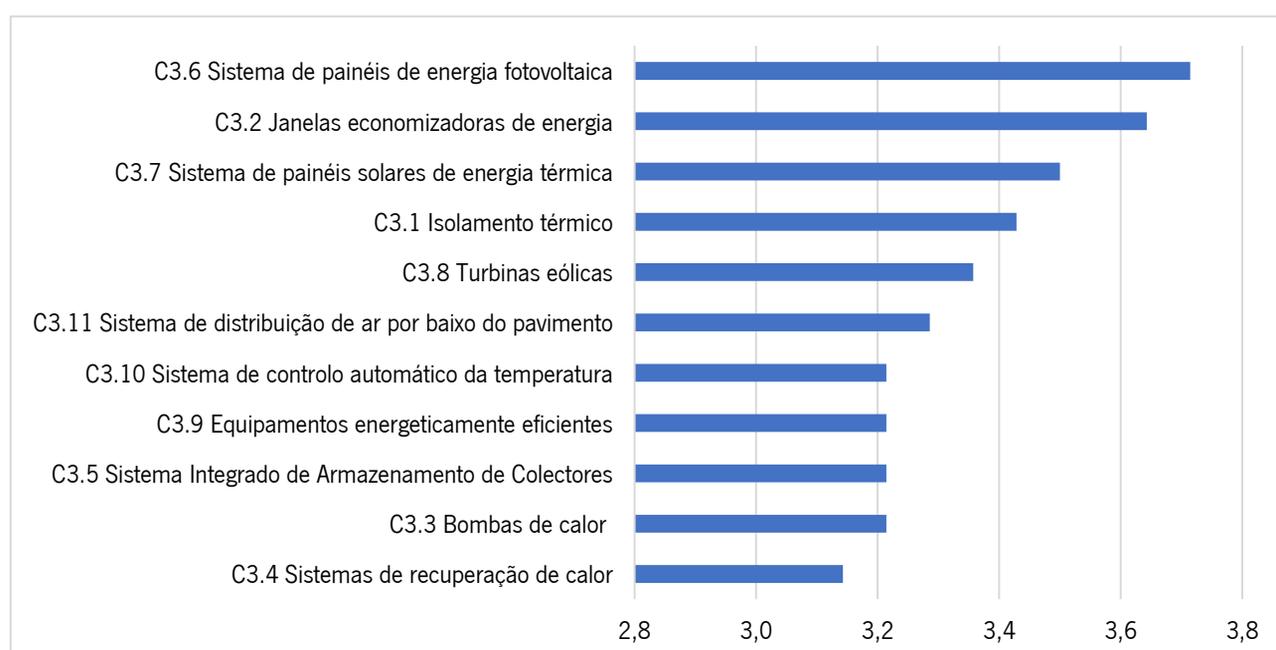


Figura 11. Estimativas de sensibilidade média na componente da Energia

Relativamente à concordância, a distribuição das estimativas pelos três níveis é muito equilibrada, o que evidencia uma falta de concordância entre os especialistas em todas as estratégias da energia. No entanto, as estratégias C3.3, C3.4, C3.5, C3.7, C3.10 registaram um IQR inferior a 1.25, o que significa que o consenso foi alcançado entre os especialistas nestas estratégias.

No que diz respeito à estabilidade, apenas a estratégia C3.8 apresentou uma variação do CV superior a 0.1, pelo que esta foi a única estratégia em relação à qual não se registou uma estabilidade nas estimativas dos especialistas.

4.4.1.4. Água

As estratégias da água foram as que apresentaram uma menor estimativa média de sensibilidade ao preço (3.3). Os especialistas consideraram que, em média, os consumidores são sensíveis ao preço (nível 3) nas três estratégias da projeção C4, sendo que os sistemas de reciclagem de água (C4.1) foi a estratégia registou uma maior sensibilidade ao preço, com uma estimativa de 3.4, enquanto que o sistema subterrâneo de irrigação gota a gota (C4.3) foi a estratégia que apresentou uma menor sensibilidade ao preço, com uma estimativa de 3.1 (Figura 12).

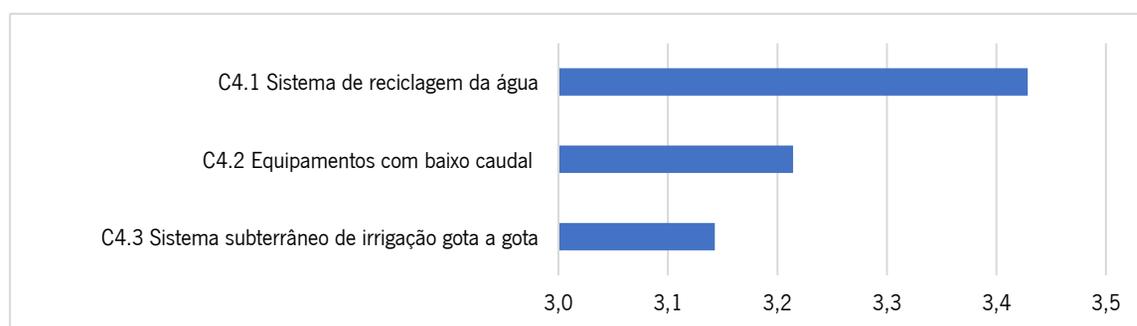


Figura 12. Estimativas de sensibilidade média na componente da Água

Mais uma vez, registou-se uma falta de concordância entre os especialistas em todas as estratégias da Água, pelo que a distribuição das estimativas pelos três níveis foi muito equilibrada. Ao contrário do que aconteceu nas estratégias da Energia, nenhuma estratégia da Água apresentou um IQR inferior a 1.25, pelo que o consenso também não foi alcançado.

Analisando a variação do CV, apenas a estratégia C4.2 registou um valor desta medida superior a 0.1, pelo que esta foi a única estratégia da Água que não apresentou uma estabilidade nas respostas dos especialistas.

4.4.2. Análise qualitativa

Os especialistas que avaliaram estas projeções nos níveis mais elevados defendem que *«tudo aquilo que não demonstrar um benefício imediato ou que aumente o custo inicial não será considerado uma prioridade»* (Esp 10) e por isso vai ser considerado como secundário na tomada de decisão, pelo que os consumidores *«serão sempre sensíveis ao preço»* (Esp 1 e 2). Segundo os especialistas, *«os edifícios são caros, e por isso é improvável que os consumidores deixem de ser sensíveis aos preços só porque é melhor*

para o ambiente» (Esp 18). Até que haja algum *«incentivo financeiro»* (Esp 1) que ajude no investimento inicial que é necessário, os especialistas defendem que haverá sempre uma sensibilidade ao preço, *«uma vez que muitos nem estão em posição de avaliar estas opções devido às restrições financeiras»* (Esp 18).

