



**Caracterização da cana *Arundo donax* L. e avaliação do seu potencial como material de isolamento térmico em Portugal**

Adriana Pollina Ansolin

UMinho | 2021

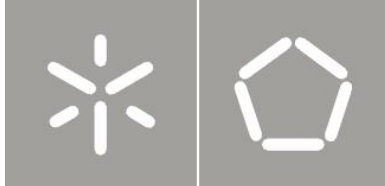


**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Adriana Pollina Ansolin

**Caracterização da cana *Arundo donax* L. e avaliação do seu potencial como material de isolamento térmico em Portugal**

Setembro de 2021



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Adriana Pollina Ansolin

**Caracterização da cana *Arundo donax* L. e  
avaliação do seu potencial como material  
de isolamento térmico em Portugal**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Professor Doutor Ricardo Filipe Mesquita da Silva  
Mateus**

**Doutora Raphaele de Lira Meireles de Castro  
Malheiro**

Setembro de 2021

## **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.

### ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



**Atribuição  
CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Agradecimentos

Na conclusão desta etapa da minha vida profissional, agradeço a minha família, que me apoiou incondicionalmente quando decidi estudar fora do Brasil, que me deu suporte e me manteve forte, que aguentou a distância e a saudade comigo, e sempre estiveram presentes em pensando.

Este trabalho não seria possível sem meus orientadores Doutor Ricardo Mateus e Doutora Raphaele Malheiro, que compartilharam seus conhecimentos comigo, me ensinaram, me mostram os caminhos da pesquisa e me proporcionaram trabalhar com um material incrível. Também agradeço a todos os colaboradores do projeto reVer, que não medem esforços para realizar um excepcional trabalho, direcionando a arquitetura para um mundo mais sustentável.

Agradeço a Universidade do Minho, pelo excelente programa de mestrado e estrutura proporcionada. Aos colaboradores do Laboratório de Materiais de Construção, Laboratório de Física e Tecnologia das Construções do Departamento de Engenharia Civil, o Instituto de Ciência e Inovação para a Bio-Sustentabilidade, e o Laboratório de Análise Avançada de Materiais do Departamento de Engenharia Têxtil, pela disponibilidade, ajuda e orientação durante a execução laboratorial. Sou grata também, a todo o corpo docente do MCRS, pelo aprendizado e orientações passadas sempre que precisei.

Agradeço também aos meus amigos de longa data, pelo incentivo e por compartilharem suas alegrias com as minhas conquistas, e aos amigos que fiz durante o programa de mestrado, eles foram minha família quando ela não pode estar por perto. Tenho sorte de sempre encontrar pessoas incríveis aonde vou.

Agradeço a todas as pessoas, que de alguma forma foram presentes em minha vida durante estes dois anos de mestrado, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e conclusão de mais uma etapa profissional.

Por fim, agradeço a Portugal, um país lindo e maravilhoso, que pela segunda vez me acolheu e me ensinou 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.

## Resumo

As condicionantes climáticas e o elevado consumo energético dos edifícios têm impulsionado o desenvolvimento de estratégias com contributo para a construção sustentável. Neste contexto, as construções vernáculas têm um papel cada vez mais de destaque, uma vez que algumas das suas soluções e técnicas podem ser adaptadas às construções atuais, contribuindo para a sua sustentabilidade. Contudo, os materiais e as técnicas tradicionais, por si só, não permitem manter de forma passiva o conforto térmico de um edifício durante a totalidade do ano. Assim, é necessário desenvolver uma solução ecológica que aumente a resistência térmica das construções vernáculas. A cana gigante (*Arundo donax* L.) é, uma planta invasora abundante em Portugal, tendo sido utilizada de diversas formas, inclusive como material de isolamento térmico. Este trabalho caracteriza as propriedades da cana portuguesa, proveniente do Alentejo, em três níveis (físico, durabilidade e térmico), a fim de compreender o potencial de utilização da *Arundo donax* L. como material de isolamento térmico na construção vernácula, com destaque para as construções em terra. Para tal, foi levado a cabo um trabalho experimental cujos resultados apontam para um elevado potencial de uso da cana na construção. A cana estudada apresenta um teor de humidade semelhante ao da madeira e retrações reduzidas. Contudo, a facilidade em absorver água, resultado da sua elevada higroscopicidade, poderá ser um atrativo para o surgimento de fungos, mediante a condições específicas, que degradam a cana e podem comprometer algumas das suas propriedades. Para o estudo das características térmicas das canas, foram desenvolvidos painéis (15 x 15 cm) que foram estudados com o auxílio de uma *hot box*. Os resultados dos ensaios realizados para diferentes modelos de painéis, com diferentes espessuras e posições de ensaio, deixam claro o elevado potencial de utilização da *Arundo donax* L. como material de isolamento térmico natural não convencional. A cana estudada apresenta uma resistência térmica entre 0,850 e 2,035 m<sup>2</sup>.°C/W, valores próximos dos materiais de isolamento térmico convencionalmente utilizados na construção. Assim, este material natural, abre um leque de possibilidades de utilização e futuras investigações, não devendo ser tratado negativamente apenas como um invasor, mas sim de um potencial material para a construção.

Palavras-chave: construção vernácula, materiais naturais, *Arundo donax* L., caracterização da cana, isolamento térmico

## Abstract

Climate conditions and high energy consumption of buildings have promoted the development of strategies with contribution to sustainable construction. In this context, vernacular constructions have an increasingly prominent role, since some of their solutions and techniques can be adapted to current constructions, contributing to their sustainability. However, traditional materials and techniques, themselves do not allow to passively maintaining the thermal comfort of a building throughout the year. Thus, it is necessary to develop an ecological solution that increases the thermal resistance of vernacular buildings. The giant reed (*Arundo donax* L.) is an invasive plant abundant in Portugal, having been used in several ways, including as a thermal insulation material. This work characterizes the properties of the Portuguese giant reed, from the Alentejo, on three levels (physical, durability and thermal) in order to understand the potential use of *Arundo donax* L. as a thermal insulation material in vernacular construction, with emphasis on the earth constructions. To this end, experimental work was carried out, the results of which point to a high potential for use of reed in construction. The studied reed has a moisture content similar to that of wood and reduced shrinkage. However, the ease in absorbing water, resulting from its high hygroscopicity, may be an attractive to the emergence of fungi, under specific conditions, which degrade the reed and can compromise some of its properties. To study the thermal characteristics of the reeds, panels (15 x 15 cm) were developed and studied with the help of a *hot box*. The results of the tests carried out for different models of panels, with different thicknesses and test positions, make clear the high potential of use *Arundo donax* L. as non-conventional natural thermal insulation material. The studied reed presents a thermal resistance between 0,850 and 2,035 m<sup>2</sup>.°C/W, values close to the thermal insulation materials conventionally used in construction. Thus, this natural material opens a range of possibilities for use and future research and it should not be treated negatively only as an invasive but as a potential material for construction.

Keywords: vernacular construction, natural materials, *Arundo donax* L., reed characterization, thermal insulation.

## Índice

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Enquadramento .....	1
1.2	Objetivos.....	4
1.3	Organização da dissertação.....	4
2	ESTADO DO CONHECIMENTO.....	5
2.1	Contextualização .....	5
2.2	Construção em terra em Portugal.....	6
2.2.1	Isolamento térmico e a construção em terra.....	8
2.3	Materiais utilizados no isolamento térmico de construções vernáculas portuguesas .....	9
2.4	Materiais convencionais e não convencionais utilizados no isolamento térmico das construções contemporâneas .....	10
2.4.1	Materiais convencionais.....	11
2.4.2	Materiais não convencionais naturais .....	12
2.5	O potencial da cana como material de isolamento térmico.....	17
2.6	Uso da cana em Portugal e no Mundo .....	20
2.6.1	Origem da cana e localização em Portugal e no Mundo.....	20
2.6.2	Uso geral.....	22
2.6.3	Uso na construção.....	23
2.7	Características da cana .....	28
2.7.1	Morfologia da cana .....	28
2.7.2	Espécies de cana em Portugal .....	28
2.7.3	Colheita.....	30
2.7.4	Controle .....	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1	Enquadramento .....	32



3.2	Origem e recepção das canas.....	32
3.3	Material .....	33
3.3.1	Identificação da espécie de cana em estudo.....	33
3.3.2	Preparação da cana.....	34
3.3.3	Seleção da ferramenta de corte .....	36
3.3.4	Caracterização física.....	37
3.3.4.1	Teor de humidade e variação dimensional.....	38
3.3.4.2	Massa volúmica .....	41
3.3.4.3	Absorção de água por capilaridade.....	42
3.3.4.4	Retração .....	46
3.3.5	Caracterização biológica .....	48
3.4	Painéis de isolamento térmico de cana.....	52
3.4.1	Concepção dos protótipos de painéis de isolamento térmico .....	52
3.4.1.1	Protótipo tipo caixa .....	52
3.4.1.2	Protótipo tipo esteira .....	53
3.4.2	Produção dos protótipos de painéis de isolamento térmico.....	54
3.4.3	Caracterização térmica .....	56
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	63
4.1	Caracterização física da cana .....	63
4.1.1	Teor de humidade .....	64
4.1.2	Variação dimensional.....	66
4.1.3	Massa volúmica.....	68
4.1.4	Absorção de água por capilaridade .....	70
4.1.5	Retração.....	74
4.2	Caracterização biológica.....	80
4.3	Caracterização térmica.....	87

4.3.1	A influência do tipo de painel e sua massa volúmica nos parâmetros térmicos estudados	90
4.3.2	Influência da espessura do painel nos parâmetros térmicos estudados.....	91
4.3.3	Influência do posicionamento das canas para formação do painel (paralelas ou perpendiculares) nos parâmetros térmicos estudados.....	92
4.3.4	Influência do posicionamento das canas para realização do ensaio (horizontal ou vertical) nos parâmetros térmicos estudados .....	93
4.3.5	Influência do diâmetro das canas nos parâmetros térmicos estudados .....	94
4.3.6	Cana como material de isolamento térmico.....	95
5	CONCLUSÕES .....	97
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	99
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
	ANEXO .....	113

## Índice de Figuras

Figura 1 – Casa de taipa Herdade Delgado em Beja (a); escritórios betão e taipa (b). .....	7
Figura 2 – Relação da massa volúmica das amostras (a) com respectivas condutividades térmicas (b). .....	13
Figura 3 – Distribuição da <i>Arundo donax</i> L. (giant reed) (a); distribuição <i>Phragmites australis</i> (common reed) (b). .....	21
Figura 4 – Ocupação das espécies de cana em Portugal Continental; <i>Arundo donax</i> L. (a); <i>Arundo micranta</i> (b); <i>Phragmites australis</i> (c); as três espécies juntas (d). .....	21
Figura 5 – Flauta egípcia feita de <i>Arundo donax</i> (a); Produto de cana produzida para proteção dos ceifeiros (b). .....	22
Figura 6 – Construções com cana. <i>Mudhif</i> no Iraque (a); ilhas flutuantes da tribo Uros, Lago Titicaca no Peru (b). .....	24
Figura 7 – Construção contemporânea com cana (a); maior cobertura com cana já conhecida (b). ....	24
Figura 8 – Soluções construtivas com cana na Espanha. ....	25
Figura 9 – Casa Laila, construção permanente (a); Expo Zaragoza 2008, construção efêmera (b). ....	25
Figura 10 – Construção com cana em Santiago de Cacém (a); construção de pedra, madeira e cana na cobertura (b). .....	26
Figura 11 – Uso da cana na construção de telhados no Alentejo (a); protótipo de Reed-cob (b). .....	27
Figura 12 – Características morfológicas da <i>Arundo donax</i> L. ....	29
Figura 13 – Disposição da cana em secagem ao sol (a); armazenamento da cana (b). .....	31
Figura 14 – Localização de Serpa em Portugal continental (a); local de colheita das canas (b); canas ( <i>Arundo donax</i> L.) (c). .....	33
Figura 15 – Bainha da folha "abraçando" o caule (a); inflorescência da <i>Arundo donax</i> L. (b); ramificação secundária (c). .....	34
Figura 16 – Determinação do diâmetro no centro da cana (a); determinação da espessura da parede da cana (b). .....	34
Figura 17 – Canas selecionadas para o estudo. ....	35
Figura 18 – Canas divididas em grupos de acordo com o diâmetro. ....	35
Figura 19 – Ramo que identifica a idade aproximada da cana (a); retirada do ramo e lixamento da superfície (b). .....	36
Figura 20 – Estrutura de "algodão": vista de cima (a); vista em perfil (b). .....	36

Figura 21 – Ferramentas de cortes testadas: serrote de fita e serrote reto (a); máquina elétrica de corte (b); resultado de corte com máquina elétrica (c).....	37
Figura 22 – Relação de quantidade de amostras para ensaio.....	38
Figura 23 – Identificação das amostras e marcação ortogonal e numeração correspondente para medição periódica.....	39
Figura 24 – Verificação inicial de massa (a); inserção das amostras na estufa (b).....	40
Figura 25 – Verificação da variação dimensional da cana durante ensaio de teor de humidade: diâmetro (a); espessura (b); comprimento (c). ....	41
Figura 26 – Amostras identificadas para definição da massa volúmica .....	41
Figura 27 – Etapas para montagem base estabilizadora das canas: arame recozido em arco e tamanho compatível com a cana (a); amarração do arame recozido em base plástica (b); canas estabilizadas na vertical (c). ....	43
Figura 28 – Amostra de cana revstida de silicone na superfície externa e interna da haste.....	44
Figura 29 – Processo de pesagem e medição para análise da variação dimensional.....	44
Figura 30 – Procedimento de ensaio de absorção de água por capilaridade na cana. ....	45
Figura 31 – Fixação da cana para ensaio de retração.....	46
Figura 32 – Relação das variações ensaiadas para testar a durabilidade da cana e demais materiais. ....	49
Figura 33 – Amostras ensaiadas: grupo 1 (a); grupo 2 (b); XPS (c); lã de rocha (d).....	49
Figura 34 – Procedimento de análise: verificação da massa (a); amostra de cana para análise visual (b); análise microscópio (c); amostra de cana visualizada com a presença de fungos (d).....	50
Figura 35 – Câmara Climática no Instituto de Ciência e Inovação para Bio-Sustentabilidade da UMinho (a); amostras de cana, XPS e lã de rocha em recipientes dentro de câmara climática (b, c). ....	51
Figura 36 – Estrutura da caixa de 10cm. ....	52
Figura 37 – Etapas de produção de esteira de cana utilizando um mini tear.....	53
Figura 38 – Evolução da montagem das esteiras: canas entrelaçadas unicamente coma linha de sisal (a); amarração a cada duas canas com a linha de sisal (b); amarração realizada a cada duas canas e com a linha de sisal com diâmetro reduzido (c).....	54
Figura 39 – Painel tipo caixa de 10 cm com hastes de cana inseridas de modo livre. ....	55
Figura 40 – Processo de sobreposição de esteiras a cada duas esteiras: duas esteiras amarradas (a); quatro esteiras formando o painel de 5 cm (b); sobreposição de dez esteiras para formar painel de 15 cm (c). ....	55
Figura 41 – Painel formado por esteiras no modo paralelo (a) e perpendicular (b). ....	55

Figura 42 – Equipamentos utilizados: sistema de aquecimento junto ao controlador de temperatura (a); sensor de fluxo de calor (b); termopar tipo K (c); PICOLOG (d).....	58
Figura 43 – Representação do painel entre as placas de MDF (a); instalação do termopar e sensor de fluxo de calor (b).....	59
Figura 44 – Vedação envolta do painel (a); registro termográfico do ensaio (b). ....	59
Figura 45 – Planta baixa esquemática da <i>hot box</i> com a instalação dos equipamentos (sem escala) (a); corte esquemático indicando a posição do painel em ensaio (sem escala) (b).....	60
Figura 46 – Combinação entre as variáveis estudadas no ensaio térmico. ....	61
Figura 47 – Óleo no adesivo de identificação e alteração de cor. ....	63
Figura 48 – Variação de massa (g) pelo período de 24 horas. ....	64
Figura 49 – Teor de humidade de outros materiais naturais comparados a <i>Arundo donax</i> L.....	66
Figura 50 - Médias da variação dimensional no diâmetro da cana. Diâmetro superior e inferior da amostra G1(a); diâmetro superior e inferior da amostra G2(b); .....	67
Figura 51 – Média da variação dimensional da espessura superior e inferior G1 e G2(a); variação dimensional do comprimento G1 e G2(b). ....	68
Figura 52 – Efeitos de ensaio em recipiente fechado. Saturação de água no topo da cana (a); fungos no nó (b); altura capilar na parede celular da cana (c).....	71
Figura 53 – Análise visual pós ensaio de absorção capilar. Cana com silicone partida ao meio (a); silicone interno com identificação das regiões de corte com parede mais seca e parede mais húmida (b); superfície extensa com aparência saturada na região do silicone (c), superfície interna húmida na região do silicone (d).....	71
Figura 54 – Visualização microscópica da parede da <i>Arundo donax</i> L (a); localização do feixe vascular em seção transversal da cana e aumento do tamanho de fora para dentro (b).....	72
Figura 55 – Absorção de água por capilaridade durante 48 horas (a); absorção capilar com 360 minutos de ensaio (b). ....	72
Figura 56 – Variação de massa em relação ao tempo por 48 horas (a); e nos primeiros 360 minutos de ensaio (b). ....	73
Figura 57 – Região do nó em corte longitudinal (a); nó em corte transversal (b). ....	73
Figura 58 – Efeitos na água após imersão de 168 horas (a); cana com coloração verde na seção de corte (b); “bolha” de água na cana (c).....	75
Figura 59 – Processo de secagem pós imersão. 180 minutos do início da secagem (a); 24 horas secagem na vertical (b); 48 horas de secagem (c). ....	75

Figura 60 – Relação variação de massa (a); teor de humidade absorvida x tempo (b). .....	78
Figura 61 – Índice de fungo da cana.....	81
Figura 62 – Crescimento de fungos nas canas secas vistas no microscópio (5x). Referência G1-Seco (a); 7 dias de ensaio G1-seco (b); 14 dias de ensaio G1-Seco (c); Referência G2-Seco (d); 7 dias de ensaio G2-Seco (e); 14 dias de ensaio G2-Seco (f).....	82
Figura 63 – Crescimento de fungo no G1, cada amostra com imagem de referência e com 42 dias de ensaio. ....	82
Figura 64 – Crescimento de fungo no G2, cada amostra com imagem de referência e com 42 dias de ensaio. ....	82
Figura 65 – Evolução fúngica no microscópio. Referência G1-II (10x) (a); G1-II com 14 dias de ensaio (10x) (b); G1-II com 28 dias (10x) (c); Referência G2-III (10x)(d); G2-III 14 dias (5x) (e); G2-III 28 dias (5x) (f).....	83
Figura 66 – Análise microscópica (5x) de materiais de isolamento térmico convencionais. Lã de rocha (referência) (a); lã de rocha com 21 dias de ensaio (b); lã de rocha com 35 dias de ensaio (c); XPS (referência) (d); XPS após 28 dias de ensaio (e); XPS após 35 dias de ensaio (f).....	84
Figura 67 – Variação de massa durante 42 dias de ensaio.....	85

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Características e preço médio de alguns materiais de isolamento térmico utilizados em Portugal. ....	12
Tabela 2 – Desempenho térmico de materiais naturais não convencionais .....	16
Tabela 3 – Investigações de desempenho térmico utilizando a cana .....	19
Tabela 4 – Relação de ensaios x normatizações utilizadas como referência .....	38
Tabela 5 – Índice de fungo e modelo de classificação para crescimento de fungos adaptado .....	51
Tabela 6 – Comparação de tempo para execução dos painéis .....	56
Tabela 7 – Valores médios da caracterização geométrica das canas em estudo.....	63
Tabela 8 – Variação de massa e teor de humidade por grupo.....	65
Tabela 9 – Variação dimensional das variáveis ensaiadas por grupo .....	67
Tabela 10 – Massa volúmica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) da <i>Arundo donax</i> L.....	69
Tabela 11 – Média da altura capilar atingida na <i>Arundo donax</i> L. ....	74
Tabela 12 – Média da retração linear total por variável ensaiada e por grupo.....	76
Tabela 13 – Médias por grupo e variáveis ensaiadas para retração volumétrica, coeficiente de retração volumétrica e teor em água de saturação das fibras .....	77
Tabela 14 – Média do teor de humidade.....	79
Tabela 15 – Análise por grupo da massa volúmica saturada, seca ao ar e seca em estufa.....	80
Tabela 16 – Médias do desempenho térmico dos painéis tipo caixa paralela de <i>Arundo donax</i> L.....	88
Tabela 17 – Médias do desempenho térmico dos painéis tipo esteira paralela de <i>Arundo donax</i> L. ....	89
Tabela 18 – Médias do desempenho térmico dos painéis tipo esteira perpendicular de <i>Arundo donax</i> L. ....	90
Tabela 19 – Médias das propriedades térmicas estudadas.....	91
Tabela 20 – Condutividade térmica de materiais de isolamento térmico convencionais comparados a cana em estudo .....	96
Tabela 21 – Características dimensionais das canas selecionadas .....	113
Tabela 22 – Média das dimensões das amostras em ensaio de verificação da massa volúmica da cana .....	114
Tabela 23 – Crescimento de fungo na <i>Arundo donax</i> L. grupo 1 (G1) durante 42 dias .....	115
Tabela 24 – Crescimento de fungo na <i>Arundo donax</i> L. grupo 2 (G2) durante 42 dias .....	117
Tabela 25 – Crescimento de fungo Lã de rocha e XPS durante 42 dias .....	119
Tabela 26 – Características dos painéis paralelos tipo caixa e esteira do grupo 1 (G1).....	121

Tabela 27 – Características dos painéis perpendiculares grupo 1 (G1) .....	122
Tabela 28 – Características dos painéis paralelos tipo caixa e esteira do grupo 2 (G2) .....	123
Tabela 29 – Características dos painéis perpendiculares do grupo 2 (G2).....	124
Tabela 30 – Características dos painéis paralelos tipo caixa e esteira do grupo misto (G1+G2) .....	124
Tabela 31 – Características dos painéis perpendiculares do grupo misto (G1+G2) .....	126



## Lista de Abreviaturas e Símbolos

A - Área

$A_c$  - Absorção de água por capilaridade

a.C – Antes de Cristo

AD – *Arundo donax* L.