Por outro lado, aqueles especialistas que têm uma opinião mais positiva e que por isso avaliaram as projeções nos níveis mais baixos (menos sensíveis ao preço) defendem que as estratégias que permitem aumentar o bem-estar e a saúde dos consumidores serão mais facilmente aceites e por isso os consumidores serão menos sensíveis ao preço. Além disso, aqueles consumidores que *«percebem os benefícios que a adoção destas estratégias pode ter no longo prazo aceitam mais facilmente o preço acrescido que é exigido devido aos retornos futuros e por isso vão ser menos sensíveis ao preço»* (Esp 10). Por fim, da mesma maneira que os atuais preços da energia podem influenciar positivamente a adoção destas estratégias por parte dos consumidores, também podem provocar uma menor sensibilidade ao preço inicial devido aos benefícios futuros. Além disso, tal como aconteceu nas projeções B, os especialistas também defendem que tudo aquilo que *«é visível para os consumidores é considerado mais importante»* (Esp 17), e por isso serão menos sensíveis ao preço a estratégias com impactos no resultado final e não na fase de construção.

4.5. Projeção D

4.5.1. Análise quantitativa

As projeções D procuraram perceber a importância das quatro componentes (*design*, materiais, energia e água) para a sustentabilidade deste setor (Tabela 10). Desta forma, os especialistas avaliaram estas componentes como sendo muito importantes, apresentando uma estimativa média de 4.6. A componente dos materiais (D2) foi a que apresentou uma estimativa mais elevada (4.9), enquanto que a componente da água (D4) foi a que apresentou uma estimativa menor (4.1).

Em todas as projeções D registou-se uma forte concordância e consenso entre os especialistas. Todos os participantes consideraram que a componente do *Design* (D1) e dos Materiais (D2) têm uma importância elevada (≥ 4) para a sustentabilidade deste setor. Além disso, a maior parte dos especialistas também considerou esta importância na componente da Energia (D3) e da Água (D4). Relativamente ao consenso, todas as componentes apresentaram um IQR inferior a 1.25, o que demonstra que o consenso entre os especialistas foi alcançado nas projeções D.

Além disso, analisando a variação do CV, também se verifica uma forte estabilidade das respostas dos

participantes, uma vez que nenhuma componente apresenta um valor desta medida superior a 0.1.

Tabela 10. Resultados das Projeções D

Projeções	Análise Descritiva				Análise da Concordância e Consenso								Análise da Estabilidade						
	Ronda 1		Ronda2		Ronda 1				Ronda2				Ronda1	Ronda2	Variação CV				
	\bar{X}	DP	Md	Mo	%≤2	%=3	%≥4	IQR	%≤2	%=3	%≥4	IQR	CV	CV					
D1	4,6	0,6	5	5	4,7	0,5	5	5	0%	7%	93%*	1*	0%	0%	100%*	0,8*	0,14	0,10	0,04*
D2	4,9	0,3	5	5	4,9	0,3	5	5	0%	0%	100%*	0*	0%	0%	100%*	0*	0,05	0,05	0,00*
D3	4,6	0,5	5	5	4,6	0,6	5	5	0%	0%	100%*	1*	0%	7%	93%*	0,8*	0,11	0,14	0,03*
D4	4,1	1,2	5	5	4,1	1,1	4	5	7%	14%	79%*	1*	7%	14%	79%*	1*	0,28	0,28	0,00*

Nota. *Cumpre o limite definido para a medida

4.5.2. Análise qualitativa

De um modo geral os especialistas que avaliaram estas projeções nos níveis mais elevados consideraram que «*todas as componentes são extremamente importantes para o futuro da sociedade*» (Esp. 4) e «*para a sustentabilidade deste setor, mesmo que os consumidores não estejam dispostos a pagar*» (Esp 8). Os especialistas defendem que «*o Design tem um forte impacto em todas as outras componentes do edifício*» (Esp 18), principalmente no «*consumo de energia e na implementação dos materiais*» (Esp 11), e por isso é considerada uma componente extremamente importante. Além disso, aqueles que avaliaram as componentes dos Materiais e da Energia como muito importantes defendem que estas componentes são «*os principais fatores que contribuem para as alterações climáticas e para a escassez de recursos*» (Esp 11) e por isso têm uma importância acrescida para tornar este setor mais sustentável. Por outro lado, aqueles especialistas que avaliaram a componente da Água como não tão importante defendem que, devido ao «*preço reduzido*» deste bem (Esp 2), esta pode ser a componente com menos importância.

5. CONCLUSÕES

O setor da construção desempenha um papel económico e social extremamente importante a nível mundial, no entanto, têm também fortes impactos ao nível ambiental que tornam este setor num dos que mais contribui negativamente para o desenvolvimento sustentável. O atual modelo económico linear de *take, make, consume, dispose* faz com que a indústria da construção utilize uma quantidade considerável de recursos e energia e produza demasiados resíduos com graves consequências para o ambiente. Desta forma, é necessária uma mudança urgente de paradigma e de estilo de vida para tornar este setor mais sustentável. O modelo da Economia Circular tem demonstrado ser um modelo eficiente que permite mitigar os atuais problemas deste setor e por isso a promoção de práticas de construção sustentável assentes nestes princípios são a base para o equilíbrio ambiental, social e económico deste setor. Assim, este modelo permite estabelecer uma ligação clara entre o desenvolvimento sustentável e o setor da construção.

No entanto, apesar de haver cada vez mais a consciencialização destes problemas, ainda há uma série de barreiras que têm atrasado a adoção dos princípios da Economia Circular, nomeadamente a falta de informação por parte dos consumidores das vantagens deste tipo de construção e consequente desinteresse, o elevado investimento inicial e a falta de incentivos. Este tipo de construção requer um investimento inicial muito elevado que é inalcançável para a maioria dos consumidores e por isso torna-se fundamental perceber quais as principais componentes de uma construção assentes nos princípios da Economia Circular mais valorizadas pelos consumidores e a cujo preço não são tão sensíveis para que possam ser priorizadas, contribuindo para tornar progressivamente este setor mais sustentável. Por outro lado, ao haver este conhecimento, podem combater-se as principais barreiras deste modelo, ao identificar aquelas componentes em relação às quais os consumidores precisam de ser informados para melhor perceberem as suas vantagens. Esta consciencialização contribuirá para tornar a construção mais sustentável, por via do aumento o seu interesse do mercado.

O principal objetivo deste projeto era reduzir a lacuna existente na literatura sobre a Economia Circular ao identificar as principais estratégias relacionadas com o modelo da Economia Circular que permitem tornar este setor mais sustentável. Com os resultados deste trabalho, os intervenientes da indústria da construção ficam a conhecer, do ponto de vista dos especialistas, as estratégias que serão mais facilmente aceites e adotadas pelos consumidores. Desta forma, estes dados permitem estabelecer as bases para o desenvolvimento de um instrumento de apoio para a tomada de decisão dos construtores que pretendam priorizar algumas destas estratégias nos seus projetos, incentivando a implementação de práticas sustentáveis neste setor.

De acordo com os resultados apresentados, apesar de no final de duas rondas não se ter chegado a um consenso em várias estratégias, a estabilidade nas respostas foi alcançada na grande maioria. Como se pode observar na Figura 13, do ponto de vista dos especialistas, as estratégias da Energia são as que apresentam, em média, uma maior probabilidade de reconhecimento do seu valor por parte dos consumidores, enquanto que as estratégias da Água foram as que registaram uma menor probabilidade. Por outro lado, as estratégias dos Materiais foram as que apresentam, em média, uma maior sensibilidade ao preço, comparativamente com as estratégias da Água em relação às quais, do ponto de vista dos especialistas, os consumidores serão menos sensíveis ao preço.

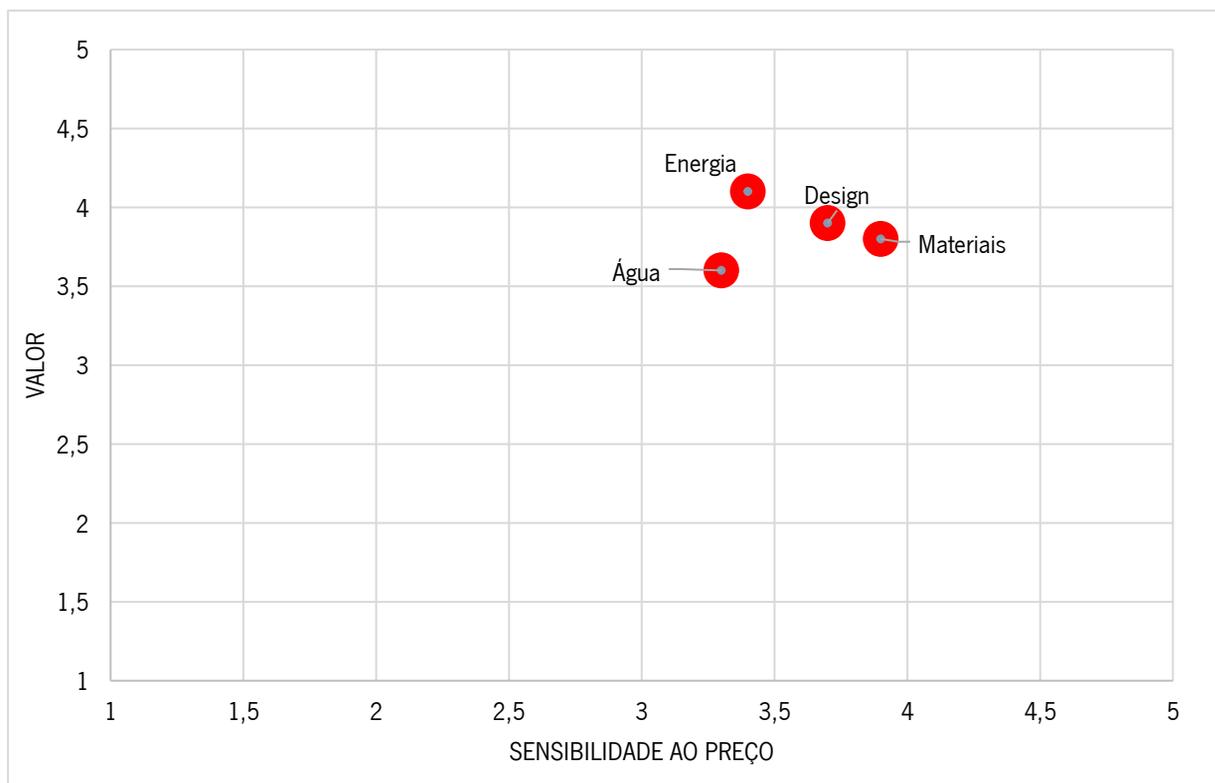


Figura 13. Valor e sensibilidade ao preço das quatro estratégias – média das estimativas da 2ª ronda

Com base nestes resultados, deveria de haver uma atenção acrescida por parte dos construtores nas estratégias da Energia para a promoção da construção sustentável, uma vez que são as estratégias em que os consumidores reconhecem mais facilmente o seu valor e não apresentam uma sensibilidade ao preço muito elevada. Estes resultados vão ao encontro de resultados de estudos anteriores que concluíram que a Energia sustentável é o atributo mais importante nas escolhas dos consumidores para uma construção sustentável (Luo et al., 2017). Por outro lado, apesar de as estratégias de *Design* e dos *Materiais* serem, do ponto de vista dos especialistas, extremamente importantes para a sustentabilidade deste setor, estão também associadas a uma maior sensibilidade ao preço e uma menor probabilidade de reconhecimento do

seu valor, pelo que são estratégias que serão mais dificilmente adotadas pelos consumidores. Tal como foi visto anteriormente, isto deve-se ao facto de haver uma maior preocupação por parte dos consumidores no resultado final do que com o processo de construção, pelo que há uma maior aceitação das estratégias com maiores benefícios na fase do ciclo de vida que o consumidor vê, como é o caso da Energia. Além disso, tal como foi referido pelo painel de especialistas, o atual preço da energia pode ter fortes impactos na consciencialização dos consumidores das vantagens da energia verde, pelo que os consumidores podem tornar-se menos sensíveis ao preço nestas estratégias, aumentando assim a procura por soluções energéticas mais sustentáveis.