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

BS - *British Standards*

cm – Centímetro

cm<sup>3</sup> – Centímetro cúbico

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

Coef. - Coeficiente

Conc. - Conclusão

Cont. - Continuação

CRn - Convergência

DP – Desvio padrão

e - Espessura

EPS – Poliestireno expandido moldado

ETA - *European Technical Assessment*

EUA – Estados Unidos da América

g - Gramas

g/cm<sup>3</sup> - Gramas por centímetro cúbico

G1 – Grupo 1

G2 – Grupo 2

HR – Humidade relativa

H% - Teor de humidade em percentagem

IB-S – Instituto de Ciência e Inovação para a Bio-Sustentabilidade

ICB – Cortiça expandida

ISISE – *Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering*

ISO - *International Organization for Standardization*

Kg/m<sup>2</sup> - Quilograma por metro quadrado

Kg/m<sup>3</sup> - Quilograma por metro cúbico

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

$l_1$  - Dimensão em determinada direção da amostra saturada

$l_2$  - Dimensão em determinada direção da amostra seca ao ar

$l_3$  - Dimensão em determinada direção da amostra seca em estufa

m - Metro

m<sup>2</sup> - Metro quadrado

MDF – *Medium density fiberboard*

mg - Miligrama

mm - Milímetro

MW – Lã mineral de massa volúmica elevada

$M_i$  - Massa da amostra no tempo  $t_i$ ,

$M_0$  - Massa da amostra

$m_1$  - Massa da amostra húmida

$m_2$  - Massa da amostra seca

NP - Norma Portuguesa

nZEB – *Nearly Zero Energy Buildings*

N<sup>o</sup> - Número

PA – *Phragmites australis*

$\rho_H$  - Massa volúmica

$q$  – fluxo de calor

R – Resistência térmica

RCCTE – Regulamento das características de Comportamento Térmico dos Edifícios

Recana – Resistência térmica da cana

Reconjunto – Resistência térmica do MDF + Cana + MDF

ReMDF – Resistência térmica do MDF

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RL – Retração linear

T - Temperatura média

U – Coeficiente de transmissão térmica

UE – União Europeia

UMinho - Universidade do Minho

USDA - *United States Department of Agriculture*

UTDA - Jardim botânico da Universidade de Trás-os-Montes e Alto do Douro

UV - Ultravioleta

$V_1$  – Volume da amostra saturada

$V_2$  – Volume da amostra seca ao ar

$V_3$  – Volume da amostra seca em estufa

W - Watt

XPS – Poliestireno expandido extrudido

$\alpha$  – Coeficiente de retração linear

$\alpha_v$  - Coeficiente de retração volumétrica

$\lambda$  - Condutividade térmica

$\lambda_{cana}$  – Condutividade térmica da cana

$\Delta T$  [°C] – Diferença de temperatura

°C – Grau Celsius

± - Mais ou menos

% - Percentagem

$\varepsilon$  - Retração linear

$\varepsilon_v$  - Retração volumétrica total

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

As condicionantes climáticas e suas variações nos últimos anos, têm pressionado a indústria da construção como um todo a desenvolver sistemas construtivos e estratégias com contributo sustentável, de maneira a proporcionar maior eficiência energética e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>.

A União Europeia (UE), ao longo dos anos, tem promovido metas de políticas ambientais e energéticas, como o plano de reduzir até 2020 a emissão dos gases de efeito estufa em 20%, aumentar em 20% a eficiência energética e fazer uso de 20% de energias renováveis no consumo de energia da UE. Uma resolução de 2020, promovida pelo Parlamento Europeu, aponta para o Pacto Ecológico Europeu, nele é proposto que até o ano de 2050 os Estados membros atinjam neutralidade quanto ao clima, sendo para 2030 uma redução de 55% dos gases de efeito estufa quando comparado a valores de 1990 (Parlamento Europeu, 2020).

O setor da construção é conhecido pelo alto consumo energético. Na Europa, o setor é responsável por 40% deste consumo, onde 75% das edificações existentes são energeticamente ineficientes, além de ser responsável por 36% das emissões de efeito estufa (Filippidou & Navarro, 2019). Estes dados corroboram a necessidade de promover uma integração entre sustentabilidade e construção, sendo importante aliar esta estratégia de sustentabilidade às necessidades sociais e econômicas de cada país.

É sabido que, nos últimos anos, a busca por conforto térmico no interior das edificações tem aumentado consideravelmente o consumo de energia (Dhar et al., 2015). Estes índices de consumo tendem a aumentar quando há crescimento da população, expansão da urbanização e o constante desenvolvimento tecnológico (Mishra & Usmani, 2014).

Para que uma edificação seja reconhecida como sustentável e energeticamente eficiente, fatores como as necessidades de aquecimento ou a espessura de isolamento térmico ideal são levados em consideração, mas também é avaliada a demanda de energia primária, as propriedades ecológicas dos materiais construtivos e a minimização das emissões de carbono (Dikmen & Ozkan, 2016).

Construir de modo sustentável implica, entre outras coisas, a utilização de materiais de baixo impacto ambiental. Neste âmbito, Ferrandez-Garcia et al. (2017) afirma que os materiais de construção que são comumente utilizados podem vir a ser substituídos, em modo parcial, por materiais de fontes renováveis.

O atual conceito estabelecido entorno de se construir de modo sustentável, visa maximizar o uso de recursos locais existentes e materiais reciclados, desenvolvendo envolventes que estimulem um alto desempenho energético, conduzindo a uma redução do impacto ambiental causado pelo setor da construção (Ferreira et al., 2013; Volf et al., 2015).

Segundo Barreca (2012), é imprescindível a existência de novas alternativas e meios construtivos que motivem a redução das perdas de calor na construção e que se estimulem um maior uso de recursos de fontes renováveis (materiais naturais e locais) procurando, desta forma, potencializar o conforto térmico, com um menor impacto ambiental possível. Afinal, uma construção que responde positivamente às condicionantes climáticas tende a reduzir o consumo de energia incorporada na construção (Singh et al., 2010).

A temática da sustentabilidade tem sido abordada e intensificada esperando que, num futuro próximo, a construção e a reabilitação estejam voltadas para a adaptação ao meio em que estão inseridas, geograficamente, economicamente e socialmente, sempre reduzindo os desperdícios e focando em fontes renováveis de energia.

Neste contexto, as construções vernáculas trazem consigo soluções que ajudam a minimizar o impacto ambiental dos seus edifícios e, por isso, encaminham-se para um papel de destaque no contexto atual. Segundo a “Carta sobre o patrimônio vernacular construído”, a construção vernacular é a expressão fundamental da cultura de uma comunidade, de sua relação com seu território e, ao mesmo tempo, a expressão do mundo e da diversidade cultural (ICOMOS, 1999).

Este tipo de arquitetura é direcionado para o uso de materiais naturais locais assim como para as técnicas localmente empregadas, contribuindo, desta forma, para que o custo da construção seja reduzido, bem como para redução da energia incorporada nas edificações (Ramesh, 2012). Estas vantagens são ligadas às dimensões ambientais, econômicas e sociais (Fernandes et al., 2015), sendo assim um importante exemplo de construção sustentável. Por outro lado, devido à baixa resistência térmica da maioria das soluções construtivas tradicionais, o desempenho térmico e conforto podem estar comprometidos, bem como o cumprimento dos regulamentos térmicos em vigor (Ferreira et al., 2015).

No que diz respeito às construções tradicionais portuguesas, Fernandes et al. (2013) afirmam que estas possuem alto potencial sustentável para as edificações. As construções em terra, por exemplo, possuem alta inércia térmica, sendo uma excelente solução para verões excessivamente quentes, devido ao atraso do fluxo de calor do exterior para o interior (Fernandes et al., 2013). Contudo, paredes de terra

apresentam um insuficiente desempenho térmico no inverno. Neste sentido, é necessário desenvolver uma solução ecológica que proporcione o aumento da resistência térmica destas construções vernáculas.

O uso de materiais naturais na construção vem ganhando cada vez mais importância na busca de estratégias construtivas sustentáveis. Utilizar um material natural possui várias vantagens, entre elas a não liberação de qualquer substância tóxica e, também, menores emissões de CO<sub>2</sub>. A cana, por exemplo, é um material biodegradável que ao fim do seu ciclo de vida é de fácil reciclagem se comparado aos demais materiais construtivos artificiais, podendo também ser queimada para produzir energia térmica (Barreca et al., 2019). Tem sido utilizada tradicionalmente para construção de coberturas, cercas, abrigos, corta-ventos ou barreiras de sombreamento e, em alguns países de característica mediterrânea, também é utilizada como parede na reconstrução ou reforma de edificações (Barreca et al., 2019).

De acordo com Marchante et al. (2015), as canas foram, possivelmente, introduzidas em Portugal pelo interesse dos colmos, com uso na agricultura, sebes e na segurança de taludes. Também foi utilizada com isolamento térmico em construções vernáculas, tendo maior expressão nas regiões do Alentejo e Algarve. Esta planta é encontrada em abundância no território português, tanto no continente quanto nas ilhas, sendo a *Arundo donax* L. e a *Phragmites australis* as espécies mais frequentes. A *Arundo donax* L. já é considerada uma planta invasora (Decreto-Lei nº 92/2019, 2019), tendo seu crescimento rápido e podendo ocupar áreas de plantas nativas matando a flora local.

Tendo em conta o enquadramento acima, este trabalho vem contribuir para o preenchimento de uma lacuna no conhecimento científico, buscando caracterizar um material de isolamento térmico que seja compatível com a construção em terra, permitindo a troca de humidade entre o ambiente externo e interno, característica importante deste tipo de construção. Neste sentido, pretende-se realizar uma pesquisa direcionada à caracterização geométrica, termo-física e durabilidade de um material natural, disponível em território português, para fins de isolamento térmico em construção vernácula tradicional portuguesa.

Esta dissertação de mestrado foi desenvolvida no âmbito do projeto reVer+ "Desenvolvimento de um novo sistema de isolamento térmico de base natural para a melhoria do desempenho de ciclo de vida de edifícios vernáculos portugueses", que se encontra em desenvolvimento no *Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering* (ISISE) da Universidade do Minho. No seguimento do projeto reVer, que estudou os contributos da arquitetura vernácula portuguesa para o desenvolvimento sustentável do ambiente construído, o projeto reVer+ foca-se no desenvolvimento de um sistema de isolamento térmico que permita melhorar o desempenho térmico dos edifícios vernáculos.

## 1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo principal a caracterização (geométrica, termo-física e durabilidade) da *Arundo donax* L. disponível em Portugal, visando contribuir para a definição de uma metodologia de ensaio e tendo como premissa a utilização da *Arundo donax* L. como material de isolamento térmico para a arquitetura vernácula de construção em terra. Assim, o trabalho em causa pretende apontar caminhos para solucionar o problema da baixa resistência térmica destes sistemas construtivos tradicionais, identificado no projeto exploratório reVer, utilizando um material de base natural disponível em todo território português. O trabalho também pretende dar um contributo para o controle desta espécie invasora, à medida que estuda uma utilização para as suas hastes.

## 1.3 Organização da dissertação

O tema proposto nesta investigação é desenvolvido e aprofundado no decorrer de cinco capítulos, resumidos abaixo:

- Capítulo 1 – introduz o tema, mostrando a importância de uma arquitetura mais sustentável e a importância dos materiais naturais, diante da problemática ambiental atual, além de clarificar o papel da arquitetura vernácula neste contexto. Apresentam-se, também, os objetivos e a estrutura do trabalho;
- Capítulo 2 – aborda a temática da arquitetura vernacular portuguesa, focando em materiais potenciais para isolamento térmico, convencionais ou não, direcionando a um material natural para fins de isolamento térmico, bem como sua localização a nível mundial e regional em Portugal, suas características e seus usos mais comuns, principalmente nas construções tradicionais e atuais;
- Capítulo 3 – apresenta o procedimento experimental utilizado para avaliação das características termo-físicas e de durabilidade da cana *Arundo donax* L. colhida em Portugal;
- Capítulo 4 – os resultados obtidos nos ensaios referentes a caracterização física, durabilidade e térmica realizados e expostos no capítulo anterior, são apresentados e analisados de modo crítico e com atenção aos resultados existentes na literatura atual;
- Capítulo 5 – apresenta as conclusões principais desta investigação tendo por base os resultados obtidos, e por fim, propõe projetos futuros correlacionados com esta investigação e com importância de cunho científico.

## 2 ESTADO DO CONHECIMENTO

### 2.1 Contextualização

No século XX, um movimento conduzido pela Ordem dos Arquitectos e com apoio do Ministério da Construção, foi responsável por um levantamento nacional da arquitetura tradicional de cada região portuguesa (Simões et al., 2019). Portugal é dividida em duas regiões geoclimáticas: a Atlântica, com predominância do granito como material de construção e com alguns vestígios de xisto, em uma estrutura blocos sobrepostos, sem argamassa ou reboco e a Mediterrânea, com uma tipologia construtiva predominante simples de barro, rebocadas e caiadas com cal, palheiros de madeira e materiais vegetais empregados em situações diversas, contudo, existe o conhecimento de uma terceira região relacionada com a cultura interior da Espanha, tendo como materiais construtivos de destaque o xisto e a madeira (Ribeiro, 1945; Simões et al., 2019).

As construções tradicionais variam dentro do país, pois fatores como clima e adaptação às condições ambientais, disponibilidade de materiais e cultura locais, acabam por desenvolver uma identidade arquitetônica que caracteriza cada região (Ferreira et al., 2013; Samuel et al., 2017). Algumas regiões mantêm tipologias semelhantes e em outras, apesar dos mesmos materiais construtivos, as características são um pouco mais distintas (Simões et al., 2019).

A arquitetura vernácula alentejana e algarvia, por exemplo, é caracteristicamente marcada por elementos como a argila, cal, madeira, cana e cera de madeira, em soluções para acabamentos e revestimentos, principalmente na construção de tabique e taipa, além disso, a cal é também aplicada no exterior como pintura, proporciona proteção contra intempéries e ajuda a aumentar a inércia térmica e reduzir a absorção da radiação solar nas fachadas que se mantêm expostas durante o verão (Cruz et al., 2011; Simões et al., 2019). No Alentejo, as construções eram dispostas em filas ao longo de ruas estreitas, com a intenção de promover o sombreamento (Cruz et al., 2011). Já nas localidades da Estremadura, Ribatejo e Beira Litoral é encontrado uma arquitetura caracteristicamente composta por materiais vernáculos do Norte e do Sul do país (Simões et al., 2019).

A construção vernácula desenvolveu seus conceitos bioclimáticos a caminho de uma construção sustentável (Ferreira et al., 2013), possuindo menos energia incorporada do que as construções de materiais convencionais modernos. Assim, em muitas regiões e países, os edifícios vernáculos ainda são muito comuns e suas construções ocorrem à medida que se encaixam em parâmetros socioeconômicos e socioculturais (Singh et al., 2010).



A arquitetura tradicional é composta de uma variedade de materiais e possibilidades, contudo, o legado vernacular foi perdendo o reconhecimento diante de uma era industrial, fazendo com que os materiais e técnicas construtivas locais começassem a ser substituídos por materiais mais modernos, como aço e cimento, por apresentarem vantagens associadas a durabilidade, manutenção, fácil construção e eficiência, fazendo da arquitetura uma espécie de produto de consumo rápido, impactando de modo negativo o meio ambiente (Ferreira et al., 2013; Samuel et al., 2017; Simões et al., 2019). Estes materiais, por si só, não possuem potencial de isolamento térmico, resultando em uma constante demanda por aquecimento devido às perdas de calor e na necessidade de se desenvolver soluções e materiais específicos (Bozsaky, 2010).

Há alguns anos, os materiais vernaculares, associados às estratégias passivas, atendiam e supriam as necessidades climáticas da sociedade da época. Porém, diante das constantes oscilações no clima e do aumento da exigência por parte dos utilizadores, muitas destas edificações passaram a apresentar um baixo desempenho energético, recorrendo a meios artificiais de climatização.

Mas esta não é uma problemática apenas das construções vernáculas. A modernização e rapidez na construção também desenvolveu edificações de baixo desempenho térmico, onde soluções não eram pensadas nem na fase de projeto nem de execução (Samuel et al., 2017). Isto aponta a necessidade de se reabilitar termicamente não apenas as construções tradicionais, mas também as construídas há poucas décadas, pensando cada vez mais na arquitetura integrada ao meio em que se insere, explorando os recursos e materiais naturais.

Para já, no caso da reabilitação, uma opção é adicionar à envolvente, soluções de isolamento térmico compatíveis com os materiais construtivos existentes, sejam os materiais vernáculos ou os convencionais. No âmbito dos estudos realizados pelo projeto reVer e reVer+, dentre as várias expressões da arquitetura vernácula portuguesa, observou-se a necessidade de explorar estratégias eficientes de isolamento térmico para as construção em terra, de modo a estudar e desenvolver possível solução isolante térmico compatível como este modelo construtivo tradicional. Com base nesta premissa, a construção em terra e, de modo mais pormenorizado, os materiais de isolamento térmico serão explorados nos itens a seguir.

## 2.2 Construção em terra em Portugal

A terra é um material reutilizável, abundante e sua utilização na construção é de reduzida incorporação de energia com uma durabilidade considerada elevada. Para além disto, confere uma alta massa e inércia

térmica às edificações, sendo assim uma excelente solução construtiva, particularmente adequada aos climas com alta amplitudes térmicas (Pereira & Silva, 2012). Contudo, apesar de a construção em terra existir a mais de 3000 anos (Pereira & Silva, 2012), suas vantagens ainda são desconhecida por muitos, o que pode gerar dúvidas e insegurança.

A construção em terra foi muito frequente até meados do século XX em Portugal (Braga & Estêvão, 2012), podendo ser encontrada em maior abundância na região do Alentejo (Interior, Sul e Litoral) e no Algarve (Pereira & Silva, 2012; Simões et al., 2019). Contudo, também é encontrada ao Norte em construções de tabique (Pinto et al., 2010).

São três os sistemas construtivos utilizados: o adobe, que em sua simplicidade são blocos de terra crua secos ao sol que quando sobrepostos erguem paredes resistentes, com uso intensificado na província da Beira do Litoral; a taipa, que é um modo construtivo *in situ*, onde a terra é compactada dentro de moldes de madeira, e encontra-se principalmente na região Sul de Portugal, tanto em paredes exteriores como interiores, mas também pode ser encontrada em alguns edifícios no Centro e Litoral Norte (Fernandes, 2006); e, por fim, o tabique, que é uma estrutura normalmente de madeira com fasquiado em madeira, cana ou até vime, onde seu preenchimento é feito com terra, e em algumas situações com fibras vegetais e pedras, podendo ser avistada ao Norte e Centro do país, especialmente nos concelhos de Chaves, Bragança, Arouca, Idanha Nova, Alpedrinha, Castelo branco, Barca de Alva, e Benafim (Braga & Graça, 2012; Braga & Estêvão, 2012; Fernandes, 2006).

Os benefícios da construção em terra e sua versatilidade para formas orgânicas tem despertado o interesse neste antigo modo construtivo. Em Portugal, já existem empresas que se dedicam a reabilitar casas tradicionais em terra e a construir com este tipo de material, procurando imprimir um caráter contemporâneo aos seus projetos (Figura 1).

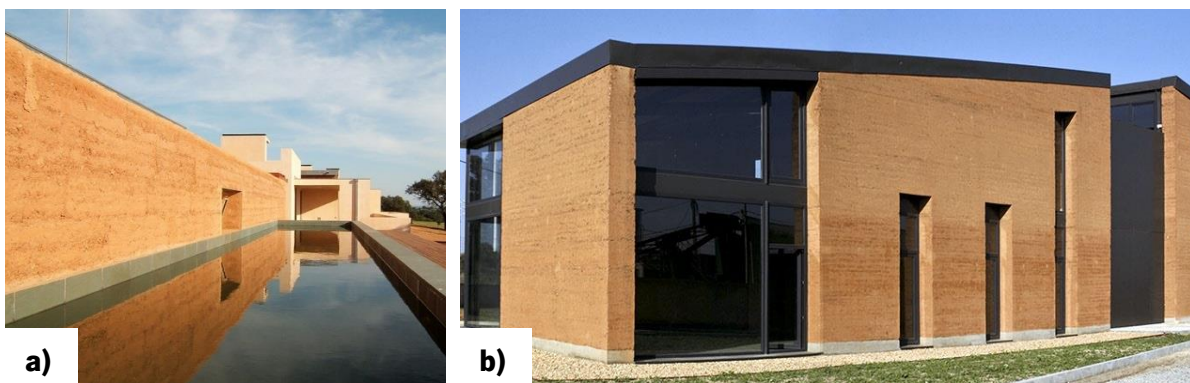


Figura 1 – Casa de taipa Herdade Delgado em Beja (a); escritórios betão e taipa (b) (Betão e Taipa, 2004).

### 2.2.1 Isolamento térmico e a construção em terra

A construção de terra, além de funcionar como estrutura, também é considerada um material eficiente como isolante térmico devido à sua elevada massa volúmica, que mantém um equilíbrio e troca lenta de temperatura entre o ambiente externo e interno (Bozsaky, 2010). Mas, assim como outros materiais vernáculos, devido às alterações climáticas e o aumento da exigência por parte dos utilizadores, necessitam de um isolamento térmico. Além disso, sem isolamento térmico, este tipo de construção não cumpre a legislação térmica portuguesa em vigor (Ferreira et al., 2015).

Um estudo desenvolvido por Roque et al. (2020), determinou, através de ensaio *in situ*, a resistência térmica de uma parede de tabique de 12,5 cm de espessura, na cidade de Viseu, obtendo um valor de 0,56 m<sup>2</sup>.°C/W. Apesar dos autores considerarem este valor interessante para esta solução construtiva, ressaltam a necessidade de empregar uma estratégia de reabilitação para melhorar o desempenho térmico.