Tendo em consideração os resultados apresentados e visto que o objetivo deste projeto era perceber quais as estratégias mais valorizadas e em relação às quais há uma menor sensibilidade ao preço de forma a priorizar a promoção destas estratégias, há um conjunto de medidas que poderão ser implementadas. Dada a urgência de uma mudança de paradigma neste setor e visto que uma construção totalmente autossustentável tem um custo inicial inalcançável para a maioria dos consumidores, seria importante que os construtores priorizassem a implementação das estratégias em que os consumidores apresentam uma maior probabilidade de reconhecimento do seu valor e uma menor sensibilidade ao preço. Se os construtores comessem por adotar essas estratégias, poderia haver uma maior procura e uma maior adoção por parte dos consumidores por este tipo de construção. Por outro lado, visto que há uma grande falta de conhecimento por parte dos consumidores, era importante que, ao nível do marketing, fossem implementadas ações de comunicação, informando e sensibilizando o mercado para a necessidade de serem implementadas novas formas de construção que vão ao encontro dos princípios da Economia Circular. Como já foi comprovado em estudos anteriores (Hwang & Tan, 2012; Luo et al., 2017; Ofek et al., 2018), há uma maior aceitação do investimento inicial mais elevado quando os consumidores estão familiarizados com este tipo de construção, pelo que a promoção das vantagens deste modelo tornam-se fundamentais para uma maior adoção. No entanto, mesmo que os consumidores reconheçam as vantagens ambientais, vai continuar a haver uma grande sensibilidade ao preço, e por isso torna-se fundamental dar a conhecer ao mercado o valor económico que este modelo tem no longo prazo. Se houver esta comunicação das previsões das poupanças económicas associadas a uma construção sustentável, vai haver certamente uma maior probabilidade de os consumidores aceitarem o maior investimento inicial que é necessário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acharya, D., Boyd, R., & Finch, O. (2018). *From principles to practices: First steps towards a circular build environment* [Ebook]. ARUP e Ellen McArthur Foundation. Acedido em 2 Novembro 2021, de <https://www.arup.com/>
2. Ahmad, W., Ahmad, A., Ostrowski, K. A., Aslam, F., & Joyklad, P. (2021). A scientometric review of waste material utilization in concrete for sustainable construction. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00683. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2021.E00683>
3. Akadiri, P. O., Chinyio, E. A., & Olomolaiye, P. O. (2012). Design of a sustainable building: A conceptual framework for implementing sustainability in the building sector. *Buildings*, 2(2), 126–152. <https://doi.org/10.3390/buildings2020126>
4. Akhanova, G., Nadeem, A., Kim, J. R., & Azhar, S. (2019). A Framework of Building Sustainability Assessment System for the Commercial Buildings in Kazakhstan. *Sustainability*, 11(17). <https://doi.org/10.3390/su11174754>
5. Alhilli, H. K., & Burhan, A. M. (2021). Developing a system for assessing the sustainability in school building projects. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 17483–17502. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01397-x>
6. Alyami, S. H., Rezgui, Y., & Kwan, A. (2013). Developing sustainable building assessment scheme for Saudi Arabia: Delphi consultation approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 43–54. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.06.011>
7. Alyousef, R., Ahmad, W., Ahmad, A., Aslam, F., Joyklad, P., & Alabduljabbar, H. (2021). Potential use of recycled plastic and rubber aggregate in cementitious materials for sustainable construction: A review. *Journal of Cleaner Production*, 329, 129736. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129736>
8. Ameyaw, E. E., Hu, Y., Shan, M., Chan, A. P. C., & Le, Y. (2016). Application of Delphi method in construction engineering and management research: A quantitative perspective. *Journal of Civil Engineering & Management*, 22(8), 991–1000. <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.945953>
9. Anastasiades, K., Blom, J., Buyle, M., & Audenaert, A. (2020). Translating the circular economy to bridge construction: Lessons learnt from a critical literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109522>
10. Anderhofstadt, B., & Spinler, S. (2019). Factors affecting the purchasing decision and operation of alternative fuel-powered heavy-duty trucks in Germany – A Delphi study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 73, 87–107. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.06.003>

11. Araujo, A. G., Carneiro, A. M. P., & Palha, R. P. (2020). Sustainable construction management: A systematic review of the literature with meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120350>
12. Aşchilean, I., Cobîrzan, N., Bolboaca, A., Boieru, R., & Felseghi, R.-A. (2021). Pairing solar power to sustainable energy storage solutions within a residential building: A case study. *International Journal of Energy Research*, 45(10), 15495–15511. <https://doi.org/10.1002/er.6982>
13. Azzi, M., Duc, H., & Ha, Q. P. (2015). Toward sustainable energy usage in the power generation and construction sectors - a case study of Australia. *Automation in Construction*, 59, 122–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.08.001>
14. Bakker, C., Wang, F., Huisman, J., & Den Hollander, M. (2014). Products that go round: exploring product life extension through design. *Journal of Cleaner Production*, 69, 10–16. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.01.028>
15. Barrios, M., Guilera, G., Nuño, L., & Gómez-Benito, J. (2021). Consensus in the delphi method: What makes a decision change? *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120484. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2020.120484>
16. Beiderbeck, D., Frevel, N., von der Gracht, H. A., Schmidt, S. L., & Schweitzer, V. M. (2021). Preparing, conducting, and analyzing Delphi surveys: Cross-disciplinary practices, new directions, and advancements. *MethodsX*, 8, 101401. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101401>
17. Belton, I., MacDonald, A., Wright, G., & Hamlin, I. (2019). Improving the practical application of the Delphi method in group-based judgment: A six-step prescription for a well-founded and defensible process. *Technological Forecasting and Social Change*, 147, 72–82. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2019.07.002>
18. Benachio, G. L. F., Freitas, M. do C. D., & Tavares, S. F. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>
19. Bocken, N. M. P., Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
20. Bolger, F., Stranieri, A., Wright, G., & Yearwood, J. (2011). Does the Delphi process lead to increased accuracy in group-based judgmental forecasts or does it simply induce consensus amongst judgmental forecasters? *Technological Forecasting and Social Change*, 78(9), 1671–1680. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2011.06.002>

21. Bolger, F., & Wright, G. (2011). Improving the Delphi process: Lessons from social psychological research. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(9), 1500–1513. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2011.07.007>
22. Bond, S. (2011). Barriers and drivers to green buildings in Australia and New Zealand. *Journal of Property Investment & Finance*, 29, 494-509. <https://doi.org/10.1108/14635781111150367>
23. Chel, A., & Kaushik, G. (2018). Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building. *Alexandria Engineering Journal*, 57(2), 655–669. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2017.02.027>
24. Darko, A., & Chan, A. P. C. (2017). Review of Barriers to Green Building Adoption. *Sustainable Development*, 25(3), 167–179. <https://doi.org/10.1002/sd.1651>
25. De los Rios, I. C. De, & Charnley, F. J. S. (2017). Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design. *Journal of Cleaner Production*, 160, 109–122. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.10.130>
26. Diamond, I. R., Grant, R. C., Feldman, B. M., Pencharz, P. B., Ling, S. C., Moore, A. M., & Wales, P. W. (2014). Defining consensus: A systematic review recommends methodologic criteria for reporting of Delphi studies. *Journal of Clinical Epidemiology*, 67(4), 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2013.12.002>
27. Díaz-López, C., Carpio, M., Martín-Morales, M., & Zamorano, M. (2021). Defining strategies to adopt Level(s) for bringing buildings into the circular economy. A case study of Spain. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125048. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.125048>
28. Eberhardt, L. C. M., Birkved, M. & Birgisdottir, H. (2020). Building design and construction strategies for a circular economy. *Architectural Engineering and Design Management*, 225, 12055. <https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1781588>
29. Fořt, J., & Černý, R. (2020). Transition to circular economy in the construction industry: Environmental aspects of waste brick recycling scenarios. *Waste Management*, 118, 510–520. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2020.09.004>
30. Fritschy, C., & Spinler, S. (2019). The impact of autonomous trucks on business models in the automotive and logistics industry—a Delphi-based scenario study. *Technological Forecasting and Social Change*, 148, 119736. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119736>
31. Gallego-Schmid, A., Chen, H.-M., Sharmina, M., & Mendoza, J. M. F. (2020). Links between circular economy and climate change mitigation in the built environment. *Journal of Cleaner Production*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121115>

32. Gan, X., Zuo, J., Ye, K., Skitmore, M., & Xiong, B. (2015). Why sustainable construction? Why not? An owner's perspective. *Habitat International*, 47, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.01.005>
33. Gebhardt, M., Spieske, A., & Birkel, H. (2022). The future of the circular economy and its effect on supply chain dependencies: Empirical evidence from a Delphi study. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, 102570. <https://doi.org/10.1016/J.TRE.2021.102570>
34. Ghisellini, P., Ripa, M., & Ulgiati, S. (2018). Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 178, 618–643. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.11.207>
35. Global Alliance for Buildings and Construction, United Nations Environment Programme (2020). 2020 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. Disponível em <https://globalabc.org/news/launched-2020-global-status-report-buildings-and-construction>
36. Graham, B., Regehr, G., & Wright, J. G. (2003). Delphi as a method to establish consensus for diagnostic criteria. *Journal of Clinical Epidemiology*, 56(12), 1150–1156. [https://doi.org/10.1016/S0895-4356\(03\)00211-7](https://doi.org/10.1016/S0895-4356(03)00211-7)
37. Grisham, T. (2009). The Delphi technique: a method for testing complex and multifaceted topics. *International Journal of Managing Projects in Business*, 2(1), 112–130. <https://doi.org/10.1108/17538370910930545>
38. Grover, R., Emmitt, S., & Copping, A. (2020). Trends in sustainable architectural design in the United Kingdom: A Delphi study. *Sustainable Development*, 28(4), 880–896. <https://doi.org/10.1002/sd.2043>
39. Guerra, B. C., & Leite, F. (2021). Circular economy in the construction industry: An overview of United States stakeholders' awareness, major challenges, and enablers. *Resources, Conservation & Recycling*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105617>
40. Guerra, B. C., Shahi, S., Molleai, A., Skaf, N., Weber, O., Leite, F., & Haas, C. (2021). Circular economy applications in the construction industry: A global scan of trends and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 324. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129125>
41. Hallowell, M. R., & Gambatese, J. A. (2010). Qualitative Research: Application of the Delphi Method to CEM Research. *Journal of Construction Engineering & Management*, 136(1), 99–107. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000137](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000137)

42. Hasheminasab, H., Zolfani, S. H., Kharrazi, M., & Streimikiene, D. (2022). Combination of sustainability and circular economy to develop a cleaner building industry. *Energy and Buildings*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111838>
43. Hasson, F., & Keeney, S. (2011). Enhancing rigour in the Delphi technique research. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(9), 1695–1704. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.04.005>
44. Hasson, F., Keeney, S., & McKenna, H. (2000). Research guidelines for the Delphi survey technique. *Journal of Advanced Nursing*, 32(4), 1008–1015. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2648.2000.t01-1-01567.x>
45. Hollander, M. C., Bakker, C. A., & Hultink, E. J. (2017). Product Design in a Circular Economy: Development of a Typology of Key Concepts and Terms. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 517–525. <https://doi.org/10.1111/jiec.12610>
46. Hossain, M. U., Ng, S. T., Antwi-Afari, P., & Amor, B. (2020). Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109948. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109948>
47. Hussler, C., Muller, P., & Rondé, P. (2011). Is diversity in Delphi panelist groups useful? Evidence from a French forecasting exercise on the future of nuclear energy. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(9), 1642–1653. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2011.07.008>
48. Hwang, B. G., & Tan, J. S. (2012). Green building project management: obstacles and solutions for sustainable development. *Sustainable Development*, 20(5), 335–349. <https://doi.org/10.1002/sd.492>
49. Jesus, A., Antunes, P., Santos, R., & Mendonça, S. (2019). Eco-innovation pathways to a circular economy: Envisioning priorities through a Delphi approach. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1494–1513. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.04.049>
50. Joensuu, T., Edelman, H., & Saari, A. (2020). Circular economy practices in the built environment. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124215. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124215>
51. Juan, Y. K., Hsu, Y. H., & Xie, X. (2017). Identifying customer behavioral factors and price premiums of green building purchasing. *Industrial Marketing Management*, 64, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2017.03.004>
52. Landeta, J. (2006). Current validity of the Delphi method in social sciences. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(5), 467–482. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.09.002>

53. Leising, E., Quist, J., & Bocken, N. (2018). Circular Economy in the building sector: Three cases and a collaboration tool. *Journal of Cleaner Production*, 176, 976–989. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.010>
54. Li, J., Wang, Q., & Zhou, H. (2020). Establishment of key performance indicators for green building operations monitoring - An application to China case study. *Energies*, 13(4), 976. <https://doi.org/10.3390/en13040976>
55. Li, B., & Yao, R. (2012). Building energy efficiency for sustainable development in China: challenges and opportunities. *Building Research & Information*, 40(4), 417–431. <https://doi.org/10.1080/09613218.2012.682419>
56. Linstone, H. A., & Turoff, M. (2011). Delphi: A brief look backward and forward. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(9), 1712–1719. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2010.09.011>
57. Liu, H., & Lin, B. (2016). Ecological indicators for green building construction. *Ecological Indicators*, 67, 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.024>
58. Liu, Z.-J., Pyplacz, P., Ermakova, M., & Konev, P. (2020). Sustainable Construction as a Competitive Advantage. *Sustainability*, 12(5946), 5946. <https://doi.org/10.3390/su12155946>
59. Luo, W., Kanzaki, M., & Matsushita, K. (2017). Promoting green buildings: Do Chinese consumers care about green building enhancements? *International Journal of Consumer Studies*, 41(5), 545–557. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12364>
60. Luthra, S., Kumar, S., Garg, D., & Haleem, A. (2015). Barriers to renewable/sustainable energy technologies adoption: Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 762–776. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.08.077>
61. Mahanty, S., Boons, F., Handl, J., & Batista-Navarro, R. (2021). An investigation of academic perspectives on the 'circular economy' using text mining and a Delphi study. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128574. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.128574>
62. Mahpour, A. (2018). Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition waste management. *Resources, Conservation & Recycling*, 134, 216–227. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.026>
63. Manoliadis, O., Tsolas, I., & Nakou, A. (2006). Sustainable construction and drivers of change in Greece: a Delphi study. *Construction Management & Economics*, 24(2), 113–120. <https://doi.org/10.1080/01446190500204804>