Neste sentido, Minke (2006) estudou soluções construtivas de terra, com misturas que apresentavam massa volúmica inferior a 1,200 g/cm<sup>3</sup> e concluiu que um melhor isolamento térmico pode ser alcançado quando adicionados à mistura materiais porosos e leves, como a cana, a palha, cortiça ou algumas planta leves. Em casos considerados raros, como em Terras de Basto, nos tabiques exteriores, eram adicionados placas de cortiça antes de aplicar a massa de terra, para a melhoria do desempenho no período de frio, calor e a humidade (Oliveira et al., 1988).

Em busca de diminuir a condutividade térmica em novas paredes de taipa, Pereira & Silva (2012) propõem adicionar ao solo diferentes dosagens e granulometria de dois isolantes térmicos a terra, o granulado de cortiça expandida e argila expandida. Os autores afirmam que apesar de ainda não alcançar todos os requisitos necessários para um bom isolamento térmico, mostra que é possível obter um melhoramento no isolamento com materiais naturais adicionados à mistura de terra.

De uma maneira geral, observa-se que muitas das pesquisas atuais têm buscado acrescentar outros materiais à mistura de terra, a fim de potencializar seu desempenho térmico em novas construções. Contudo, ainda é escasso o número pesquisas que apresentem um bom isolamento térmico pelo exterior ou interior compatíveis com paredes de terra (Roque et al., 2020).

## 2.3 Materiais utilizados no isolamento térmico de construções vernáculas portuguesas

A necessidade e o surgimento do isolamento térmico ocorreu na pré-história, onde o ser humano passou a construir abrigos com materiais locais, que basicamente eram os mesmos das roupas, ou seja, lã e pele de animais, e plantas como a palha e a cana, e, com o passar do tempo, passou-se a construir com terra, pedra e madeira (Bozsaky, 2010).

A temperatura é um fator determinante que tem influenciado cidades e o desempenho energético das edificações tanto no inverno quanto no verão (Simões et al., 2019). Uma vez que, no passado, os recursos e a tecnologia para se atingir níveis de conforto térmico eram mais escassos, passou-se a aplicar técnicas de arquitetura passiva aliadas aos materiais locais, desenvolvendo e aperfeiçoando as soluções construtivas, a fim de melhorar as estratégias para satisfazer os padrões de conforto minimizando o uso de energias não renováveis (Fernandes & Mateus, 2012). Esta forma de construir é característica da arquitetura vernácula que utiliza o conhecimento adquirido através do método de tentativa e erro, passando-o de geração em geração, e busca o melhor uso dos materiais locais tendo em conta as necessidades climáticas de cada região.

A utilização de materiais vernáculos aliada a soluções passivas de arquitetura, são estratégias que proporcionam aumento do conforto térmico. Contudo, as alterações climáticas têm aumentado a necessidade de conforto em determinadas regiões e estações do ano, tornando necessário a busca por um melhor isolamento térmico das envolventes para somar às boas estratégias.

Em construções sólidas, de pedra, por exemplo, deve-se analisar a orientação solar da envolvente a ser termicamente isolada, pois a humidade pode ser um grande problema quando o isolamento térmico utilizado não for correto, ou até mesmo se a espessura não for compatível (May & Rye, 2012). Em um estudo sobre o desempenho energético de uma casa rural tradicional localizada na Cova da Beira, região Centro de Portugal, para que houvesse o cumprimento do conceito nZEB, notou-se a necessidade de se isolar as paredes de pedra de granito de 60 cm de espessura, assim como pisos e telhado, após uma análise das suas propriedades térmicas, apontando a cortiça como sugestão de material de isolamento térmico para solucionar a problemática (Poggi et al., 2015).

A pedra e a terra, são materiais vernáculos muito frequentes nas construções portuguesas das regiões Norte e Centro/Sul, respectivamente (Oliveira & Galhano, 1992), sendo matérias primas insuficientes em regiões costeiras, impulsionando a utilização da madeira (Leite et al., 2017). No concelho de Mira, Leite et al. (2017) estudaram uma construção em madeira da década de 90, possuindo em suas

envolventes soluções de isolamento térmico e sem sistemas de aquecimento e arrefecimento central, a fim de analisar o desempenho térmico do edifício e os níveis de conforto térmico em todas as estações do ano. Os investigadores concluíram que tanto no inverno como no verão, as amplitudes térmicas entre exterior/interior da edificação, não eram expressivas, apresentando, no geral, condições de conforto aceitáveis para o período de verão, diferente do inverno. Outro ponto analisado por Leite et al. (2017) foi a humidade relativa, que diante das condicionantes de local e temperatura, o interior da edificação foi beneficiado pela composição em madeira.

Muito se encontra quanto ao desempenho térmico de construções vernáculas pelo mundo (Chiou & Elizalde, 2019; Kowaltowski et al., 2007; Leite et al., 2017; Philokyrou et al., 2018), contudo, são escassas as informações quanto aos isolantes térmicos adequados para integração nas envolventes das edificações tradicionais, de modo a proporcionar conforto, sem causar patologias no material vernáculo.

É necessário não apenas conhecer o material de isolamento térmico e suas propriedades, mas possuir conhecimento quanto as propriedades dos materiais vernáculos que constituem a construção a ser isolada, tendo em conta, por exemplo, a sua permeabilidade ao vapor. A escolha de um material de isolamento térmico inadequado pode, no limite, impedir que o material atinja a sua finalidade última, que é isolar a edificação, além de conduzir a problemas de durabilidade que comprometem a conservação da construção vernácula.

## 2.4 Materiais convencionais e não convencionais utilizados no isolamento térmico das construções contemporâneas

Além das técnicas passivas, para uma boa arquitetura, o desempenho térmico de um edifício também é obtido mediante a qualidade do isolamento térmico face às condições de temperatura externa, buscando-se controlar a temperatura interior mediante exigências de conforto estabelecidas (Dhar et al., 2015).

Para soluções construtivas de baixa inércia térmica, o uso de materiais de isolamento térmico são uma das alternativas possíveis (quando utilizados corretamente) para melhorar o desempenho térmico, onde cada material possui características e propriedades únicas e devem corresponder a uma eficaz condutividade térmica, porém muitos dos materiais de isolamento térmico convencionais são responsáveis por uma taxa de emissão considerável de poluentes. Assim, apesar dos benefícios térmicos dos isolantes convencionais, observa-se a necessidade de se utilizar materiais que demandem menos energia e emissões de carbono durante todo o seu ciclo de vida (Oliveira et al., 2016).

Diante das situações climáticas e energéticas atuais, regras foram impostas para reduzir o consumo de energia utilizada para aquecer os edifícios, o que impulsionou uma maior procura por materiais de isolamento térmico na UE (Lautkankare, 2007). Isto porque o isolamento térmico é um dos fatores que contribuem para a redução das perdas de calor na envolvente, permitindo um ambiente confortável e possibilitando a redução do consumo energético das edificações através redução de usos de equipamentos de climatização.

Segundo o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) português, um determinado material é considerado isolante térmico quando sua resistência térmica é superior a  $0,30 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$  e sua condutividade térmica inferior a  $0,065 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{°C}$  (Decreto-Lei n° 80/2006, 2006). Contudo,  $0,070 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{°C}$  é um valor frequentemente referido em pesquisas internacionais (Asdrubali et al., 2015).

#### 2.4.1 Materiais convencionais

Atualmente existe uma diversidade de materiais utilizados na produção de isolamento térmico para as edificações. Grande parte destes materiais têm origem a partir de fontes petroquímicas ou até naturais, cujo fabrico demanda um elevado consumo de energia como, por exemplo, o poliestireno, a lã de rocha e a lã de vidro. Além do elevado consumo energético, as consequências ao meio ambiente durante a produção destes materiais até a sua entrega ao consumidor final também são prejudiciais, principalmente quando utilizado materiais de fontes não renováveis e com consumo de combustível fóssil (Dikmen & Ozkan, 2016).

Muitas vezes, a relação custo/benefício, neste caso pode-se falar em custo/condutividade térmica, é um dos parâmetros utilizados para definir o material de isolamento térmico a utilizar. Neste sentido, os materiais convencionais são bastante atrativos por apresentarem uma reduzida condutividade térmica (Tabela 1) com um baixo investimento inicial.

Tabela 1 – Características e preço médio de alguns materiais de isolamento térmico utilizados em Portugal.

<b>Materiais de isolamento térmico convencionais</b>	<b>Massa volúmica (g/cm<sup>3</sup>)*</b>	<b>Condutividade térmica <math>\lambda</math> (W/m.°C)</b>	<b>Preço médio em Portugal 2021 (€/m<sup>2</sup>)**</b>	<b>Referência</b>
Poliestireno Expandido extrudido (XPS)	0,025 – 0,040	0,037	9,01	(LEROY MERLIN, 2021)
Poliestireno Expandido Moldado (EPS)	0,015 – 0,020	0,040	6,97	(LEROY MERLIN, 2021)
Lã Mineral (MW)	0,035 – 0,100	0,040	6,27	(LEROY MERLIN, 2021; Topeca, 2021)
Cortiça Expandida (ICB)	0,090 – 0,140	0,045	39,71	(LEROY MERLIN, 2021)

\* Fonte: ITE50 (Santos & Matias, 2006).

\*\* Preço médio encontrado no período de 02/06/2021 a 27/06/2021.

Contudo, Al-Homoud (2005) aponta outros pontos importantes na escolha do material de isolamento térmico. Para além do custo, é importante ter em consideração a durabilidade, condutividade e resistência térmica, capacidade de absorver ou transmitir vapor d'água e, por fim, mas não menos importante, resistência ao fogo e à compressão.

#### 2.4.2 Materiais não convencionais naturais

Cada vez mais estudos são realizados com materiais não convencionais, renováveis e com disponibilidade local (Asdrubali et al., 2015), como uma alternativa aos materiais convencionais. Destes, muitos são naturais e resultantes do descarte agrícola, onde o destino final, possivelmente, seria a queima (Dikmen & Ozkan, 2016).

Na construção civil, os materiais naturais são, muitas vezes, utilizados como parte integrante no desenvolvimento de um novo material e, outras vezes, são o próprio material de construção, como é o

caso do bambu. A maioria destas pesquisas estão relacionadas com a utilização de materiais locais, o que reduz ainda mais o impacto negativo sobre o ambiente. Algumas pesquisas que exemplificam a utilização de materiais naturais, ou parte deles, como materiais de isolamento térmico são apresentadas a seguir.

Abundante na Romênia, a fibra de cânhamo e algodão, já com menos destaque na produção têxtil, passaram a ser testadas como materiais de construção sustentáveis e, neste âmbito, Florea & Manea (2019) ensaiaram três diferentes composições, onde *WG* é a fibra de algodão com gesso e água, *HG* é fibra de cânhamo com gesso e água, e *HGC* que é a fibra de cânhamo com adição de cimento branco, gesso e água. Das três amostras ensaiadas apenas a *WG* e *HG* se enquadram como isolantes térmicos de acordo com a lei em vigor na Romênia, que considera materiais de isolamento térmico com condutividade inferior a  $0,065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ , mostrando que estes materiais de abundância local podem ser explorados e utilizados como recurso de isolamento térmico de menor impacto ambiental (Figura 2). Importa destacar que, neste caso, a utilização do cimento, aglomerante de alto impacto ambiental, não promoveu qualquer melhora ao nível térmico do material em desenvolvimento.

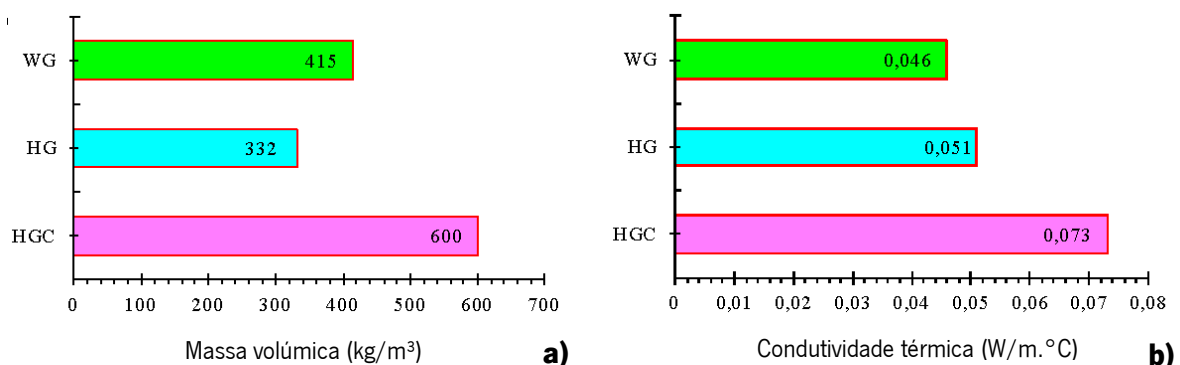


Figura 2 – Relação da massa volúmica das amostras (a) com respectivas condutividades térmicas (b) (Florea & Manea, 2019).

O algodão é um exemplo de material vegetal utilizado com sucesso no desenvolvimento de materiais de isolamento térmico. Zhou et al. (2010) propuseram o uso do caule do algodão para produzir painéis, sem outros materiais adicionados à mistura e sem adição de aglutinante químico pois o caule possui em sua composição lignina e celulose agindo como aglutinante natural. Após processo para obtenção das fibras em laboratório, os painéis com massa volúmica entre  $0,150 \text{ g/cm}^3$  e  $0,450 \text{ g/cm}^3$  foram fabricados através do método de prensagem a quente das fibras secas, em um molde de  $300 \times 300 \times 25 \text{ mm}$  e armazenados a uma temperatura de  $25^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  de humidade relativa. Utilizando medidores de fluxo de calor e sensores de temperatura, obtiveram uma condutividade térmica entre



0,0585 e 0,0815 W/m.°C, onde, neste caso, quanto maior a massa volúmica do material, menor é a sua capacidade de isolamento térmico, diferente do estudo desenvolvido por Florea & Manea (2019).

O bagaço de cana-de-açúcar, que é um produto que resulta da extração e produção de açúcar, com grande concentração e disponibilidade em zonas produtoras, faz com que o uso de ligantes sintéticos seja substituído pelo seu teor de celulose, incentivando pesquisas entorno de painéis aglomerados com função de isolamento térmico. Neste âmbito, Manohar (2012) dispôs uniformemente fibras de cana-de-açúcar dentro de um suporte de amostra de poliestireno, de modo que o posicionamento das fibras fosse perpendicular à direção do fluxo de calor, ensaiando massa volúmica diferentes entre 0,070 g/cm<sup>3</sup> à 0,120 g/cm<sup>3</sup> em três diferentes temperaturas, resultando numa condutividade térmica de 0,046 W/m.°C para amostra com massa volúmica de 0,100 g/cm<sup>3</sup> a uma temperatura média de ensaio de 18°C. Em outra pesquisa com placas de bagaço de cana-de-açúcar sem aglutinante, realizado por Panyakaew & Fotios (2011), foi obtida uma condutividade térmica de 0,049 à 0,055 W/m.°C, para as placas com massa volúmica entre 0,250 à 0,350 g/cm<sup>3</sup>. Os resultados destas pesquisas corroboram o potencial de utilização do bagaço de cana-de-açúcar como parte integrante de materiais de isolamento térmico, propondo uma nova solução para a problemática sobre o destino final destes resíduos. Contudo, o impacte ambiental dos materiais não naturais utilizados como parte integrante das soluções propostas deve ser mais bem explorado.

A taboa é uma erva daninha originária da Europa e Américas e sua utilização como material de isolamento térmico pode ajudar a controlar a sua disseminação. Neste sentido, Luamkanchanaphan et al. (2012) estudaram o uso das suas folhas (secas, cortadas e trituradas) para a produção de painéis de isolamento térmico. As placas foram produzidas em três massas volúmicas diferentes (0,200, 0,300 e 0,400 g/cm<sup>3</sup>) e modelagem de 350 x 350 x 10 mm foram pulverizadas com um aglutinante e prensadas a quente. Como resultado, a condutividade térmica alcançada foi de 0,0438 a 0,0606 W/m.°C, sendo que quanto maior a massa volúmica da placa, maior a condutividade térmica.

O durião, fruta originária na Malásia e de aparência semelhante à jaca, teve suas propriedades térmicas investigadas por Khedari et al. (2003), que produziram painéis com três ligantes diferentes (ureia formaldeído, fenol formaldeído e isocianato), para cada ligante, foram produzidos painéis com três massas volúmicas diferentes. Os painéis de aglomerados feito com a casca do durião atingiram resultados positivos quanto as suas propriedades de isolamento térmico, tendo como melhor desempenho, entre os ligantes, os painéis com menor massa volúmica. O painel composto por durião e formaldeído (0,428 g/cm<sup>3</sup>) e outro composto por durião e isocianato (0,357 g/cm<sup>3</sup>), atingiram ambos

uma condutividade de 0,064 W/m.°C. Já a mistura de durião e fenol formaldeído (0,442 g/cm<sup>3</sup>) obteve uma condutividade de 0,063 W/m.°C. Neste tipo de misturas, com compostos químicos, é importante perceber e destacar o contributo destes sobre o impacte ambiental do material final desenvolvido.

O coco é uma fruta abundante e muito consumida em zonas costeiras, principalmente em países tropicais. A fim de estudar um destino final para os resíduos gerados na utilização do coco, Panyakaew & Fotios (2011) ensaiaram placas feitas de casca de coco levando em consideração o padrão japonês para placas, que determina que o teor de humidade de uma placa para fins de isolamento térmico deve estar entre 5 e 13%. A produção consistiu num processo de prensagem a quente, onde em para placas com massas volúmicas entre 0,250 a 0,350 g/cm<sup>3</sup> obtiveram uma condutividade térmica entre 0,046 a 0,068 W/m.°C respectivamente. Em outro modelo de ensaio, as fibras de coco foram dispostas em uma amostra de poliestireno, onde para uma massa volúmica de 0,080 g/cm<sup>3</sup>, foi uma condutividade térmica de 0,048 W/m.°C (Manohar, 2012).

O arroz é um alimento de grande produção pelo mundo, conseqüentemente gerando uma quantidade considerável de resíduos na sua colheita. A fim de estudar um destino final para este resíduo Yarbrough et al. (2005), a partir da casca de arroz triturada, produziram e avaliaram termicamente painéis de casca de arroz seca em estufa e painéis de casca de arroz natural, ou seja, como foi recebido. Seus resultados foram positivos em todas as amostras e massas volúmicas ensaiadas (0,139 g/cm<sup>3</sup> a 0,168 g/cm<sup>3</sup>) e em diferentes temperaturas, alcançando uma condutividade térmica entre 0,044 a 0,056 W/m.°C. Com base nestes resultados, pode-se apontar a solução que utiliza casca de arroz natural como a mais eficiente entre as estudadas uma vez que, ao contrário da casca seca, não utiliza energia para secagem em estufa. Além disso, é um exemplo claro que alguns materiais naturais podem ser utilizados tal como encontrado na natureza, sem nenhum tipo de processamento associado.

Com muita frequência, em trabalhos sobre arquitetura vernácula mundial encontra-se o uso da palha como material de construção. Nos Estados Unidos, por exemplo, construções agrícolas com mais de 100 anos eram feitas de palha (Yates, 2006) gerando, assim, várias pesquisas sobre as suas propriedades. Uma dessas propriedades é o seu desempenho térmico, e Goodhew & Griffiths (2005) desenvolveram um estudo onde os propriedade térmicas foram medidas pela técnica da sonda térmica e, para um fardo de 0,060 g/cm<sup>3</sup> obtiveram uma condutividade térmica de 0,067 W/m.°C. Em estudo mais recente, durante uma caracterização térmica de um fardo de palha de massa volúmica média de 0,080 g/cm<sup>3</sup>, com dimensões de 500 x 500 x 100 mm, obtiveram uma condutividade térmica de 0,051 W/m.°C, perpendicularmente ao fluxo de calor (Douzane et al., 2016). Com base nestes estudos é

possível dizer que, no caso da palha, quanto maior a massa volúmica do fardo, menor é a condutividade térmica alcançada. Em Portugal o uso de fardos de palha na construção é considerada recente, com uma concentração construtiva no Alentejo (Helena, 2011). Contudo, é sabido que na arquitetura primitiva portuguesa, utilizava-se a palha, não só em coberturas, mas também como sistema de vedação de paredes (formato circular e retangular) (Oliveira et al., 1988).

Há quase uma década, Pinto & Cardoso (2012) chamaram atenção para a ausência de legislação relacionada a construção com materiais biodegradáveis em Portugal. Esta lacuna quanto à legislação, aos poucos deixa de ser uma barreira na construção sustentável, pois em 2020 foi aprovada e emitida uma *European Technical Assessment* (ETA) para um produto de isolamento térmico chamado DuraBale - sistema de construção de palha de arroz, a fabricante é localizada em Monte Serro em Portugal. O produto são fardos amarrados com cordas, que apresentam uma condutividade térmica de 0,041 W/m.°C em condições secas (Itcons, 2020). Aprovações como esta, são um grande passo para o uso de materiais naturais na construção, que dão mais credibilidade e confiança para projetar uma arquitetura mais inclusiva ao ambiente e com qualidade construtiva e térmica.

A Tabela 2 indica os resultados apresentados acima para materiais naturais não convencionais.

Tabela 2 – Desempenho térmico de materiais naturais não convencionais

<b>Material natural</b>	<b>Massa volúmica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Condutividade térmica (W/m.°C)</b>	<b>Referência</b>
Algodão + gesso + água (WG)	0,415	0,046	(Florea & Manea, 2019)
Cânhamo + gesso + água (HG)	0,332	0,051	(Florea & Manea, 2019)
Cânhamo + cimento + gesso + água (HGC)	0,600	0,073	(Florea & Manea, 2019)
Caule do algodão	0,150 – 0,450	0,0585 – 0,0815	(Zhou et al., 2010)
Bagaço de cana-de- açúcar	0,100	0,046	(Manohar, 2012)
Bagaço de cana-de- açúcar	0,250 – 0,350	0,049 – 0,055	(Panyakaew & Fotios, 2011)

Tabela 2 – Desempenho térmico de materiais naturais não convencionais (Cont.)

<b>Material natural</b>	<b>Massa volúmica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Condutividade térmica (W/m.°C)</b>	<b>Referência</b>
Taboa	0,200 – 0,400	0,043 – 0,060	(Luamkanchanaphan et al., 2012)
Durião	0,357 – 0,442	0,063 – 0,064	(Khedari et al., 2003)
Coco	0,250 – 0,350	0,046 – 0,068	(Panyakaew & Fotios, 2011)
Coco	0,080	0,048	(Manohar, 2012)
Arroz	0,139 – 0,168	0,044 – 0,056	(Yarbrough et al., 2005)
Palha	0,060	0,067	(Goodhew & Griffiths, 2005)
Palha	0,080	0,051	(Douzane et al., 2016)
DuraBale – Palha de arroz	-	0,041	(Itcons, 2020)

## 2.5 O potencial da cana como material de isolamento térmico

O potencial da cana como isolante térmico, reflete-se no uso nas construções, tanto em coberturas, como em paredes, pisos e teto (Lautkankare, 2013a). Também, Almusaed & Almssad (2015) apontam que além de bom isolante térmico e acústico, são construções amigas do ambiente pois não causam impacto negativo e tendem a reduzir o consumo de energia. Neste sentido, e, também, devido à elevada disponibilidade, a cana tem sido utilizada em vários países do Norte da Europa como material de isolamento térmico sendo, inclusive, comercializada em grandes superfícies. Esta utilização contemporânea aliada ao uso da cana como material de isolamento térmico na arquitetura vernácula tem instigado o desenvolvimento de investigação na área.

Na Estônia, uma espécie de cana (*Phragmites australis*) vem sendo utilizada em coberturas e paredes durante séculos, e nos últimos anos tem sido realizado ensaios visando analisar o real desempenho térmico desta cana local. Em um dos estudos foi desenvolvido um protótipo de uma casa utilizando hastes de cana em mais que um formato para o fechamento das envolventes (vertical ou horizontal). O resultado mais promissor foi obtido com a cana foi na disposição horizontal, compactadas em 350 mm de espessura de parede, nas extremidades da parede uma camada de “tábuas” de cana pré-cortadas com 50 mm e rebocada com 30 mm de gesso de argila em cada face, totalizando uma parede de 510 mm de espessura que atingiu uma transmissão térmica de 0,207 W/m<sup>2</sup>.°C. Estes valores estão em

conformidade com os requisitos para os padrões determinados pela Estônia de transmissão térmica máxima de paredes externas entre 0,2 a 0,25 W/m<sup>2</sup>.°C (Miljan et al., 2013). Este estudo destaca a importância da disposição da cana, horizontal ou vertical, no desempenho térmico. Além disso, mostra o potencial das canas estudadas para utilização como isolante térmico sem fazer uso de qualquer material não natural como parte da solução proposta.

Na Romênia, pesquisadores também utilizaram a *Phragmites australis*, em diferentes combinações de amostras de 150 x 150 x 30 mm, para determinar a sua condutividade térmica pelo método de medição do fluxo de calor, com uma variação de 20°C (Miron et al., 2017). Estas combinações utilizaram álcool polivinílico e cimento. Dentre os resultados obtidos, as hastes da cana com adição de álcool polivinílico, 0,295 g/cm<sup>3</sup>, apresentaram uma condutividade igual a 0,096 W/m.°C. Já as hastes da cana envolvidas em uma mistura de cimento e água, 1,030 g/cm<sup>3</sup>, apresentaram uma condutividade igual a 0,091 W/m.°C. Por fim, álcool polivinílico adicionado a hastes de cana e à cana moída, 0,350 g/cm<sup>3</sup>, apresentaram um valor de 0,074 W/m.°C. Apesar do estudo mostrar o elevado potencial térmico da cana é importante, mais uma vez, explorar o contributo ambiental dos materiais não naturais utilizados.

A utilização da cana como material de isolamento térmico também tem sido explorada no sul da Europa. Na Itália, por exemplo, a cana tem sido explorada tanto sob o ponto de vista sísmico, como para isolante térmico, tendo apresentado uma boa resposta em ambos os casos. Em um dos estudos, é ensaiado um painel formado por hastes da espécie *Arundo donax* L. dispostas ortogonalmente em duas camadas e com um acabamento de gesso de cal natural de 2 cm de espessura em cada lado, obtendo um painel de espessura final de e dimensão de 670 x 780 x 80 mm, inseridos em uma estrutura de madeira que serviu de fôrma para a argamassa de gesso, obtendo valores promissores, 1,31 W/m<sup>2</sup>.°C de transmissão térmica (Barreca & Fichera, 2013).

Na Espanha, um estudo também com a *Arundo donax* L. como material de isolamento térmico, desenvolveu um painel a partir de três camadas, as externas com cana triturada e a interna de hastes inteiras, prensadas a quente, onde na composição, inclui adição de ureia formaldeído como aglutinante e em seguida submetidos a uma temperatura de 20°C e 65% de humidade relativa pelo período de quatro semanas na posição vertical. Os resultados de condutividade térmica obtidos para diferentes massas volúmicas (0,250 a 0,450 g/cm<sup>3</sup>) foram entre 0,074 a 0,086 W/m.°C, considerado pelos autores de baixa condutividade térmica e, conseqüentemente, viável para aplicação em isolamento térmico (Ferrández-García et al., 2012). Também em Espanha, painéis de aglomerado de haste e rizoma de *Arundo donax* L. foram termicamente avaliados. Um conjunto com dezoito painéis diferentes, com

diferentes tamanhos de partículas e diferentes resinas, foi ensaiado, totalizando setenta e duas amostras com massas volúmicas entre 0,567 e 0,843 g/cm<sup>3</sup>, obtendo resultados de condutividade térmica que variaram entre 0,059 e 0,094 W/m.°C (Andreu-Rodriguez et al., 2013).

Outro recente estudo em Espanha, investiga a criação de painéis aglomerados de partículas de *Arundo donax* L. com características térmica, utilizando ácido cítrico como ligante natural e com reduzido consumo de energia no processo de fabricação. As partículas de cana com teor de humidade de 9%, foram misturadas ao ácido cítrico e pulverizadas com água, dispostas em molde e prensadas a quente. A condutividade térmica foi verificada pelo método de fluxo de calor, em amostras de 300 x 300 x 10 mm e massa volúmica entre 0,600 a 0,850 g/cm<sup>3</sup>, a variação foi de 0,081 a 0,093 W/m.°C. Os autores consideram o material aplicável como isolante térmico, ressaltando que quanto maior a massa volúmica maior a condutividade e menor a resistência térmica (Ferrandez-Garcia et al., 2019). Os resultados obtidos (Tabela 3) tanto com as hastes de cana, quanto com a cana triturada, corroboram o potencial de utilização térmica da cana.

Até a finalização deste trabalho, não foi encontrado nenhuma investigação quanto a eficácia da cana como material de isolamento térmico utilizando a cana colhida em Portugal. Contudo, Val, Faria, & Silva (2015) estudaram paredes monolíticas ecoeficientes, produzidas com seis diferentes composições que fizeram uso dos seguintes materiais: argamassas de terra, canas inteiras (*Arundo donax* L.) e fibras de cana. Os autores concluíram que, comparativamente a outras soluções de paredes de terra, as paredes ensaiadas com fibras de cana apresentam um maior desempenho térmico, contudo não foi ensaiado termicamente as paredes com haste inteira.

Tabela 3 – Investigações de desempenho térmico utilizando a cana

<b>Espécie</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Massa volúmica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Transmissão térmica – U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>Condutividade térmica – λ (W/m.°C)</b>	<b>Referência</b>
<b>PA*</b>	20-50	-	-	0,055	(Köbbing et al., 2013)
<b>PA</b>	-	0,130 - 0,190	0,358	0,045 - 0,056	(Schiavoni et al., 2016)
<b>PA</b>	30-120	-	-	0,055	(Hiss Reet, 2017)
<b>PA</b>	30	0,350 -1,03	-	0,074 - 0,191	(Miron et al., 2017)
<b>PA</b>	510	-	0,207	-	(Miljan et al., 2013)

Tabela 3 – Investigações de desempenho térmico utilizando a cana (Cont.)

<b>Espécie</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Massa volúmica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Transmissão térmica – U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>	<b>Condutividade térmica – λ (W/m.°C)</b>	<b>Referência</b>
-	-	0,200	0,280	0,053	(Leobonder.it, 2021)
<b>AD*</b>	10	0,600 - 0,850	-	0,081 - 0,093	(Ferrandez-Garcia et al., 2019)
<b>AD</b>	-	0,567 - 0,843	-	0,059 - 0,094	(Andreu-Rodriguez et al., 2013)
<b>AD</b>	18,7 - 22	0,250 - 0,450	-	0,074 - 0,086	(Ferrández-García et al., 2012)

PA\*: *Phragmites australis*,

AD\*: *Arundo donax* L.

## 2.6 Uso da cana em Portugal e no Mundo

### 2.6.1 Origem da cana e localização em Portugal e no Mundo

A localização geográfica de origem da cana é muito discutida (Bell, 1997; Danelli et al., 2020; Hardion et al., 2014; Mariani et al., 2010; Ortuño et al., 2011). Com uma abordagem focada na diversidade genética do gênero *Arundo*, Mariani et al. (2010) sugerem sua origem na Ásia, com base em duas linhagens distintas encontradas, eliminando a possibilidade de origem no Mediterrâneo que apresentou uma menor diversidade de genes.

Em outro estudo de mapeamento genético, Hardion et al. (2014) observaram que a cana é dividida em linhagem oriental e ocidental com quatro grupos biogeográficos ao longo do Himalaia, apoiando, assim, a hipótese de que a introdução da *Arundo donax* L. se deu da antiga Eurásia oriental para a ocidental, podendo representar uma das invasões biológicas mais antigas do mundo. Assim como a *Phragmites australis* que também tem na sua origem a Eurásia e a África (Sluis et al., 2013).

Ambas as espécies possuem facilidade em se adaptar a uma variedade de habitats climáticos, introduzindo-se no ecossistema de diversos continentes, sendo detetada no Sul da Europa, na África do Norte, Arábia Saudita, Estados Unidos, Austrália e América do Sul, reproduzindo-se com rapidez e tornando-se invasivas, causadoras de incêndios e de obstrução de cursos d'água (Barreca & Fichera, 2013; Sluis et al., 2013).

A Figura 3 mostra que a maior concentração de *Arundo donax* L. está na Ásia, região de origem. No caso da *Phragmites australis* a localização a nível mundial é mais distribuída, habitando lugares (países) não ocupados pela *Arundo donax* L.

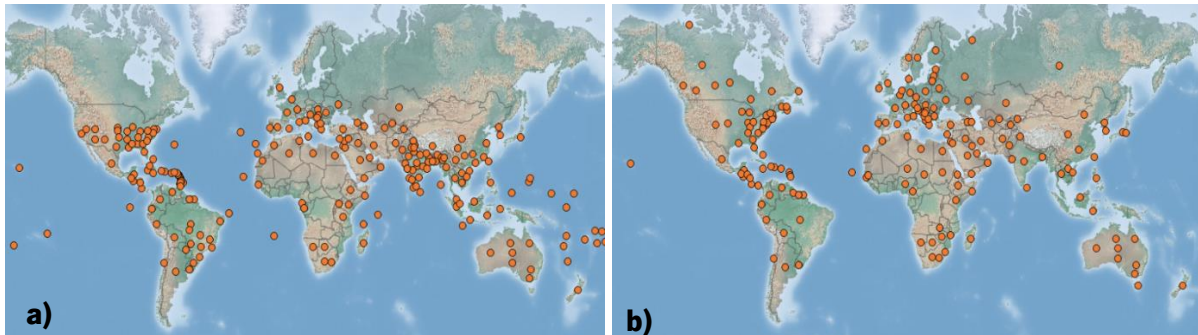


Figura 3 – Distribuição da *Arundo donax* L. (giant reed) (a); distribuição *Phragmites australis* (common reed) (b) (CABI, 2021).

Algumas páginas na internet são responsáveis por mapear o avistamento de planta nativas, exóticas e invasoras. Estes interagem com colaboradores pelo mundo que compartilham seus registros, e este é o caso de duas páginas em Portugal, o Invasoras.pt (Plantas invasoras em Portugal, 2021) e o Flora-on.pt (Flora-on: Flora de Portugal Interactiva, 2014).

Tanto a *Arundo donax* L. quanto a *Phragmites australis*, estão distribuídas por todo o território português (Figura 4 (a; c)). A *Arundo donax* L. é a que atinge uma área mais abrangente no país, sendo mais fácil localizar esta espécie para eventuais estudos. Apesar da sequência de figuras apresentar espaços não ocupados, Instituições de botânica em Portugal, como o Jardim botânico da UTAD, indicam que a espécie está espalhada por todo o país (UTDA, 2021), seguida (em termos de quantidade) pela *Phragmites australis* e em pouca área de ocupação a *Arundo micranta* Lam.

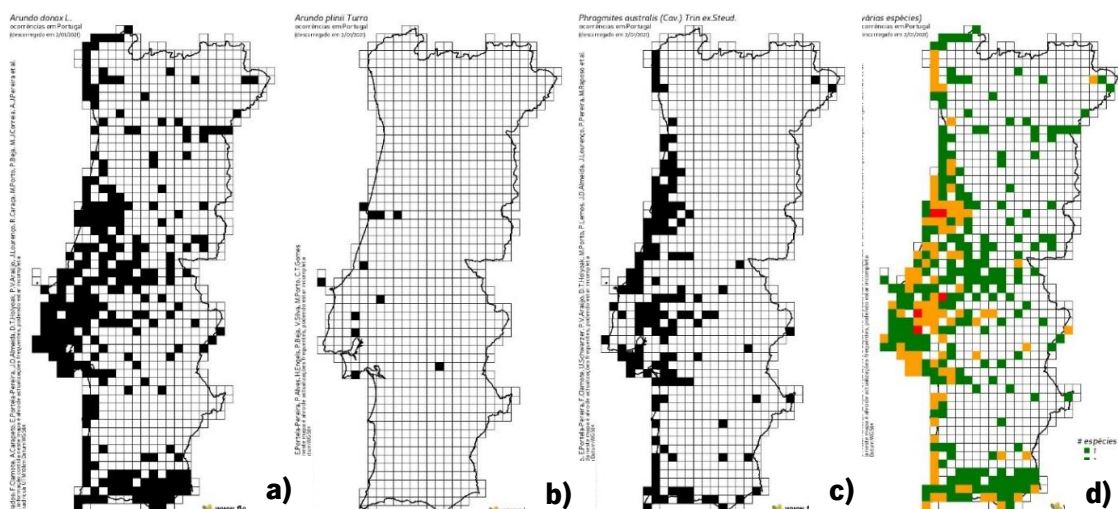


Figura 4 – Ocupação das espécies de cana em Portugal Continental; *Arundo donax* L. (a); *Arundo micranta* (b); *Phragmites australis* (c); as três espécies juntas (d) (Flora-on: Flora de Portugal Interactiva, 2014).



## 2.6.2 Uso geral

Por ser um material flexível e leve, é possível utilizá-la de inúmeras maneiras, na fabricação de ferramentas, matéria-prima para artefatos, uso medicinal e produção de instrumentos musicais (Barreca, 2012). A cultura deste material na introdução musical surgiu no Egito a mais de 5000 anos na produção de instrumentos musicais como as flautas, sendo um dos mais antigos usos conhecidos (Figura 5(a)), além do uso para construção de flechas e para enrolar os mortos com suas folhas (Bassam & Dalianis, 2010; Perdue, 1958) dentre outras tantas utilidades apresentadas na literatura. Por volta de 2800 e 2700 a.C, as hastes de cana eram usadas como meio de comunicação através da escrita, pois eram transformadas em canetas (Paananen, 2013).

Durante a Segunda Guerra Mundial, a cana foi utilizada para produção de esteiras com a finalidade de cegar o inimigo, ao cobrir as estradas e os caminhos no Sul da França, já no México eram utilizadas para produzir tapetes para a construção de celeiros e evitar derramamento de grãos (Perdue, 1958). Também serviu, em áreas rurais, como forragem para o gado, e sua floração para preencher o núcleo dos colchões e travesseiros (Häkkinen, 2007).

Em Portugal, especificamente na região do Alentejo, Fernandes & Carvalho (2004), em entrevista aos moradores mais antigos do concelho de Beja, buscaram entender as formas e os usos aplicados a cana, especificamente a *Arundo donax* L., abundante na região. Notaram que esta cana é conhecida vulgarmente por bengala, tendo os mais diversos usos, como a utilização do caule já seco para produzir uma espécie de canudos que são tubos utilizados por ceifeiros nos dedos como proteção (Figura 5 (b)), que apesar do desuso atual, ainda são produzidas por artesãos devido à procura dos turistas. Também é utilizada como instrumento na coleta de caracóis em locais com espinho, para cozinhar pratos locais, como instrumento de medição, na preparação de “alças” de escovas utilizadas para branquear as casas, para produção de instrumentos musicais, fabricação de brinquedos para as crianças, uso na agricultura, apoio em pomares e para bater nas oliveiras no período de colheita das azeitonas.

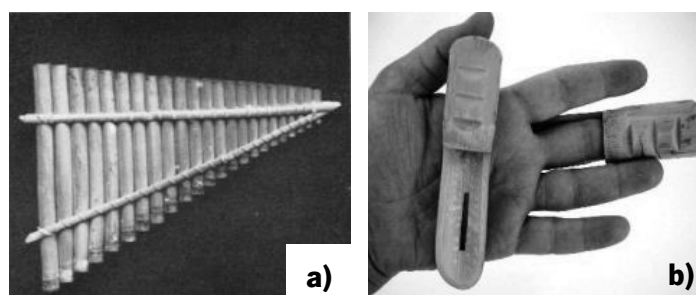


Figura 5 – Flauta egípcia feita de *Arundo donax* (a) (Blais, 2010); Produto de cana produzida para proteção dos ceifeiros (b) (Fernandes & Carvalho, 2004).

A cana vem ganhando cada vez mais destaque em pesquisas científicas. O extrato de resíduos de cana e rizomas é utilizado para produzir álcool e produtos farmacêuticos e também é alvo de pesquisas (Bassam & Dalianis, 2010). A cana também possui um elevado potencial como material de biomassa para gerar energia, produção de biogás, pellets, bioetanol, móveis e uma rica fonte de celulose para a produção de papel (Arundo Bioenergy, 2020; Bassam & Dalianis, 2010; Lyytinen & Hagelberg, 2007). O seu uso para captação de CO<sub>2</sub> em regiões altamente poluídas, como arredores de complexos industriais, também tem sido investigado (Arundo Bioenergy, 2020).

### 2.6.3 Uso na construção

Existe, espalhado pelo mundo, uma variedade de espécies de canas que são utilizadas na construção das mais diversas formas. No Iraque, por exemplo, desde a época suméria, os árabes do pântano, como são conhecidos, possuíam em seu entorno uma vasta plantação de cana, conhecida como *Ihdri*, desenvolveram uma técnica de construção específica apenas com cana e piso em terra compactada (Almusaed & Almssad, 2015). A principal construção era conhecida como *Mudhif* (Figura 6 (a)), local para cerimônias e recepções importantes. Constituída por longos feixes de cana que se dobravam e formavam grandes arcos que estruturavam a construção, assim como toda a vedação feita de esteiras de cana, e alguns eixos com perfurações, a fim de promover a ventilação natural. Além das *Mudhif* também foram construídas vilas feitas de canas na costa do Eufrates (Almusaed & Almssad, 2015; Barreca & Fichera, 2013; Broadbent, 2008). Estima-se que esta tipologia de construção em cana date de 3200 a.C., devido à uma descoberta de um entalhe de gesso com a representação de uma construção típica de um *Mudhif*, sendo considerada uma descoberta histórica muito importante (Broadbent, 2008).

O Egito, de característica mediterrânea, é um país com necessidade de matéria prima alternativa e, também faz uso da cana em sua construção. Um método comum de construção com cana é a Malha (ou Chebika), que consiste em prender as hastes juntas, sendo uma construção simples até para quem não é profissional, quando montadas as paredes, isola-se com plástico e estuque, seguidamente é adicionada palha de arroz e papiro, sua vedação é finalizada com lama misturada a palha de arroz, feno e pintada com cal, sendo consideradas casas adequadas para altas temperaturas, humidade e chuvas fortes (Noaman, 2018).

No Peru, uma tribo denominada Uros, ainda hoje, vive em moradias construídas sobre ilhas artificiais flutuantes ao redor do Lago Titicaca, o local é um extenso campo de canas conhecidas localmente como totoras (Figura 6 (b)) (Kent, 2011).

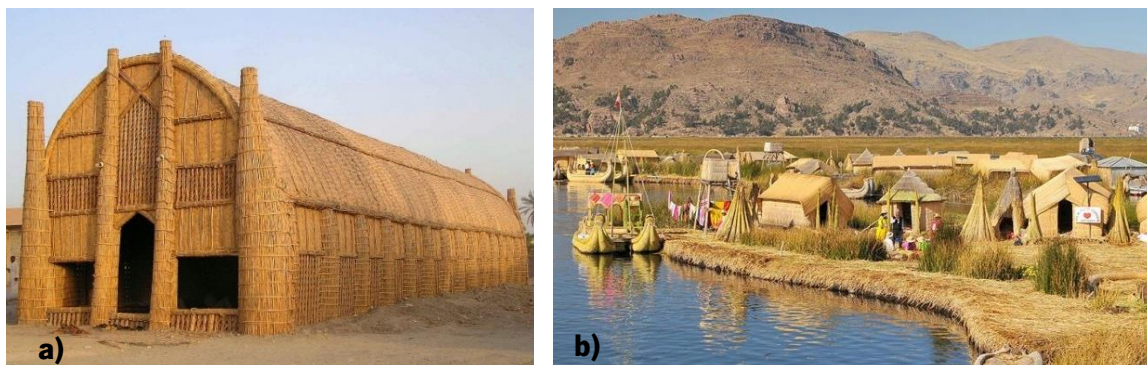


Figura 6 – Construções com cana. *Mudhif* no Iraque (a) (Draft, 2008); ilhas flutuantes da tribo Uros, Lago Titicaca no Peru (b) (National Geographic En Espanhol, 2018).