64. McMillan, S. S., King, M., & Tully, M. P. (2016). How to use the nominal group and Delphi techniques. *International Journal of Clinical Pharmacy*, 38(3), 655–662. <https://doi.org/10.1007/s11096-016-0257-x>
65. Mhatre, P., Gedam, V., Unnikrishnan, S., & Verma, S. (2021). Circular economy in built environment – Literature review and theory development. *Journal of Building Engineering*, 35, 101995. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2020.101995>
66. Minunno, R., O'Grady, T., Morrison, G. M., Gruner, R. L., & Colling, M. (2018). Strategies for Applying the Circular Economy to Prefabricated Buildings. *Buildings*, 8(9), 125. <https://doi.org/10.3390/buildings8090125>
67. Norouzi, M., Chàfer, M., Cabeza, L. F., Jiménez, L., & Boer, D. (2021). Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis. *Journal of Building Engineering*, 44, 102704. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.102704>
68. Nuñez-Cacho, P., Górecki, J., Molina-Moreno, V., & Corpas-Iglesias, F. A. (2018). What gets measured, gets done: Development of a Circular Economy measurement scale for building industry. *Sustainability (Switzerland)*, 10(7), 2340. <https://doi.org/10.3390/su10072340>
69. Ofek, S., Akron, S., & Portnov, B. A. (2018). Stimulating green construction by influencing the decision-making of main players. *Sustainable Cities and Society*, 40, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.005>
70. Ogunmakinde, O. E., Egbelakin, T., & Sher, W. (2022). Contributions of the circular economy to the UN sustainable development goals through sustainable construction. *Resources, Conservation & Recycling*, 178, 106023. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106023>
71. Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications. *Information and Management*, 42(1), 15–29. <https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002>
72. Olawumi, T. O., & Chan, D. W. M. (2018). Identifying and prioritizing the benefits of integrating BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts. *Sustainable Cities and Society*, 40, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.033>
73. Olawumi, T. O., & Chan, D. W. M. (2019). Critical success factors for implementing building information modeling and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey. *Sustainable Development*, 27(4), 587–602. <https://doi.org/10.1002/sd.1925>
74. Ololade, O. O., & Rametse, P. P. (2018). Determining factors that enable managers to implement an environmental management system for sustainable construction: A case study in Johannesburg. *Business Strategy & the Environment*, 27(8), 1720–1732. <https://doi.org/10.1002/bse.2237>

75. Olsen, A. A., Wolcott, M. D., Haines, S. T., Janke, K. K., & McLaughlin, J. E. (2021). How to use the Delphi method to aid in decision making and build consensus in pharmacy education. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 13(10), 1376–1385. <https://doi.org/10.1016/J.CPTL.2021.07.018>
76. Orsini, F., & Marrone, P. (2019). Approaches for a low-carbon production of building materials: A review. *Journal of Cleaner Production*, 241(12), 118380. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118380>
77. Padilla-Rivera, A., Carmo, B. B. T., Arcese, G., & Merveille, N. (2021). Social circular economy indicators: Selection through fuzzy delphi method. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 101–110. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2020.09.015>
78. Perini, K., Ottelé, M., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, 46(11), 2287–2294. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>
79. Perveen, S., Kamruzzaman, M., & Yigitcanlar, T. (2017). Developing Policy Scenarios for Sustainable Urban Growth Management: A Delphi Approach. *Sustainability*, 9(10), 1787. <https://doi.org/10.3390/su9101787>
80. Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment: A research framework. *Journal Of Cleaner Production*, 143, 710–718. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>
81. Powell, C. (2003). The Delphi technique: Myths and realities. *Journal of Advanced Nursing*, 41(4), 376–382. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2648.2003.02537.x>
82. Riemens, J., Lemieux, A.-A., Lamouri, S., & Garnier, L. (2021). A Delphi-Régnier Study Addressing the Challenges of Textile Recycling in Europe for the Fashion and Apparel Industry. *Sustainability*, 13(21), 11700. <https://doi.org/10.3390/su132111700>
83. Rosa, P., Sassanelli, C., & Terzi, S. (2019). Towards Circular Business Models: A systematic literature review on classification frameworks and archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117696. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.117696>
84. Rowe, G., & Wright, G. (1999). The Delphi technique as a forecasting tool: Issues and analysis. *International Journal of Forecasting*, 15(4), 353–375. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(99\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(99)00018-7)
85. Ruiz, L. A. L., Ramón, X. R., & Domingo, S. G. (2020). The circular economy in the construction and demolition waste sector – A review and an integrative model approach. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119238. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119238>