No Antigo Egito a cana fez parte do conjunto de materiais construtivos das habitações em formato de cabana (Dabaieh & Sakr, 2015). Estas construções atualmente com manutenção regular e uma correta seleção de materiais, possui uma durabilidade entre os 20 e os 25 anos (Almusaed & Almssad, 2015; Dabaieh & Sakr, 2015).

Na Europa a cana vem sendo utilizada ao longo dos anos de inúmeras formas. Em alguns países com invernos mais rigoroso, a cana já vinha sendo usada antigamente e assim segue atualmente. Na Finlândia, há muito é explorada na construção, principalmente nos telhados, não apenas tradicionais mas modernos, onde uma camada de 30 cm de cana já agrega valor ao isolamento térmico, contribuindo para o aquecimento no inverno e frescor na estação quente no interior da edificação (Lautkankare, 2013a). Importa ressaltar a durabilidade destas coberturas, que quando construídas seguindo as regulamentações tem uma vida útil de 70 a 100 anos (Bergholm, 2012). Na Ucrânia a cana tem feito parte da construção há muitos anos, principalmente com o uso de esteiras de fibras de cana, na execução de paredes e telhados (Sluis et al., 2013). A Holanda possui o maior telhado de cana já registrado, tendo por volta do 5000 m<sup>2</sup> e até 40 metros de altura (Figura 7 (a)), e atualmente aposta no uso da cana em paredes externas (Figura 7 (b)) em suas construções contemporâneas (Lautkankare, 2007).



Figura 7 – Construção contemporânea com cana (a) Fonte: foto The Dutch Federation of Thatchers (Lautkankare, 2007); maior cobertura com cana já conhecida (b)(Eftepedia, 2021).

Em Espanha este material natural foi amplamente utilizado na construção de moradias, para a constituição de paredes divisórias e coberturas, abóbadas de cofragem e escadas, e vem tendo o mesmo uso até os dias atuais. Aliando as antigas técnicas construtivas às técnicas utilizadas hoje, como na substituição de malha de aço por malha de cana, parede divisória de cana sendo ou não rebocada por gesso, uso para o sombreamento de fachadas, pérgolas e também continuando o uso para sebes (Figura 8) (Couvreur & Remón, 2019).

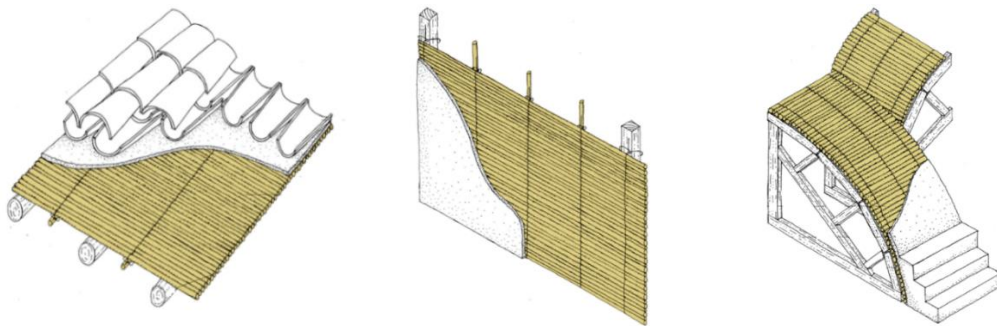


Figura 8 – Soluções construtivas com cana na Espanha (Couvreur & Remón, 2019).

No sudoeste da Itália, após um terremoto em 1908, muitas das habitações rurais devastadas foram novamente construídas, com uma estrutura constituída por madeira e *Arundo donax* L., seguidas por uma camada espessa de argila e gesso (Barreca & Fichera, 2013).

Ao Sul do Mar Báltico a cana tem sido utilizada para diversas tipologias construtivas, por ser flexível proporciona designs curvos (Lautkankare, 2007). Assim como um grupo espanhol, conhecido como CanyaViva, que desde 2007 vem fomentando a bioconstrução, passando a explorar o potencial da cana como estrutura, principalmente arqueada, desenvolvendo desde pequenos a grandes modelos estruturais, podendo ser uma obra permanente ou efêmera (Figura 9). Sua técnica tem sido aperfeiçoada e passada para a população através de cursos e modelos didáticos de orientação (Wright et al., 2018).

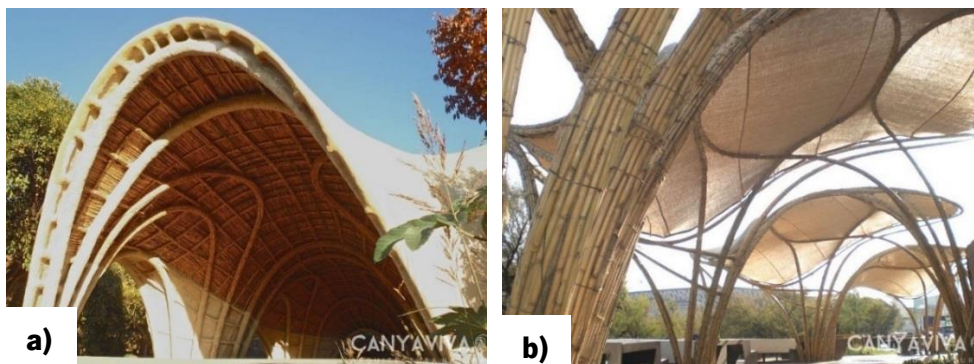


Figura 9 – Casa Laila, construção permanente (a); Expo Zaragoza 2008, construção efêmera (b) (Canyaviva, n.d.).

A cana juntamente com a terra, o tijolo cozido, cal, pedra, já foi um dos principais materiais de construção em Portugal (Correia, 2002). Em regiões como Alto Alentejo, Ribatejo, Estremadura a Sul do Tejo, Sado e Algarve, construções primitivas em terrenos planos, tinham tipologia de cabanas retangulares com cana no preenchimento de paredes, dispostos entre as ripas de madeira, assim como a construção do telhado pouco inclinado, onde a cana é disposta a partir de feixes e amarrada ao barroto e nas ripas com o auxílio de arames, (Figura 10(a)) (Oliveira et al., 1988). Estas residências, eram divididas em duas cabanas distintas, uma de área comum e outra de área social, isto porque as paredes eram todas de cana, podendo causar um incêndio na região da cozinha, mesmo a parede próxima ao fogo sendo recoberta por um espesso reboco de barro caiado de branco; outra questão eram as canas do telhado, pois em incidências de fortes ventos dependendo a região viu-se a necessidade de buscar soluções que mantivessem o telhado firme (Oliveira et al., 1988).

Em Quarteira, Algarve, os pescadores se instalavam em cabanas feitas de cana ou palha (Romba, 2008). No Baixo Alentejo, a cana na cobertura era disposta em longos ripados, onde as telhas eram assentadas, ficando próximas umas às outras, ou com distanciamento aproximado de 10 cm, onde as canas eram presas ao caibro através de uma meia cana (Oliveira et al., 1988). Mais ao Norte, a construção já era composta por paredes de pedra e em algumas regiões por ripados de madeira, com cobertura de cana, como encontradas nas regiões de Viseu, Médio Tâmega e Baixo Douro (Figura 10(b)) (Oliveira et al., 1988).

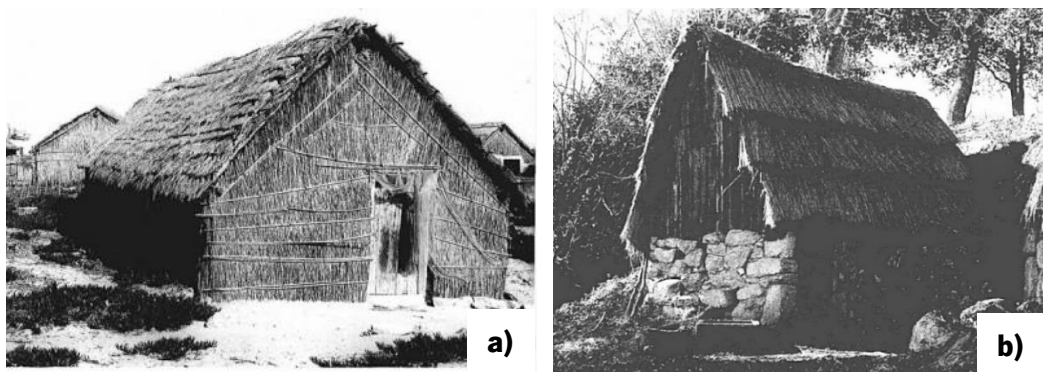


Figura 10 – Construção com cana em Santiago de Cacém (a); construção de pedra, madeira e cana na cobertura (b) (Oliveira et al., 1988).

Com o tempo, outros materiais foram sendo explorados, e assim a cana passou a ter uso mais reduzido. Seguiu sendo utilizada em cobertura, na parte interior de suporte para as telhas, devidamente amarradas umas às outras e aos barrotes de madeira (Correia, 2002; Manuel et al., 2012).

No Algarve o sistema era parecido e conhecido como encaniçado, onde as canas são amarradas umas às outras e aos barrotes de madeira (Figura 11(a)), a telha é junta à cana através de uma camada de

argamassa, o que permitia o equilíbrio no isolamento térmico desta composição de materiais (Oliveira et al., 1988). Nos conhecidos telhados de tesouro, uma estrutura de madeira era completamente revestida por cana (D'Alvo, 2013).

Nas paredes, a cana era integrada a sistemas construtivos, como o caso do tabique (Correia, 2002). Paredes de tabique podiam ser tanto vedações externas como internas no Norte do país (Beira Alta, Beira Baixa, Trás-os-Montes e Minho), frequente no primeiro pavimento, pois o térreo em sua maioria era de pedra (Fernandes, 2006). Nos Palheiros da Tocha, é registrado a cana dispostos pelo interior das paredes mais expostas em busca de um melhor isolamento térmico (AAVV, 1980). Na região do Ribatejo e Alentejo, a cana é utilizado como um tipo de entrançado da estrutura em madeira das paredes interiores (AAVV, 2005).

Em 2017, no Campus da Caparica da Universidade NOVA de Lisboa, um estudo construtivo denominado Reed-cob (Figura 11(b)) desenvolveu um protótipo de uma edificação de pequeno porte, utilizando hastes inteiras de *Arundo donax* L, fibras de cana e terra local para a argamassa, de modo a possibilitar uma solução construtiva de alvenaria viável do ponto de vista econômico e ecológico (Carneiro et al., 2017).



Figura 11 – Uso da cana na construção de telhados no Alentejo (a) (Correia, 2002); protótipo de Reed-cob (b)(Carneiro et al., 2017).

Os autores do projeto destacam a facilidade, rapidez e economia para construir estas paredes monolíticas, sem necessidade de mão-de-obra especializada e com bom comportamento mecânico proporcionado, em grande parte, pelas canas. Outro resultado relevante é uma análise de temperatura realizada durante os períodos de verão/inverno, constando que no verão a uma temperatura externa máxima de 33°C no interior chegou a 22°C, contudo no inverno apontam para a necessidade de um sistema de aquecimento para atingir conforto térmico. É importante ressaltar que a cobertura desta pequena edificação foi isolada por 10 cm de EPS.

A construção com cana adapta-se ao meio, gerando uma arquitetura orgânica, estimulando a criação, podendo chegar a estruturas finais sólidas e totalmente adaptadas ao clima e com eficiência energética

(Almusaed & Almssad, 2015). Dentre as suas vantagens, Dabaieh & Sakr (2015) abordam que por ser uma material biodegradável, ao final do seu ciclo de vida decompõem-se, minimizando impactes ambientais, para além de ser uma material de baixo ou custo nenhum, abundante em muitos locais, com manuseio e construção que partem do principio de técnicas pouco arrojadas e ferramentas simples. A variabilidade do material, inerente aos materiais vegetais, e as dúvidas sobre a sua durabilidade, são as principais questões a ter em consideração.

## 2.7 Características da cana

### 2.7.1 Morfologia da cana

A cana é um material heterogêneo, por ser de origem natural possui em sua estrutura física irregularidades, uma assimetria que não costuma ser encontrada em soluções construtivas artificiais (produzidas) e de uso convencional. Não existe uma uniformidade ao longo da sua haste, seu diâmetro é maior na base diminuindo até o topo juntamente com a espessura.

A cana possui capacidade de lidar com mudanças de temperatura, radiação, tempestade e até neve (Lautkankare, 2007). Outra característica que caracteriza este material é a sua anisotropia, onde diante das propriedades físicas, um material é estudado em diferentes direções, e a cana possui em sua parede celular fibras tanto no sentido longitudinal como transversal (Ortuño, 2003).

### 2.7.2 Espécies de cana em Portugal

Em Portugal podem ser encontradas três espécies de cana. Duas são do gênero *Arundo*, sendo a *Arundo donax* L. e *Arundo micrantha* Lam.(pouco disseminada), e a *Phragmites australis* (Flora-on: Flora de Portugal Interactiva, 2014). Ambas são monocotiledôneas pertencentes a família Poaceae (gramínea) (Lousã et al., 2007), possuindo uma estrutura ereta, oca e tubular segmentada, subdividida em entrenós e nós (Bassam & Dalianis, 2010; Speck & Spatz, 2004). Contudo, cada uma tem características específicas diferenciando uma da outra em uma identificação da espécie.

A *Arundo donax* L., espécie utilizada neste trabalho, vulgarmente conhecida como cana gigante, é uma robusta erva perene que costuma atingir 6 m de altura, mas que em condições ideais pode chegar até 10 m. Com diâmetro entre 1 e 4 cm, a espessura das paredes do colmo atingem aproximadamente de 2 a 7 mm, a folhagem chega a atingir entre 3 a 8 cm de largura e 30 a 86 cm de comprimento (Marchante et al., 2015; Monteiro et al., 2015; Perdue, 1958; Speck & Spatz, 2004). Sua floração se

dá ao final da estação quente, sendo uma panícula entre 30 à 60 cm em forma de pluma, inicialmente avermelhada se tornando quase branco ao final da floração (Bassam & Dalianis, 2010; Bell, 1997; USDA, 2014). A Figura 12 apresenta suas características morfológicas com maior detalhe.

Os nós possuem um distanciamento entre si de 12 a 30 cm ao longo da haste (entrenó), neles uma espécie de broto germina criando ramificações secundárias a partir do segundo ano de crescimento. Outro fator importante quanto ao nó é sua estabilidade mecânica graças a concentração de lignina. Com rizomas longos e lenhosos entre 1 e 10 cm, a *Arundo donax* L. cresce em qualquer tipo de solo podendo florescer até em solos inférteis. Contudo, cresce vigorosamente em solos drenados com abundante humidade, tendo como melhor ambiente para crescimento os canais e valas, ou bordas de lagos, tolerando alta salinidade, podendo crescer até 7 cm por semana (Bassam & Dalianis, 2010; Perdue, 1958; Sánchez-Balibrea et al., 2015; Torró et al., 2012).

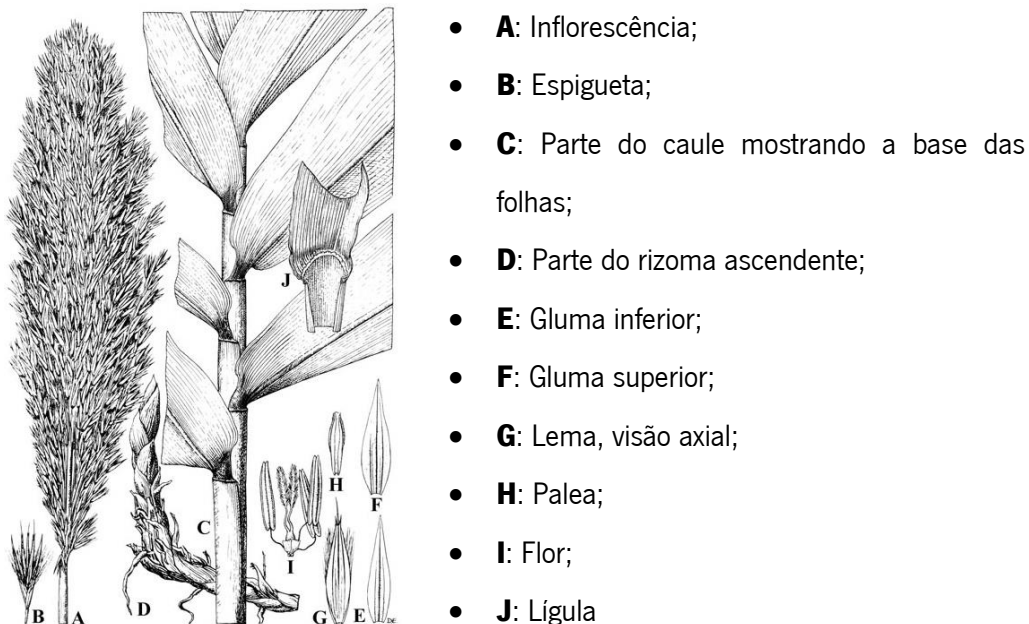


Figura 12 – Características morfológicas da *Arundo donax* L. (eFloras, 2008).

Esta espécie, considerada como invasora em Portugal (Decreto-Lei nº 92/2019, 2019), propaga-se com ou sem inundação e seu caule tende a crescer rápido, inclusive após contato com o fogo (USDA, 2014), sendo de difícil erradicação. Também não costuma produzir sementes aptas a reprodução, deixando o trabalho para os rizomas através de uma reprodução assexuada (Monteiro et al., 2015; Perdue, 1958).

A *Arundo micranta* Lam. também habita o território português, mas em menor proporção (Flora-on: Flora de Portugal Interactiva, 2014). Com hastes ramificadas ainda no primeiro ano se difere da *Arundo donax* L., altura até 4 m, com diâmetro de 1 a 2 cm, folhagens eretas e não pendentes como a *donax*, as inflorescências são mais estreitas, com até 80 cm de comprimento, habita lugares ruderais, margens



dos rios e costas de praias, contudo, ainda é considerado por alguns autores a necessidade de mais estudos taxonômicos nesta espécie para determinar com mais precisão suas características, visto que pode ser erroneamente confundida com outras espécies do gênero *Arundo* (Hardion et al., 2012; Sánchez-Balibrea et al., 2015).

A *Phragmites australis*, espécie semelhante a *Arundo donax* L. possui características diferenciadas, a começar pela sua nomenclatura vulgarmente conhecida como caniço ou cana comum, suas dimensões são reduzidas tanto no diâmetro como no comprimento da haste (Marchante et al., 2015). Costuma atingir até 4 m de altura, e muito raramente 7 m (Duarte & Moreira, 2009; Myllyniemi & Virtanen, 2013), o diâmetro da haste é de 2 cm, sua folhagem com largura de 1 a 2 cm e comprimento de 20 a 45 cm de comprimento e sua panícula pode atingir até 50 cm com uma floração, caracteristicamente roxa e ao fim do verão cinza, que pode durar até três meses (Julho a Setembro), com um rizoma vasto e ramificado (Bassam & Dalianis, 2010; Packer et al., 2017; Roosaluuste, 2007).

Conhecer as espécies que ocupam o ecossistema português, auxilia não apenas na identificação, mas para melhor acompanhar o comportamento e investigar suas propriedades.

### 2.7.3 Colheita

Devido às variedades de utilização da cana, a época exata de colheita vai depender para que fim será destinada. Para o setor da construção o ideal é que a colheita seja realizada durante o inverno, quando o caule está mais seco e contém menos micro-organismos (Lautkankare, 2007).

Quando a cana é colhida em grande proporção, o ideal é amarrá-las em feixes, dispondo-as com a base da cana para baixo e empilhadas em formato de pirâmide, podendo ser deixadas no mesmo local de colheita ou movidos para outra área com boa ventilação (Figura 13) (Miljan, 2013; Ortuño, 2003; Perdue, 1958). A secagem pode durar de dois a quatro meses. Concluído este período, a cana tem suas folhagens e ramificações retirados, são cortadas e selecionadas. As canas em bom estado de conservação passam por um período de cura ao sol e sem contato com o solo, dispostas obliquamente em posição horizontal. Desta forma mantém-se a melhor conservação e garante a integridade das hastes (Perdue, 1958).



Figura 13 – Disposição da cana em secagem ao sol (a) (Hemmi et al., n.d.); armazenamento da cana (b)(Donati, 2021).

O período total de secagem para uso pode variar, podendo ser até doze meses. Esta decisão está relacionada com o ponto crítico desenvolvido pelo produtor. Em alguns casos, sua secagem pode ser concluída em estufa. Findado o processo de secagem, a cana é disposta em local arejado para posteriormente seguir para o consumidor final (Perdue, 1958).

No caso da arquitetura vernácula portuguesa, as canas eram colhidas no inverno por motivos relacionados, também, com a durabilidade (Almeida, 2010). O dito popular “cana cortada em Janeiro dura o ano inteiro” corrobora esta informação. Também é sabido que as canas eram colhidas com mais de dois anos de idade, período a partir do qual, de acordo com o conhecimento popular, a cana atingia altura e resistência necessárias para utilização na construção (Almeida, 2010).

#### 2.7.4 Controle

Por ser uma invasora e causar diversos danos, por exemplo, à flora local e as obras de arte, muitos locais buscam erradicar a cana, seja com soluções de corte desde o rizoma até a incorporação de substâncias químicas. Para controlar o avanço desta invasora é necessário considerar alguns fatores, como o tamanho do território que ocupa e a época do ano, considerando-se eficaz o método de pulverização de herbicida sistêmico foliar, com dosagem regulada, no período de crescimento ativo da planta (Bell, 1997; USDA, 2014), evitando que a planta siga evoluindo e se disseminando.

Apesar de existirem atualmente muitas pesquisas que visam eliminar a existência destas invasoras sem prejudicar o ecossistema em que está inserida, observa-se uma mais valia de colher de forma correta de modo utilizá-la, principalmente na construção.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Enquadramento

O interesse pela utilização da cana como matéria prima para produtos da construção tem vindo a aumentar. Um dos motivos é a busca por novas soluções construtivas que visem maior sustentabilidade. Neste sentido, é preciso estudar e conhecer as características do material para melhor empregá-lo na construção.

Tendo em conta a influência dos parâmetros ambientais sobre o desenvolvimento da cana e, conseqüentemente, a variabilidade das suas características em função do ambiente onde se insere o seu crescimento, é fundamental caracterizar a cana disseminada no território português.

Neste capítulo serão conhecidos o local de colheita da cana utilizada nesta investigação, os critérios adotados para sua classificação, bem como os métodos utilizados para sua caracterização física, biológica e térmica.

O estudo das características térmicas conduziu ao desenvolvimento de painéis de cana com diferentes configurações, otimizando soluções em busca dos melhores resultados, que também serão apresentados neste capítulo.

### 3.2 Origem e recepção das canas

As canas em estudo são provenientes de Serpa (Figura 14), cidade que pertence à região do Baixo Alentejo, cujo clima é mediterrâneo, de acordo com a classificação internacional de Köppen-Geiger, caracterizando-se como temperado quente e seco (Csa), com inverno chuvoso, com temperatura média anual de 16,6 °C e precipitação total anual média de 537 mm (Climate-data, n.d.; IPMA, 2020). O local escolhido para colheita está relacionado com a abundância deste tipo de material e com a proximidade dos locais onde a cana tem uma utilização mais expressiva ao longo tempo para diversas finalidades, como pode ser visto no item 2.6.1 e 2.6.2.

As canas em estudo foram colhidas manualmente com o auxílio de um alicate apropriado, no início da primavera de 2019 e seguiram para as instalações da Universidade do Minho, sendo recepcionadas no Laboratório de Física e Tecnologia das Construções do Departamento de Engenharia Civil. As canas passaram por um processo de limpeza onde as folhas foram retiradas e, em seguida, permaneceram

em ambiente de laboratório, na posição vertical, em processo de secagem natural, até à sua utilização. É neste processo que a cana elimina o excesso de água na sua parede celular.

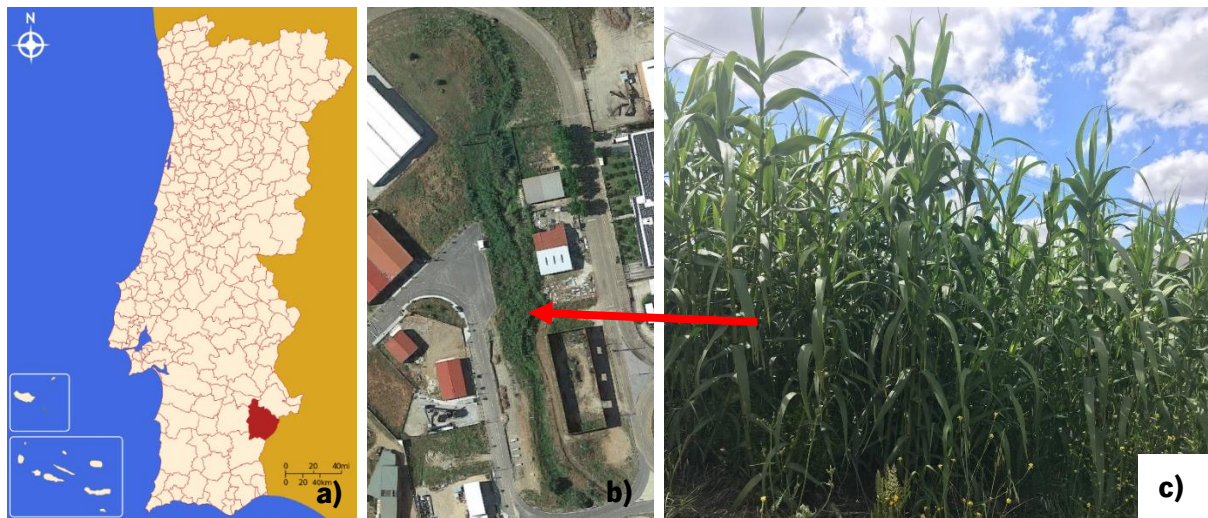


Figura 14 – Localização de Serpa em Portugal continental (a) (Wikipedia, 2020); local de colheita das canas (b); canas (*Arundo donax* L.) (c).

### 3.3 Material

#### 3.3.1 Identificação da espécie de cana em estudo

Como citado no capítulo anterior, são duas as espécies de cana que são largamente disseminadas ao longo de todo o território português: *Phragmites australis* e *Arundo donax* L. Nesta fase da pesquisa importa saber qual espécie está sendo estudada. A espécie de cana destinada a esta pesquisa, foi identificada como *Arundo donax* L., uma planta robusta que possui vários nomes populares como, por exemplo, cana gigante, cana-do-reino e caniço. Visualmente nota-se o formato de sua folhagem que aparenta “abraçar” o caule (Figura 15 (a)), sendo uma característica marcante desta espécie se comparada com a *Phragmites australis*, assim como a inflorescência no topo da cana (Figura 15 (b)), que são diferentes entre as duas espécies. O verde bem vivo da folhagem que reveste a cana e folhas com comprimento entre 73 cm são características típicas da *Arundo donax* L. como visto anteriormente no item 2.7.2. A idade da cana também pode ser estimada com base nas suas características. O fato de a haste da cana colhida apresentar pequenos ramos secundários ainda em crescimento, (Figura 15 (c)), aponta para uma planta com idade superior a um ano. De acordo com Couvreur & Remón (2019), este é considerado o período ideal de colheita da cana para uso na construção.

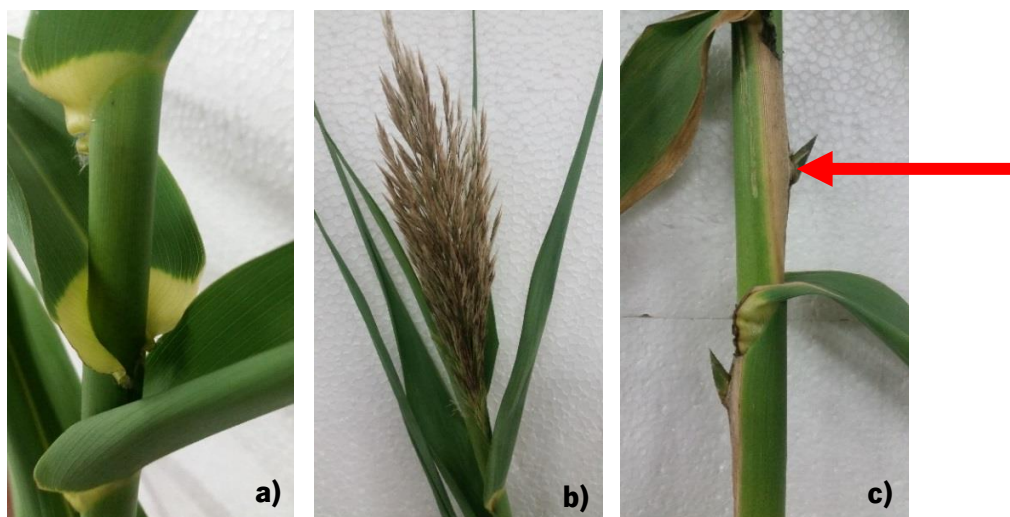


Figura 15 – Bainha da folha "abraçando" o caule (a); inflorescência da *Arundo donax* L. (b); ramificação secundária (c).

### 3.3.2 Preparação da cana

A utilização das canas para os ensaios laboratoriais desta dissertação de mestrado foi precedida de um processo de seleção, seguido de uma etapa de classificação da cana por grupos.

A fase de seleção consistiu em identificar as canas que se encontravam fisicamente em bom estado de conservação, ou seja, não apresentavam qualquer seção com fissura ou algum sinal de podridão do material. Esta seleção foi feita através de uma análise tátil-visual.

A fase de classificação teve início com a caracterização geométrica das canas, após o período de secagem. Este processo determinou o comprimento da haste, o diâmetro na seção de corte e centro da haste, ambos medidos pela superfície externa da cana, e a espessura da parede interna da base (Figura 16). Para tal, utilizou-se fita métrica e paquímetro digital de resolução de 0,01 mm.

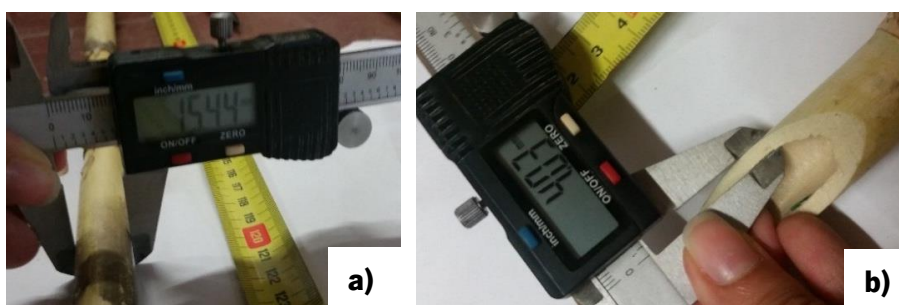


Figura 16 – Determinação do diâmetro no centro da cana (a); determinação da espessura da parede da cana (b).

Após a caracterização, definiu-se um “diâmetro crítico”,  $11 \pm 1$  mm, abaixo do qual identificou-se que as canas possuíam menos resistência, partindo com maior facilidade seja ao toque ou durante processo

de corte com o uso do serrote de fita. Assim, as partes que não estavam em conformidade com os requisitos acima foram removidas e as canas selecionadas para estudo podem ser vistas na Figura 17.



Figura 17 – Canas selecionadas para o estudo.

Todas as canas selecionadas foram identificadas e, em seguida, foram novamente caracterizadas a fim de determinar o comprimento e o diâmetro externo (Anexo I). Esta identificação e nova caracterização teve por objetivo:

- Calcular, considerando o comprimento das hastes, a percentagem da cana colhida que está em condições de utilização. Neste caso, apenas 44,74%;
- Separar as canas por grupos, e;
- Identificar com precisão as canas que irão compor cada painel de isolamento térmico a ser ensaiado nas etapas seguintes.

A divisão por grupos permite estudar características distintas de um mesmo material. Neste caso, observou-se que o diâmetro é uma característica que diferencia as canas em estudo. As canas foram separadas, de acordo com o diâmetro, em dois grandes grupos: Grupo 1 (G1) canas com diâmetro entre 11 mm e 15 mm; Grupo 2 (G2) canas com diâmetro superior a 15 mm (Figura 18). Assim, durante o estudo, será possível avaliar se os parâmetros físicos, térmicos e de durabilidade em estudo são influenciados pelo diâmetro da cana.



Figura 18 – Canas divididas em grupos de acordo com o diâmetro.

Os caules das canas de ambos os grupos foram cortados em hastes com comprimentos de 15 cm, tamanho previamente estipulado para montagens de painéis para posterior ensaio térmico. Após o corte, os ramos secundários crescentes no caule foram retirados (Figura 19 (a)), com ajuda do serrote de fita. Em seguida, com auxílio de uma grossa, lixou-se o local de remoção do ramo secundário (Figura 19 (b)).



Figura 19 – Ramo que identifica a idade aproximada da cana (a); retirada do ramo e lixamento da superfície (b).

A cana em sua estrutura caracteristicamente longa, cilíndrica e oca no interior, é segmentada por nós e entrenós, como já apresentado no Capítulo 2. Contudo, durante o procedimento do corte observou-se uma estrutura no interior da cana, localizada pouco acima do nó, que não está documentada na literatura sobre o assunto. Trata-se de uma espécie de “algodão” branco em formato circular, com espessura de 0,10 mm, naturalmente fixado na parede celular da cana (Figura 20), que parece funcionar como proteção para o nó. Esta estrutura não foi removida para realização dos ensaios realizados no âmbito desta dissertação.

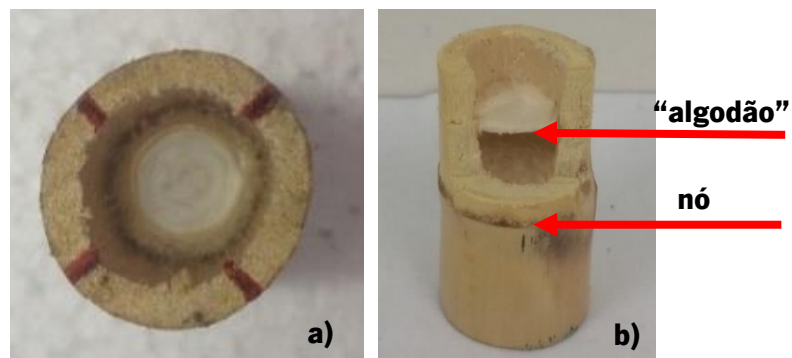


Figura 20 – Estrutura de "algodão": vista de cima (a); vista em perfil (b).

### 3.3.3 Seleção da ferramenta de corte

A ferramenta de corte utilizada, serrote de fita, foi definida após uma rápida investigação laboratorial. Foram testadas três diferentes ferramentas: serrote reto, serrote de fita (Figura 21 (a)) e máquina elétrica de corte (Figura 21 (b)).

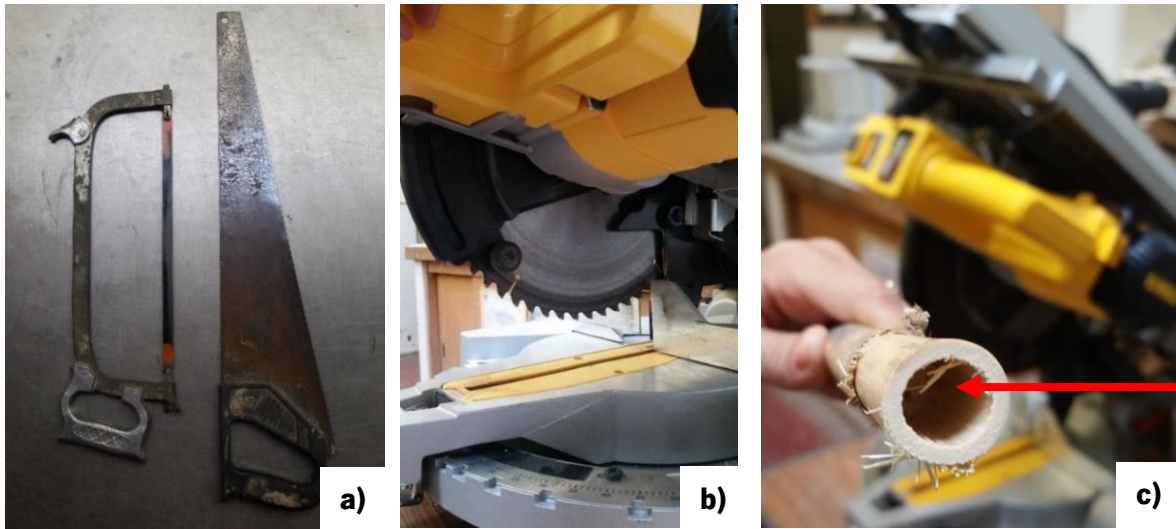


Figura 21 – Ferramentas de cortes testadas: serrote de fita e serrote reto (a); máquina elétrica de corte (b); resultado de corte com máquina elétrica (c).

Das três opções testadas, o serrote de fita, com dentes finos, menor comprimento e assim, maior estabilidade, proporcionou um corte mais firme e preciso, executado de maneira segura, sendo a opção selecionada para esta fase.

O serrote reto mostrou-se pouco estável durante o processo de corte, dificultando o trabalho e comprometendo o resultado. A máquina de corte, por sua vez, apresenta-se como uma opção eficiente, com corte reto, preciso e com maior rapidez para execução do trabalho. Contudo, a lâmina utilizada apresenta dentes largos, que no momento do corte acabam por “desfiar” a extremidade da cana, comprometendo o resultado final do corte e, conseqüentemente, a durabilidade do material (Figura 21 (c)). A utilização de uma lâmina com dentes mais estreitos, poderá conduzir a um melhor resultado para trabalhos com maior volume de hastes de cana.

#### 3.3.4 Caracterização física

A caracterização física de um material nos permite identificá-lo e compreender os diferentes aspectos diretamente relacionados com a sua composição. Quando se estuda um material natural com muitas variedades, informações e dados ainda desconhecidos, a relevância de entender suas propriedades e mecanismos é ainda maior. Seguindo esta premissa, é preciso entender como a cana se comporta face aos diversos ensaios a que será submetido (Tabela 4).



Tabela 4 – Relação de ensaios x normatizações utilizadas como referência

<b>Ensaio</b>	<b>Normatização</b>	<b>Material</b>
Teor de humidade e variação dimensional	NP 614 - Determinação do teor em água	Madeira
Massa Volúmica	NP 616 - Determinação da massa volúmica	Madeira
	BS ISO 22157:2019 - Bamboo structures - Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms - Test methods	Bambu
Absorção de água por capilaridade	LNEC E393 - Determinação da absorção de água por capilaridade	Betão
Retração	NP 615 - Determinação da retração	Madeira

Até ao final deste estudo, ainda não havia nenhuma norma direccionada para a cana. Para a realização destes ensaios utilizou-se como base normas portuguesas aplicáveis a madeira e ao betão, e no caso da massa volúmica, também a norma aplicável ao bambu. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.

A fim de verificar a influência do diâmetro (grupos 1 e 2) e da presença dos nós nos resultados obtidos para cada ensaio listado na Tabela 4, foram estudadas 20 amostras de cana de acordo com o esquema apresentado na Figura 22. No caso da massa volúmica, foram consideradas apenas canas sem nó.



Figura 22 – Relação de quantidade de amostras para ensaio.

### 3.3.4.1 Teor de humidade e variação dimensional

A determinação do teor de humidade é um importante parâmetro a ser determinado, pois está relacionado com a durabilidade do material, assumindo maior importância para os materiais naturais.

Quando um material natural perde água, ele tende a alterar suas dimensões iniciais, o que pode resultar numa alteração também no comportamento do material e inviabilizar a sua utilização para determinadas funções. Desta forma, optou-se por determinar a variação dimensional em paralelo com o teor de humidade.

É importante deixar claro que a cana ensaiada foi seca naturalmente (ver item 3.2) e, por isso, a determinação do teor de humidade aqui tem por objetivo identificar a humidade residual na parede celular da cana.

### a) Preparação das amostras

O ensaio realizou-se com base na Norma Portuguesa NP 614 - Determinação do teor em água (NP 614, 1973) que tem por objetivo determinar a humidade de uma amostra de madeira. As orientações desta norma foram adaptadas para o ensaio da cana.

Foram preparadas, amostras de cana com 5 cm de comprimento, para as variáveis apresentadas na Figura 22, ou seja, para cada grupo 5 amostras com nó e 5 amostras sem nó, em um total de 10 amostras por grupo. Ao seleccionar as amostras tomou-se o cuidado de utilizar canas com diâmetros semelhantes que, depois de seleccionadas, foram identificadas na sua face externa como mostra a Figura 23.



Figura 23 – Identificação das amostras e marcação ortogonal e numeração correspondente para medição periódica.

Para avaliar a variação dimensional, após identificada, cada amostra foi marcada na circunferência do colmo, no seu topo superior (cor de laranja) e na base inferior (cor preta) como mostra a Figura 23, com pontos posicionados ortogonalmente, em formato de cruz como indicado na BSI ISO 22157:2019 (2019). Estas marcações permitiram garantir que as medidas do diâmetro, da parede celular (espessura) e do comprimento fossem realizadas sempre nos mesmos pontos da amostra durante todo ensaio.

## b) Procedimento de ensaio

A determinação do teor de humidade teve início com a pesagem das amostras em uma balança de resolução entre e: 10 mg e d: 1 mg (Figura 24 (a)). Em seguida as amostras foram colocadas numa estufa ventilada com temperatura de  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  até atingirem massa constante (Figura 24 (b)). Ao final de 24 horas realizou-se nova pesagem. O teor de humidade (H), é expressa em percentagem, de acordo com a Equação 1.

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- $m_1$  é a massa da amostra húmida, expressa em gramas (g);
- $m_2$  é a massa da amostra seca, expressa em gramas (g),e;
- H é o teor em água da amostra, expresso em percentagem (%).

A verificação da variação dimensional iniciou-se em paralelo com a pesagem inicial das amostras. Neste momento, também foram verificadas as suas dimensões com o auxílio de um paquímetro digital. O período de secagem na estufa foi aproveitado para verificação periódica da variação dimensional. A primeira medição, seguida de pesagem, foi realizada após 30 minutos na estufa. As verificações seguintes foram realizadas aproximadamente a cada 1 hora e 30 minutos, até completar 3 horas seguidas de verificação, sendo a pesagem e medição final feita após 24 horas em estufa.

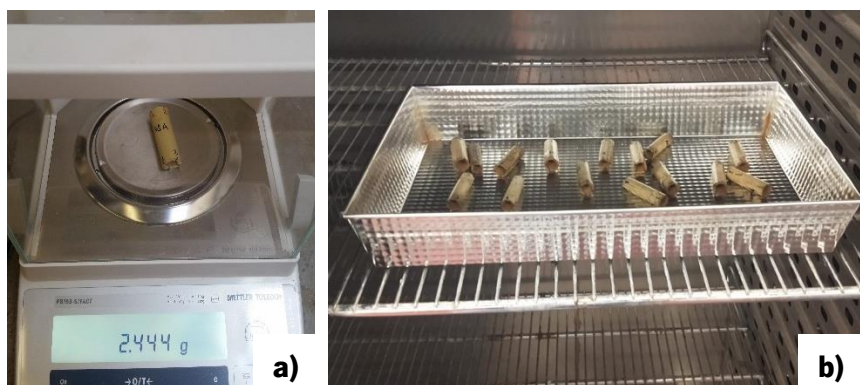


Figura 24 – Verificação inicial de massa (a); inserção das amostras na estufa (b).