86. Schuetze, T., Lee, J.-W., & Lee, T.-G. (2013). Sustainable Urban (re-) Development with Building Integrated Energy, Water and Waste Systems. *Sustainability*, 5(3), 1114–1127. <https://doi.org/10.3390/su5031114>
87. Sekayi, D., & Kennedy, A. (2017). Qualitative delphi method: A four round process with a worked example. *Qualitative Report*, 22(10), 2755–2763. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2017.2974>
88. Sev, A. (2009). How can the construction industry contribute to sustainable development? A conceptual framework. *Sustainable Development*, 17(3), 161–173. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sd.373>
89. Shi, L., & Chew, M. Y. L. (2012). A review on sustainable design of renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 192–207. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2011.07.147>
90. Steinemann, A., Wargocki, P., & Rismanchi, B. (2017). Ten questions concerning green buildings and indoor air quality. *Building and Environment*, 112, 351–358. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2016.11.010>
91. Tomovska, R., & Radivojević, A. (2017). Tracing sustainable design strategies in the example of the traditional Ohrid house. *Journal of Cleaner Production*, 147, 10–24. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.01.073>
92. Toppinen, A., Röhr, A., Pätäri, S., Lähtinen, K., & Toivonen, R. (2018). The future of wooden multistory construction in the forest bioeconomy – A Delphi study from Finland and Sweden. *Journal of Forest Economics*, 31, 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2017.05.001>
93. Tserng, H.-P., Chou, C.-M., Chang, Y.-T. (2021). The Key Strategies to Implement Circular Economy in Building Projects - A Case Study of Taiwan. *Sustainability*, 13(2), 754. <https://doi.org/10.3390/su13020754>
94. Tunn, V. S. C., Bocken, N. M. P., van den Hende, E. A., & Schoormans, J. P. L. (2019). Business models for sustainable consumption in the circular economy: An expert study. *Journal of Cleaner Production*, 212, 324–333. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.290>
95. Ünal, E., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Manzini, R. (2019). Value Creation in Circular Business Models: The case of a US small medium enterprise in the building sector. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 291–307. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.12.034>
96. United Nations Environment Programme (2020). *2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. [Ebook]. Acedido em 2 novembro 2021, de <https://www.unep.org/>

97. von der Gracht, H. A. (2012). Consensus measurement in Delphi studies: Review and implications for future quality assurance. *Technological Forecasting & Social Change*, 79(8), 1525–1536. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.013>
98. Wanjiru, E., & Xia, X. (2018). Sustainable energy-water management for residential houses with optimal integrated grey and rain water recycling. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1151–1166. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.09.212>
99. Wibowo, M. A., Handayani, N. U., & Mustikasari, A. (2018). Factors for implementing green supply chain management in the construction industry. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 11(4), 651–679. <https://doi.org/10.3926/jiem.2637>
100. Wijewickrama, M. K. C. S., Rameezdeen, R., & Chileshe, N. (2021). Information brokerage for circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127938. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127938>
101. Williams, K., & Dair, C. (2007). What is stopping sustainable building in England? Barriers experienced by stakeholders in delivering sustainable developments. *Sustainable Development*, 15(3), 135–147. <https://doi.org/10.1002/sd.308>
102. Wu, W., & Skye, H. M. (2021). Residential net-zero energy buildings: Review and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110859. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.110859>
103. Zhang, L., Wu, J., & Liu, H. (2018). Turning green into gold: A review on the economics of green buildings. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2234–2245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.188>
104. Zhu, X. (2018). *The Circular Economy Opportunity for Urban and Industrial Innovation in China* [Ebook]. ARUP e Ellen McArthur Foundation. Acedido em 3 Novembro 2021, de <https://www.arup.com/>

Apêndice A

Tabela 5B. Caracterização do painel: Informação Profissional

Nº	Sector de atuação	Profissão	Informação extra
1	Industrial	Fundador e Diretor	Especialista em EC, Mentor da EC e conselheiro da cidade
2	Industrial	Diretor e Gestor de Projetos	Especialista em Reciclagem e EC
3	Industrial	Diretor	Consultor certificado em Construção Sustentável pela Mollo
4	Industrial	Consultor de CS	Certificado LEED pelo GBCI
5	Industrial	Coordenador de <i>design</i>	Certificado de CESBE e EDCE
6	Industrial	Arquiteto	
7	Industrial	Diretora de Consultoria em Sustentabilidade	Professora de Construção Sustentável
8	Política	Diretor da CS e da EC	Formação para o desenvolvimento de estratégias de EC
9	Industrial	Diretora e consultora ambiental	Professora; Certificado LEED pelo GBCI, Especialista e Auditor EDGE
10	Industrial	Arquiteta e consultora da EC	Ex-investigadora no Centro Científico e Técnico de Construção
11	Académica	Investigadora	Certificado de CESBE
12	Industrial	Arquiteto e consultor de CS	Consultor na GBCD, Arquiteto na Câmara Municipal de Lisboa
13	Industrial	Gestão de <i>Cluster</i>	
14	Industrial	Fundador, Consultor de Sustentabilidade	Especialista em inovação e tecnologia de materiais sustentáveis
15	Industrial	Diretor e Gestor de projetos	
16	Industrial	Arquiteta e Coordenadora de Sustentabilidade	Recebeu em 2021 o Prémio AJ100 de Sustentabilidade
17	Industrial	Especialista em EC	Fundador da Building Integrated Greenhouses
18	Industrial	Consultora da EC	
19	Industrial	Gestor de projetos de inovação	
20	Industrial	Diretora Técnica	Professora auxiliar e ex-investigadora científica
21	Académica	Investigadora	Certificado de EDCE
22	Académica	Investigadora	Arquiteta

Apêndice B

Questionário

Due to its important negative environmental impacts, the construction sector will need to become more sustainable in the future, namely by implementing the circular economy principles. However, some of these changes can raise short-term costs, which may prevent their general acceptance and implementation.

Thus, the aim of this research is to **identify the components of sustainable construction based on circular economy principles** that **consumers would value the most** and would be the **least cost-sensitive** to, so they can be prioritised when addressing the market. In the context of this research, **consumers are the customers of residential buildings**.

The Delphi study is a tool to assess future scenarios, therefore, the statements are **projections** that we kindly ask you to evaluate, based on your knowledge and experience.

You are part of an international panel of experts from several different countries, who accepted to provide their estimates regarding such projections. We are aware that your valuation may be influenced by your country's market conditions. However, we would like to ask you to make your assessments as much as possible based on your **expertise and knowledge about the global market and its trends**.

Part 1 - The road to 2030 sustainability goals

Please evaluate, based on your opinion, how likely the following statements are.

Rate on a scale of 1 to 5; where 1 = Not probable; 2 = somewhat improbable; 3 = neutral; 4 = somewhat probable; 5 = Extremely probable

1. By 2030, the costs along the entire life-cycle of buildings will have a significantly greater effect on consumer decision making in building projects than just the purchase price.
2. By 2030, the increase in the consumers' demand for sustainable buildings will be attractive enough to become the builders' central focus
3. By 2030, consumers will be less sensitive to the initial investment that a building based on circular economy principles requires.
4. Circular Economy has impacts not only at environmental level but also at economic and social level. However, by 2030, the adoption of circular economy principles in the construction sector will be mainly based on its environmental impact.

Would you like to share the main reasons for your estimates?

Part 2 - Components of the sustainable construction based on circular economy principles

There is an increasingly urgent need for a paradigm shift in the current model of the construction sector, through the adoption of circular economy principles. However, a self-sustainable construction requires a very high initial investment that is unaffordable for most consumers. In this way, it is fundamental to understand which components of a self-sustainable construction are prioritized and have a greater impact on the sustainability of this sector.