A cada verificação, as canas foram retiradas por grupos da estufa e colocadas dentro de um exsiccador, com a função de manter o material estanque de modo a não haver trocas de humidade que pudessem interferir nos resultados. A fim de minimizar eventuais equívocos durante a medição, uma vez que a cana além de lisa é irregular, um ponto fixo de medida do equipamento que foi definido como sendo a “ranhura” existente no gancho do paquímetro. A Figura 25 exemplifica a forma como foram feitas as

medidas do diâmetro superior (pontos 1-3 e 2-4), diâmetro inferior (pontos 1-3 e 2-4), 8 espessuras (4 pontos superiores e 4 pontos inferiores) e 4 comprimentos (pontos 1-1, 2-2, 3-3 e 4-4).

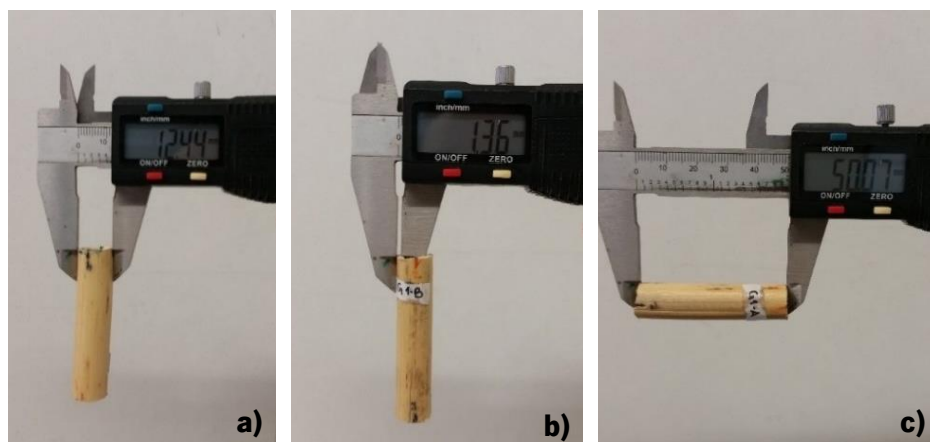


Figura 25 – Verificação da variação dimensional da cana durante ensaio de teor de humidade: diâmetro (a); espessura (b); comprimento (c).

#### 3.3.4.2 Massa volúmica

A determinação da massa volúmica teve como base a Norma Portuguesa NP 616 - Determinação da massa volúmica (NP 616, 1973) para madeiras, que define a massa volúmica a H% de teor de humidade de uma amostra.

##### **a) Preparação das amostras**

Foram selecionadas para ensaio amostras de cana sem nó, com 5 cm de comprimento. Foram utilizadas 10 amostras, 5 de cada grupo, marcadas ortogonalmente na extremidade superior e identificadas (Figura 26).



Figura 26 – Amostras identificadas para definição da massa volúmica

##### **b) Procedimento de ensaio**

O método de ensaio consiste em medir as arestas e obter a massa por pesagem, então adaptou-se as orientações expressas na norma para que fosse possível ensaiar a cana, mantendo sua forma cilíndrica e assim com diferentes espessuras e diâmetros, porém todas com 5 cm de comprimento.

Desta forma considerou-se para análise as medidas de 4 espessuras, 2 diâmetros e 4 comprimentos. Suas dimensões foram aferidas com o auxílio de um paquímetro digital e a verificação da massa através de uma balança de resolução entre e: 10 mg e d: 1 mg. Após a determinação das dimensões, as canas foram inseridas em uma estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ , para determinação do seu teor de humidade para dada massa volúmica.

A primeira pesagem se deu 30 minutos após inserção na estufa, seguida por outras duas pesagens, com 120 minutos e 240 minutos após início do ensaio. Ao final de 1440 minutos as amostras foram novamente pesadas e dimensões aferidas para determinação da massa volúmica, tanto da amostra seca ao ar como a da amostra seca em estufa.

Findado o procedimento, com base na normativa para bambu, a *BS ISO 22157:2019*, a cana retornou a estufa para mais duas pesagens, pois esta cita que a massa é verificada após 24 horas de ensaio em um intervalo não inferior a 2 horas, onde a secagem é considerada completa quando a diferença entre duas pesagens consecutivas não for superior a 0,5% (BSI ISO 22157:2019, 2019).

A massa volúmica  $\rho_H$  para um determinado de teor em água, em gramas por centímetro cúbico, é calculada seguindo a Equação 2.

$$\rho_H = \frac{m_H}{V_H} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- $m_H$  é a massa da amostra, expressa em gramas (g);
- $V_H$  é o volume da amostra, expressa em centímetro cúbico ( $\text{cm}^3$ ), e;
- $\rho_H$  é a massa volúmica da amostra, expressa em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### 3.3.4.3 Absorção de água por capilaridade

Um material tende a absorver água por capilaridade, quando este possui uma estrutura celular capaz de aderir líquidos. As partículas de água quando em contato com a superfície de determinado material, tendem a ser absorvidas, distribuindo-se através da estrutura celular e atingindo uma altura de absorção em um determinado espaço de tempo.

Este ensaio foi executado baseando-se na normativa do E393 – Determinação da absorção de água por capilaridade (LNEC E 393, 1993) para ensaios em betão.

### a) Preparação das amostras

As amostras utilizadas para determinação do teor de umidade e variação dimensional foram também utilizadas neste ensaio, onde anteriormente proporcionou-se a secagem artificial das canas para agora analisar seu potencial de absorção de água. Sendo assim, um total de 20 amostras foram preparadas, 10 de cada grupo, como representado na Figura 22. As amostras com nó foram cuidadosamente selecionadas para que possuíssem o nó em altura semelhante, observando o fato que para fins capilares, estas canas com presença do “algodão” entre nós, se mantivessem fora do contato com a água, para que não houvesse qualquer possível interferência, como barreira de passagem de água.

Como a cana é um material leve, podendo sofrer instabilidade de equilíbrio com facilidade, foi montado junto a uma base plástica, uma amarração de fios de arame recozido, de fácil moldagem, para estabilizar as amostras na posição vertical, como mostra a Figura 27. Para as canas com nó foi necessário fazer arcos sob medida, pois apesar da criteriosa seleção, o nó possui uma altura diferente em cada cana.

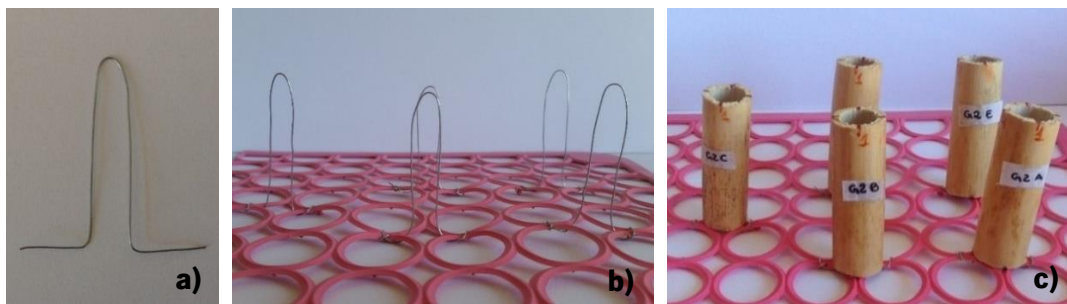


Figura 27 – Etapas para montagem base estabilizadora das canas: arame recozido em arco e tamanho compatível com a cana (a); amarração do arame recozido em base plástica (b); canas estabilizadas na vertical (c).

A norma indica que as amostras devem ser dispostas ao fundo de um recipiente coberto, contudo a cana é um material natural com alguma susceptibilidade para propagação de fungos em ambientes com umidade excessiva a determinada temperatura. Assim, adaptou-se esta etapa do ensaio, propondo um sistema aberto, onde a base com a cana é inserida em uma fôrma de inox permitindo a ventilação para controle de umidade e evitando uma possível propagação de fungos.

Contudo, optou-se também por desenvolver o ensaio em um recipiente coberto (como indica a norma), apenas para efeito de verificação do desenvolvimento de fungos. Neste caso, utilizou-se apenas duas canas de cada grupo e o acompanhamento exclusivamente visual.

Antes de iniciar o ensaio, a cana foi revestida com silicone nas suas superfícies interior e exterior porém não na base, que é a única superfície a ficar em contato direto com a água e assim ocorrer a ascensão capilar. O procedimento com a cana requer novos métodos de execução que se adaptem a forma e

fisiologia do material. Assim, como as amostras são pequenas e com diâmetros relativamente estreitos, utilizou-se um cotonete como material no auxílio na passagem do silicone nas superfícies das canas.

Externamente o silicone envolve até aproximadamente a metade de cada cana para que seja possível acompanhar a ascensão da água e a reação do material natural no decorrer do procedimento. Na superfície interior, a cana foi revestida até, aproximadamente, a metade da amostra, protegendo as fibras da parede celular do contato direto com a água. Nas amostras com a presença de nó, cuidou-se para não proteger o nó com o silicone, com a finalidade de visualizar e analisar a absorção pelo nó (Figura 28).

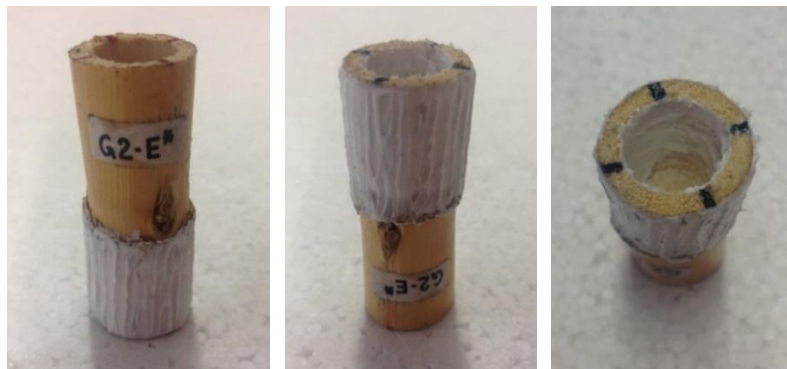


Figura 28 – Amostra de cana revestida de silicone na superfície externa e interna da haste.

#### **b) Procedimento de ensaio**

Com o silicone já seco, cada cana foi pesada e teve suas dimensões verificadas com ajuda de um paquímetro na superfície sem silicone (Figura 29), de modo a acompanhar agora a variação devido a absorção e não a dessorção da água. Seguidamente, as amostras são colocadas em ordem de identificação na fôrma e no recipiente coberto onde, por fim, é acrescentado água com cuidado, sem atingir diretamente o material, até ao limite determinado e sinalizado em cada recipiente de  $5 \pm 1$  mm, sendo que esta água tem seu nível constantemente controlado durante o período de ensaio.



Figura 29 – Processo de pesagem e medição para análise da variação dimensional.

Contudo, devido à leveza do material, quando a água é inserida em ambos os recipientes, a base plástica de apoio da cana flutua, sendo necessário colocar peças densas para firmar e estabilizar (Figura 30).



Figura 30 – Procedimento de ensaio de absorção de água por capilaridade na cana.

Para a verificação da massa, a cana é retirada uma por vez, seca em um pano húmido para absorver o excesso de água na base, é pesada e em seguida retorna para sua posição no ensaio. A primeira verificação de massa da cana ocorreu nos 15 minutos após inserção de água e início do ensaio, em seguida as verificações são aferidas a cada 30 minutos do início do ensaio, totalizando 6 horas de verificação no primeiro dia. Foram realizadas mais duas pesagens: após 24 e 48 horas de ensaio. Finalizado o ensaio, obtém-se a ascensão capilar de cada amostra atingida pela água absorvida. Esta é verificada após a amostra de cana ser cortada ao meio, com um serrote de fita, no sentido longitudinal e ter o silicone removido da superfície exterior e interior, analisando visualmente e medindo com o auxílio de uma fita métrica a altura atingida pela água no interior e exterior de cada amostra.

A absorção de água por capilaridade  $A_c$  é calculada levando em consideração o aumento de massa e a área da amostra em um dado espaço de tempo, como representado na Equação 3.

$$A_c = \frac{M_i - M_0}{A} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

- $M_i$  é a massa da amostra no tempo  $t_i$ , expressa em gramas (g);
- $M_0$  é a massa da amostra, expressa em gramas (g);
- $A$  é a área da superfície da amostra em contato com a água, expressa em metro quadrado ( $m^2$ ), e;
- $A_c$  é a absorção de água por capilaridade, expressa em  $Kg/m^2$ .



#### 3.3.4.4 Retração

A cana, assim como a madeira, é um material higroscópico que quando submetida ao contato com a água, tende a sofrer um inchamento devido a absorção e saturação das fibras. Consequentemente, durante sua secagem, natural ou artificial, tende a retrainir, resultando na diminuição da parede celular. Este é o processo a ser analisado neste ensaio, bem como possíveis deformações na amostra ocasionadas pela retração.

##### **a) Preparação das amostras:**

Foram preparadas 10 amostras de cada grupo (Figura 22), mantendo seu formato cilíndrico. Considerando que a massa volúmica da água é superior à da cana, desenvolveu-se uma amarração com fios de aço que ajudaram a fixar as canas à base (esteira de plástico), de modo a evitar flutuação e manter as canas totalmente imersas na água (Figura 31). Também neste ensaio foi necessário a utilização de peças densas para impedir a flutuação da esteira.



Figura 31 – Fixação da cana para ensaio de retração.

##### **a) Procedimento de ensaio**

O procedimento foi baseado em conformidade com a NP 615 – Determinação da retração aplicada a madeira (NP 615, 1973). Optou-se por calcular:

- A retração linear da cana, que inclui calcular a retração linear total de uma amostra, que corresponde a redução do teor em água desde a saturação das fibras até 0%;
- O coeficiente de retração linear da cana, que corresponde a redução do teor em água desde H% até 0%, sendo H% igual ou inferior ao teor em água de saturação das fibras;
- Retração volumétrica da cana que consiste em calcular a retração volumétrica total de uma amostra, que corresponde a redução de humidade desde a saturação das fibras até 0%, e;
- Coeficiente de retração volumétrica que corresponde a diminuição do teor em água desde H% até 0%.

O ensaio consiste em pesar a amostra, em seguida imergi-la em água pelo período mínimo de uma semana, ou seja, até saturação das fibras.

Passado o período de saturação, as canas são retiradas da água e o excesso de água na superfície da cana é retirado com o auxílio de um papel filtro. Mede-se as dimensões da amostra que, em seguida, é disposta em um tabuleiro para secar naturalmente até atingir sua massa inicial ou próxima a ela (anterior a imersão). Em seguida, a amostra permanece em um exsiccador pelo período de 24 horas. Após este período, as dimensões são novamente determinadas e realiza-se uma nova pesagem para determinação do teor em água. Seca-se a amostra em uma estufa a  $103\pm 2^\circ\text{C}$ , deixa-se arrefecer em um exsiccador e para finalizar pesa-se e afere as dimensões novamente.

A retração linear total,  $\varepsilon$ , e o coeficiente de retração linear,  $\alpha$ , são calculados de acordo com as Equações 4 e 5, respectivamente.

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_3}{l_3} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$\alpha = \frac{l_2 - l_3}{l_3 \times H} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

- $l_1$  é a dimensão em uma determinada direção da amostra saturada (mm);
- $l_2$  é a dimensão na mesma direção da amostra seca ao ar (mm);
- $l_3$  é a dimensão na mesma direção da amostra seca em estufa (mm), e;
- $H$  é o teor em água da amostra seca ao ar (%).

A retração volumétrica total,  $\varepsilon_v$ , e o coeficiente de retração volumétrica,  $\alpha_v$ , são calculados de acordo com as Equações 6 e 7, respectivamente.

$$\varepsilon_v = \frac{V_1 - V_2}{V_3} \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

$$\alpha_v = \frac{V_2 - V_3}{V_3 \times H} \times 100 \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

- $V_1$  é o volume da amostra saturada ( $\text{cm}^3$ );
- $V_2$  é o volume da amostra seca ao ar ( $\text{cm}^3$ );
- $V_3$  é o volume da amostra seca em estufa ( $\text{cm}^3$ ), e;
- $H$  é o teor em água da amostra seca ao ar.

### 3.3.5 Caracterização biológica

A biologia, conceitualmente, é a área da ciência que busca estudar os organismos vivos, assim, quando se caracteriza biologicamente um material natural, busca-se compreender o seu comportamento diante de uma situação adversa, que pode causar o aparecimento dos chamados agentes biológicos. Assim, é possível avaliar a sua durabilidade e a possibilidade, se necessário, de utilizar uma proteção para o material, aumentando a sua durabilidade para utilização no longo prazo.

O objetivo deste ensaio é avaliar o crescimento de fungos na superfície da cana que, por ser um material natural, está sujeito ao ataque de fungos devido à presença de umidade na sua parede celular. A superfície escolhida foi a interior por ser a mais porosa e, por isso, representar a situação mais favorável para o aparecimento de fungos.

As amostras em estudo foram submetidas a uma câmara climática (ARALAB FitoClima 1000EC45), com temperatura e umidade controladas, localizada no Instituto de Ciência e Inovação para a Bio-Sustentabilidade (IB-S) da Universidade do Minho, de modo a simular um ambiente propício à proliferação de fungos, com temperatura de +22°C e umidade relativa de 90 - 95%, como indicado por Lautkankare (2013).

Optou-se por ensaiar, junto com as canas secas naturalmente, algumas amostras de referência. A lã de rocha e o XPS foram os materiais escolhidos por se tratar de isolantes térmicos convencionalmente utilizados na construção e reabilitação das envolventes. Além disso, a lã de rocha possui permeabilidade ao vapor de água semelhante à cana (Asdrubali et al., 2015), podendo proporcionar uma análise mais completa dos resultados. Uma amostra de cana seca em estufa de cada grupo, também foi ensaiada a fim de compreender o grau de influência da umidade neste ensaio.

Foram ensaiadas apenas amostras de cana sem nó por considerar que esta parte da cana, devido à sua complexidade, deve ser estudada de maneira mais aprofundada numa futura investigação. Os materiais e as variáveis estudadas são apresentados na Figura 32.

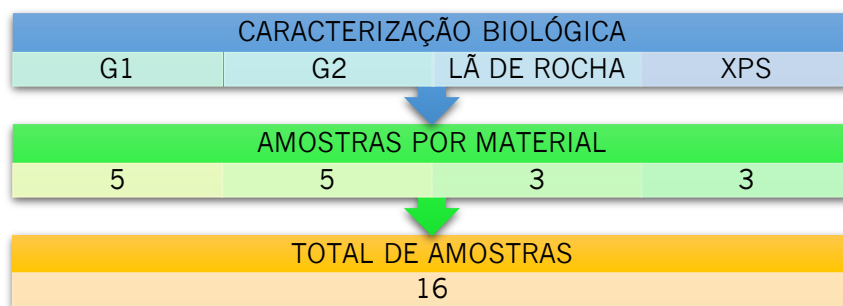


Figura 32 – Relação das variações ensaiadas para testar a durabilidade da cana e demais materiais.

### a) Preparação das amostras

O manuseio das amostras, durante a sua preparação e todo o procedimento de ensaio, se deu com utilização de luvas para não contaminar nem comprometer as amostras. Todos os equipamentos foram previamente higienizados com álcool, incluindo os equipamentos de corte e as placas de Petri que foram utilizadas como recipientes individuais para cada amostra (Figura 33).

Foram ensaiadas amostras com comprimento de 5 cm, porém com largura variada. Nesta fase o importante é garantir que a amostra seja o mais plana possível para uma melhor visualização no microscópio óptico.

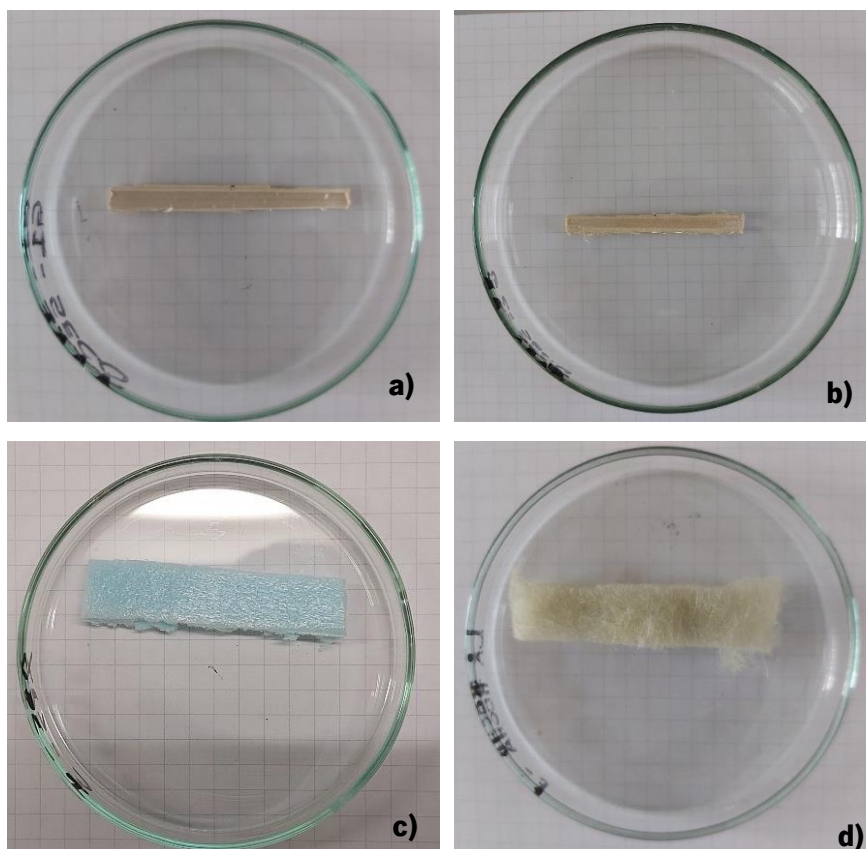


Figura 33 – Amostras ensaiadas: grupo 1 (a); grupo 2 (b); XPS (c); lã de rocha (d).