These components are aspects that can increase the price of construction, however they provide not only environmental savings that allow this sector to become more sustainable, but also monetary savings due to

lower long-term costs and social savings, since they influence the health and welfare of consumers. This section aims at knowing how willing consumers are to pay for an increased price taking into account the mentioned advantages.

1. For each of the components listed, please rate, based on your knowledge and experience, what is the probability that consumers will **recognise the value** of these components (by being aware and understanding their benefits) by 2030.

Please rate on a scale of 1 to 5; where 1 = Not probable; 2 = somewhat improbable; 3 = neutral; 4 = somewhat probable; 5 = Extremely probable

Architecture and building design	1	2	3	4	5
Prefabricated systems (As components are assembled off-site, in their own factories, the amount of resources needed can be reduced, since raw materials are optimized and waste is avoided)					
Standardised size of building components (Allows increasing the circularity of products materials and products can be easily adapted for different projects)					
Natural ventilation and lighting solutions (Reduces energy consumption needed for mechanical or forced ventilation and artificial lighting. It also improves the health, comfort and productivity of the occupants)					
Design for sequential disassembly (Facilitates the reuse of materials in the deconstruction phase, as the design is developed so that materials can be easily disassembled and separated from each other)					
Low-impact site construction (Minimizes the impact of construction activity on the environment, which means that wildlife and existing vegetation should be preserved and restored to protect the ecosystem of the environment)					
Optimising the shape and orientation of the building (Defining the design according to solar exposure and vegetation influences the energy efficiency of the building, allowing passive heating and cooling)					
Building greening system (The integration of vegetation in buildings, through green roofs or vertical greening, allows a significant improvement in the efficiency of the building, as it improves the thermal and acoustic insulation of the building, improves air quality, extends the life of the roof and improves the market value of the building)					

Can you please provide the most important reasons for your estimates?

Materials	1	2	3	4	5
Construction materials that are sourced locally (Allows reducing the carbon footprint associated to transportation and contribute to local economic development)					
Materials with low embodied energy (Materials that are more sustainable because they consume less energy along all the stages of their production, from raw materials 'extraction, to transportation, to transformation. For example, sand and aggregate have lower embodied energy than aluminium and steel).					
Natural, organic and non-toxic materials (such as wood, bamboo and stone)					
Recycled materials (Recycling materials such as rubber, glass and plastic can be used as substitutes for natural aggregate in concrete. Recycled plastic can also be used in bricks and other construction materials that can reduce the demand for natural resources)					
Adapting existing buildings for the new building (for example, by using the cladding of the old structure for the new one and using the waste materials resulting from demolition and construction in new materials such as windows and doors)					
Materials that may be more expensive but that last longer and need lower maintenance					

Can you please provide the main reasons for your estimates?

Energy	1	2	3	4	5
Thermal insulation					
Energy-saving Windows (for example, by using double or triple glazed windows)					
Heat pump					
Heat recovery systems (heat recovery from high temperature areas, such as the kitchen and bathroom, through a mechanical ventilation unit allows removing heat from these areas and using it elsewhere in the house)					
Integrated Collector Storage system (These small solar water heaters designed to cover domestic needs of about 100-200 liters of hot water per day allow to reduce the house energy consumption).					
Photovoltaic energy panel system (for energy production)					
Solar thermal energy panel system (for solar water heater and solar air heater)					
Wind turbines (for energy production)					
Energy-efficient equipment (using energy-efficient equipment with a class of energy efficiency not lower than "A")					
Automatic temperature control system (This reduces the energy required, and allows greater control over the energy consumed for heating and cooling)					
Underfloor air distribution (These advanced systems provide air conditioning in a building through a raised floor plenum. This technology is more efficient and saves more energy than other conventional types)					

Can you please provide the main reasons for your estimates?

--

Water	1	2	3	4	5
Water recycling systems for non-potable uses: (such as toilet flushing, cooling system heat radiators and irrigation systems)					
Water recycling through the reuse of rain water (which can be captured through catchment systems such as roof gardens or rainwater cisterns)					
Water recycling through the reuse of grey water (water generated from households, such as water from washing machines and showers)					

Use of low flow equipment (reduces water consumption)					
Subterranean drop-by-drop irrigation systems (that reduces water loss caused by evaporation of water during irrigation or after rain)					

Can you please provide the main reasons for your estimates?

2. For each of the components listed, please rate, based on your knowledge and experience, **how price sensitive** consumers will be by 2030.

Please rate on a scale of 1 to 5; where 1 = Not at all sensitive; 2 = Somewhat sensitive; 3 = sensitive; 4 = Very sensitive; 5 = Extremely sensitive

Architecture and building design	1	2	3	4	5
Prefabricated systems					
Standardised size of building components					
Natural ventilation and lighting solutions					
Design for sequential disassembly					
Low-impact site construction					
Optimising the shape and orientation of the building					
Building greening system					

Can you please provide the most important reasons for your estimates?

Materials	1	2	3	4	5
Construction materials that are sourced locally					
Materials with low embodied energy					
Natural, organic and non-toxic materials					
Recycled materials					
Adapting existing buildings for the new building					
Materials that may be more expensive but that last longer and need lower maintenance					

Can you please provide the main reasons for your estimates?

--

Energy	1	2	3	4	5
Thermal insulation					
Energy-saving Windows					
Heat pump					
Heat recovery systems					
Integrated Collector Storage system					
Photovoltaic energy panel system					
Solar thermal energy panel system					
Wind turbines					
Energy-efficient equipment					
Automatic temperature control system					
Underfloor air distribution					

Can you please provide the main reasons for your estimates?

--

Water	1	2	3	4	5
Water recycling systems for non-potable uses					
Use of low flow equipment					
Subterranean drop-by-drop irrigation systems					

Can you please provide the main reasons for your estimates?

--

3. In general, how **important** would be the adoption of these components for the sustainability of this sector?

Please rate on a scale of 1 to 5; where 1 = Not important; 2 = Somewhat important; 3 = Important; 4 = Very important; 5 = Extremely important

Architecture and building design	1	2	3	4	5
Materials					
Energy					
Water					

Can you please provide the main reasons for your estimates?

If you consider that any important component is missing, please indicate here.

Part 3 - Personal information

Name

Gender

Age

Company /institution where you work

Job position

Years of experience in the construction sector

Would you be willing to recommend other experts we could contact for this purpose?

Please rate your level of expertise regarding the topics addressed (1- Very Low; 2- Reasonable; 3- High; 4- Very High)