## b) Procedimento de ensaio

O ensaio consiste na avaliação periódica das amostras inseridas em câmara climática para o acompanhamento do desenvolvimento de fungos em sua superfície. O ensaio teve a duração de 6 semanas (42 dias) e as avaliações foram realizadas semanalmente. Esta avaliação incluiu quatro fases principais (Figura 34):

- Fase 1 - Determinação da massa de cada amostra em balança de resolução entre e: 1 mg e d: 0,1 mg;
- Fase 2 - Avaliação visual (olho nu);
- Fase 3 - Registo fotográfico, e;
- Fase 4 - Análise em microscópio óptico de campo claro (DM750 M, Leica) acoplado a uma câmara digital de alta definição (MC170 HD, Leica) e Leica Application Suite (versão 4.12.0) com zoom em 5x, 10x e 20x, localizado no Laboratório de Análise Avançada de Materiais do Departamento de Engenharia Têxtil.

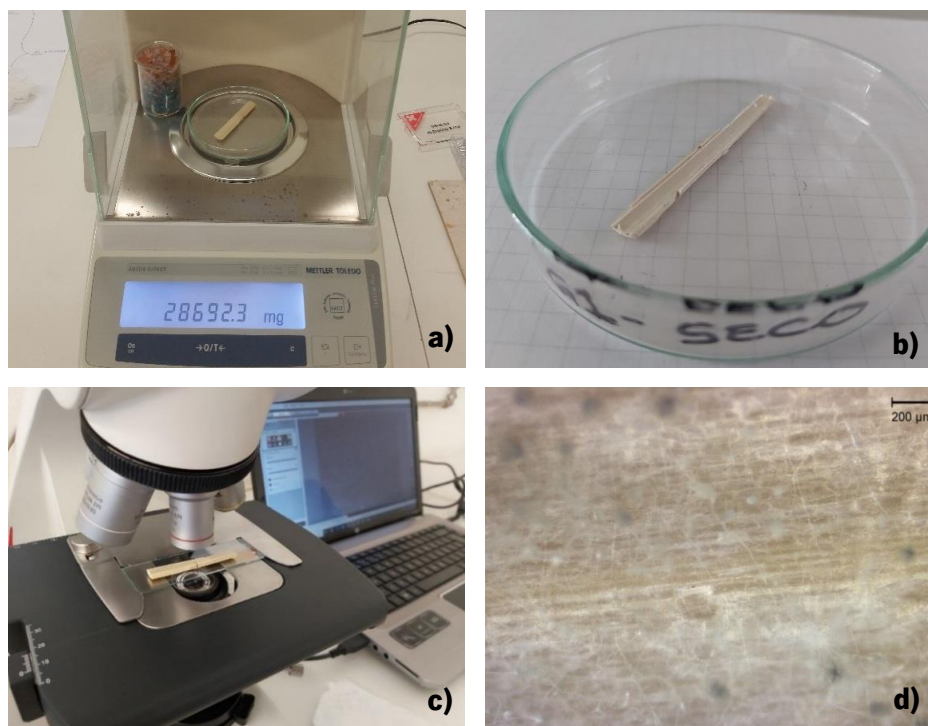


Figura 34 – Procedimento de análise: verificação da massa (a); amostra de cana para análise visual (b); análise microscópica (c); amostra de cana visualizada com a presença de fungos (d).

Para facilitar a avaliação, foi adotada uma marcação centralizada na lateral de cada amostra, feita com grafite para que este não influenciasse nos resultados, visando orientação para uma análise microscópica sempre fixa em um ponto, não desconsiderando analisar outras áreas que possam conter agentes biológicos visíveis.

Para completar a análise, utilizou-se um modelo desenvolvido por Hukka & Viitanen (1999), o *Mould Index*, que visa avaliar o índice de desenvolvimento e crescimento dos fungos em um determinado material através de uma avaliação numérica. Esta avaliação considera uma percepção visual a olho nu, mas, também, no microscópio. Adaptou-se este modelo de avaliação, adequando-o para uma avaliação apenas para visualização a olho nu. A avaliação foi realizada por duas pessoas, de modo a minimizar a margem de erro através da interpretação visual individual (Tabela 5).

Tabela 5 – Índice de fungo e modelo de classificação para crescimento de fungos adaptado

<b>Índice de fungo</b>	<b>Taxa de crescimento</b>
<b>0</b>	Nenhum crescimento detectado na superfície
<b>3</b>	Cobertura de 1% a 10% detectada visualmente
<b>4</b>	Cobertura de 10% a 50% detectado visualmente
<b>5</b>	Cobertura de 50% a 80% detectada visualmente
<b>6</b>	Cobertura de 80% a 100% detectada visualmente

Após a primeira avaliação (referência), as amostras (em placas de Petri) foram inseridas em dois recipientes plásticos dispostos na câmara de teste (Figura 35). Para realização das análises semanais (visual e microscópica), cada amostra foi transportada individualmente dentro de um exsicador de modo a garantir a integridade do material.

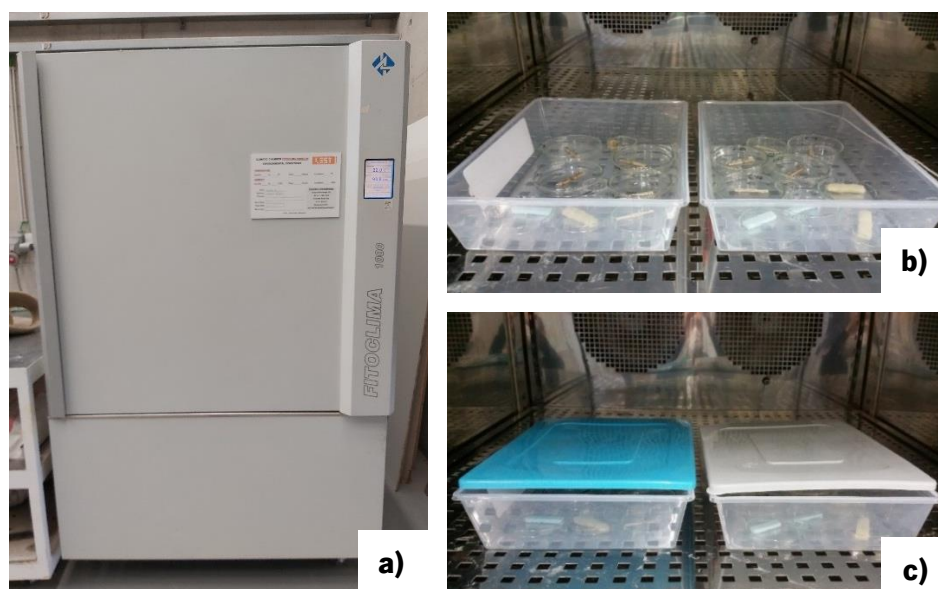


Figura 35 – Câmara Climática no Instituto de Ciência e Inovação para Bio-Sustentabilidade da UMinho (a); amostras de cana, XPS e lâ de rocha em recipientes dentro de câmara climática (b, c).

### 3.4 Painéis de isolamento térmico de cana

Para que fosse possível testar e analisar o potencial térmico da cana para utilização em painéis de isolamento térmico, iniciou-se o estudo de viabilidade para a produção de protótipos de painéis feitos de cana inteira, sem qualquer aglutinante na estrutura.

#### 3.4.1 Concepção dos protótipos de painéis de isolamento térmico

Foram pensados dois modelos de protótipos para ensaio, o modelo tipo caixa e o modelo tipo esteira. Em uma perspectiva inicial, o modelo tipo caixa foi pensado como uma solução para possível produção em escala, em modo industrial. Contraposto a este, o modelo tipo esteira foi pensado de modo a promover um desenvolvimento junto à população local, que mesmo sem especialização técnica no manuseio do material, pudessem produzir painéis de isolamento térmico, com montagem no local ou de modo pré-fabricado.

##### 3.4.1.1 Protótipo tipo caixa

Este modelo de protótipo consiste na utilização de uma caixa de arame que pudesse acomodar as hastes de cana inteira que constituem o painel de isolamento térmico (Figura 36). O modelo proposto possui largura e comprimento de 15 cm, variando apenas a espessura, podendo ser 5 cm, 10 cm ou 15 cm. O arame de aço utilizado é galvanizado com diâmetro de 1,1 mm.

Quando as extremidades de cada pedaço do arame se encontram, é realizada uma amarração com arame recozido, mais maleável, para fixar e firmar o molde. Este modelo se assemelha a base de uma estrutura de *steel frame*, assim, dentro da caixa a cana é disposta em formato livre para que ela se acomode naturalmente, reduzindo os espaços vazios entre as hastes e, conseqüentemente, propondo uma barreira mais eficiente para fluxo de calor.

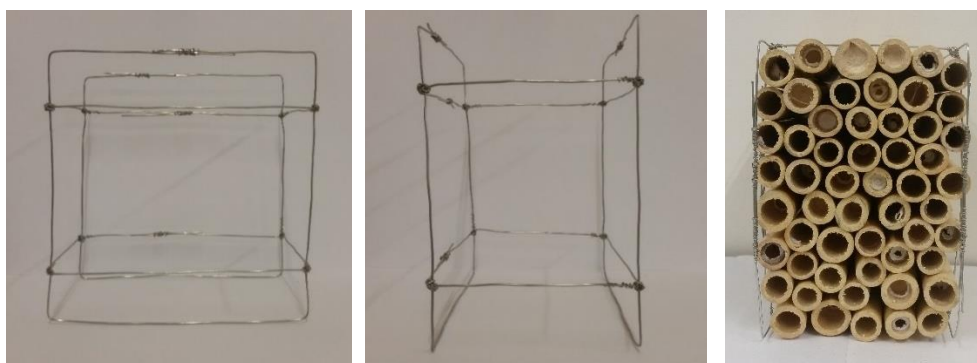


Figura 36 – Estrutura da caixa de 10cm.

### 3.4.1.2 Protótipo tipo esteira

Ao contrário do protótipo tipo caixa, o protótipo tipo esteira pretende acomodar as hastes de cana de maneira organizada. Assim, serão produzidas esteiras que, posteriormente, serão conjugadas entre si para a produção de painéis com diferentes configurações e espessuras.

Para o desenvolvimento deste protótipo, resgatou-se uma técnica antiga, porém tradicional e até hoje utilizada por artesãos, que é a amarração das canas através de um tear. Para esta situação produziu-se uma espécie de mini tear de madeira nas proporções 18 cm x 50 cm x 3 cm (L x C x P), como mostra a Figura 37. Estas proporções tiveram em conta as dimensões das esteiras que, assim como o protótipo tipo caixa, apresenta largura e comprimento de aproximadamente 15 cm, variando apenas a espessura. Para o bom funcionamento do tear, foram dispostos pregos no sentido transversal como suporte para a fibra destinada a entrelaçar e juntar as canas na amarração. Já os pregos no sentido longitudinal são para delimitar o espaço e tamanho do painel, bem como controlar o deslizamento das hastes. Para o entrelaçamento e amarração das canas, optou-se pelo uso do sisal, por ser uma fibra natural e firme.



Figura 37 – Etapas de produção de esteira de cana utilizando um mini tear.

Foram produzidos e analisados modelos de esteiras com canas individuais (cana + sisal + cana), canas duplas (duas canas + sisal + duas canas) e a possibilidade de substituir o sisal pela linha de cânhamo também foi equacionada. O cânhamo não se mostrou firme o suficiente para montagem individual de cada esteira, vindo a ser utilizado posteriormente na união entre as esteiras para formação de painéis com diferentes espessuras.

A cana quando somada a espessura do sisal, adquire um espaçamento entre as canas que pode tornar-se um problema na barreira térmica. Somado a isto, a cana seca naturalmente é um material de



superfície lisa e apresenta, ao longo do seu comprimento, um alargamento dimensional na região do nó que resulta em pequenos vãos quando as canas são encostadas umas às outras. Sua forma assimétrica, dificilmente proporcionará um cilindro 100% perfeito ao longo da haste.

Neste sentido, a escolha de cada haste de cana também foi pensada para que cada esteira obtivesse o melhor encaixe possível, resultando na diminuição dos vazios entre canas. Optou-se, também, pela utilização de uma linha de sisal com diâmetro mais reduzido do que a opção inicial. Além disso, a configuração com canas duplas (duas canas + sisal + duas canas) mostrou-se mais eficiente para redução do vazio entre vãos (Figura 38).

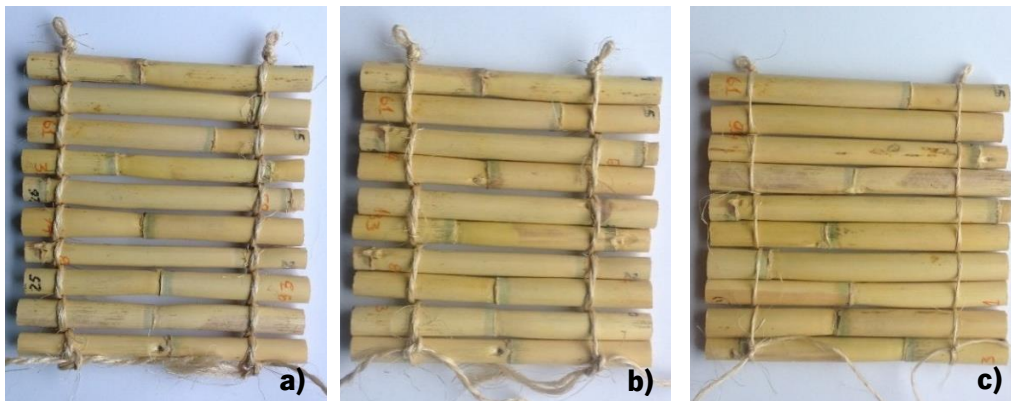


Figura 38 – Evolução da montagem das esteiras: canas entrelaçadas unicamente com linha de sisal (a); amarração a cada duas canas com a linha de sisal (b); amarração realizada a cada duas canas e com a linha de sisal com diâmetro reduzido (c).

### 3.4.2 Produção dos protótipos de painéis de isolamento térmico

Foram produzidos protótipos tipo caixa e tipo esteira considerando hastes de cana de diferentes diâmetros:

- Grupo 1: canas com diâmetro entre 11 mm a 15 mm;
- Grupo 2: canas com diâmetro superior a 15 mm, e;
- Grupo misto: canas dos grupos 1 e 2.

O protótipo tipo caixa, depois da estrutura montada tem as canas inseridas dentro da caixa, manualmente e de modo livre. Conforme são colocadas na caixa, as canas, por si só, vão se acomodando ao espaço e diminuindo os vãos entre elas (Figura 39).



Figura 39 – Painel tipo caixa de 10 cm com hastes de cana inseridas de modo livre.

No caso do protótipo tipo esteira, o painel de isolamento térmico é consequência de sobreposições de esteiras, sendo necessário encaixá-las e firmá-las. As esteiras foram encaixadas de modo que as canas se intercalassem umas às outras, minimizando a formação de vãos entre a esteira inferior e a superior, como mostra a comparação na Figura 40. A montagem se deu de duas em duas esteiras, colocando cada dupla uma sobre a outra, até atingir altura desejada.



Figura 40 – Processo de sobreposição de esteiras a cada duas esteiras: duas esteiras amarradas (a); quatro esteiras formando o painel de 5 cm (b); sobreposição de dez esteiras para formar painel de 15 cm (c).

Os protótipos tipo esteira tiveram as esteiras sobrepostas e amarradas entre si de duas maneiras: paralelas umas às outras (Figura 41(a)), e perpendicular umas às outras (Figura 41 (b)). As esteiras em modelo perpendicular, em sua estrutura intercalando esteiras verticais e horizontais, tendem a diminuir os espaços entre as canas, vislumbrando a possibilidade de uma barreira ainda maior para o fluxo de calor.

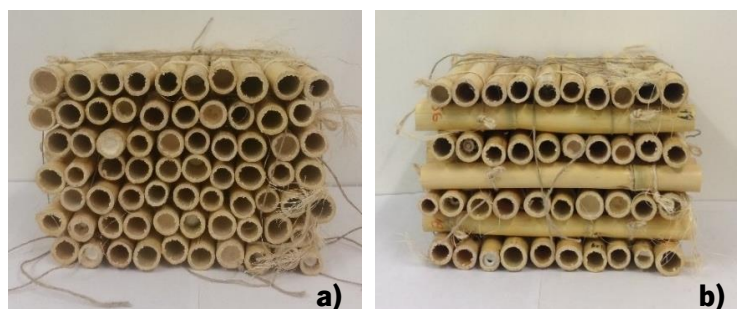


Figura 41 – Painel formado por esteiras no modo paralelo (a) e perpendicular (b).

O tempo de montagem dos protótipos foi registrado, desde a montagem das esteiras até a montagem dos painéis, bem como a montagem da caixa (Tabela 6). A montagem da caixa apresentou um certo desafio quanto a colocação das canas por elas escaparem por entre os vãos. Para resolver esta questão, foi executado uma espécie de encaixe de papel, este protegendo a base e parte da lateral da caixa, impedindo o escape das canas. No momento do ensaio esta base era retirada com cuidado, para que o papel não interferisse em qualquer resultado.

Tabela 6 – Comparação de tempo para execução dos painéis

<b>Modelo do Painel</b>	<b>Tempo total de montagem</b>
Caixa (todas as espessuras ensaiadas)	45 – 60 minutos
Esteira Paralela (10 cm)	104 – 110 minutos
Esteira Perpendicular (10 cm)	110 – 140 minutos

Quanto à espessura, os painéis feitos de esteira, dificilmente ficavam com exatos 5, 10 ou 15 cm, pois a cana é irregular e dentro de cada grupo há mais que um diâmetro, diferente da caixa que é um modelo fixo onde as canas são inseridas. Para obtenção dos resultados, foi utilizado a espessura real de ensaio.

Apesar do aço galvanizado para montagem da caixa, ou do sisal ter sido utilizado para a amarração das canas na execução das esteiras e o cânhamo para a montagem dos painéis, não é possível afirmar se proporcionaram alguma interferência nos índices de condutividade e resistência térmica.

### 3.4.3 Caracterização térmica

Para verificar o potencial e viabilidade da cana como material de isolamento térmico, utilizou-se um método específico conhecido como *hot box*. O ensaio consiste em inserir uma amostra de material entre duas câmaras, um lado de ambiente frio e outro de ambiente quente, provocar um fluxo de calor através de um sistema de aquecimento localizado dentro da câmara quente, controlado e verificado através de sensores de temperatura.

De acordo com a *ISO 9869:2014* (ISO 9869, 2014), o período mínimo de duração do ensaio é 72 horas para um estado estável de temperatura. Caso esta estabilização demore mais tempo para ocorrer, a duração pode se estender a 7 dias ou até mais. Através deste método de ensaio é possível obter o coeficiente de transmissão térmica (U), a resistência térmica (R) e a condutividade térmica ( $\lambda$ ) de um material.

### **a) Hot box**

A câmara utilizada neste ensaio é uma *calibrated hot box*, projetada e construída no Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho. É constituída por duas câmaras de cinco lados, sendo uma câmara fria e uma câmara quente com dimensões de 2,0 m x 1,4 m x 1,6 m, tendo sua estrutura envolvida por material termicamente isolante, neste caso o poliestireno expandido extrudido (XPS), visando a minimização de perda de calor por condução (Teixeira et al., 2020).

O lado frio da câmara utilizada possui duas grelhas para renovação do ar na parede traseira, permitindo que o ar ambiente entre dentro da câmara e o ar quente de saia, estabilizando a temperatura no interior. Na câmara quente, um sistema de aquecimento é ligado a um controlador de temperatura, de modo a manter a câmara aquecida a temperatura constante durante todo o ensaio.

### **b) Equipamentos**

- Aquecedor: um aquecedor foi utilizado para gerar e distribuir energia em forma de calor dentro da câmara quente. Este é ligado a um controlador de temperatura, que por sua vez, é conectado a um sensor de temperatura. Assim, quando a câmara quente atingir temperatura determinada, o controlador automaticamente desativa o modo de aquecimento e mantém a ventilação do aquecedor, distribuindo o calor no ambiente de modo uniforme. Quando a temperatura atinge o mínimo determinado para o ensaio, o controlador volta a ativar o sistema de aquecimento, gerando assim um novo fluxo de calor dentro da câmara (Figura 42 (a)).
- Sensor de fluxo de calor: foi utilizada uma placa de fluxo de calor da HUSKSEFLUX HFPO1SC, este é um sensor que mede o fluxo de calor ( $W/m^2$ ) que atravessa um material, ou seja, a energia em forma de calor emergente da câmara quente ao atingir a superfície do material, atravessando sua massa e possibilitando a sua medição. Possuindo 5,6 mm de espessura e estrutura de cerâmica plástica é termicamente fino e sua baixa resistência térmica possibilita pouca interferência no fluxo de calor, além possui proteção passiva ao redor do sensor evitando possíveis erros. Este é fixado com o auxílio de creme dental que funciona de regulador a fim de melhorar o processo térmico por ser um material condutor de calor (ASTM 1046-95, 2001), envolvendo toda a superfície que estará em contato com o elemento a ser ensaio (Figura 42 (b)).
- Termopar: 4 termopares do tipo K foram utilizados, três na câmara fria e três na câmara quente. Estes sensores são responsáveis por aferir a temperaturas superficiais e ambientes (Figura 42 (c)).

- Software: Foram utilizados dois sistemas de coleta e armazenamento de dados, o software PC200W 4.0 Datalogger Support Software – CR10X, responsável por coletar e armazenar os dados transmitidos através de dois termopares, localizados no teto das câmaras para medir a temperatura ambiente, e dos sensores de fluxo de calor. O outro, é o equipamento/software PICOLOG, responsável por coletar e armazenar os dados de outros 2 termopares, que mediram as temperaturas na superfície do elemento de ensaio, em ambas as câmaras. Os dois sistemas utilizados foram programados para trabalhar em modo contínuo e registrar os dados a cada intervalo de 5 minutos (Figura 42 (d)).

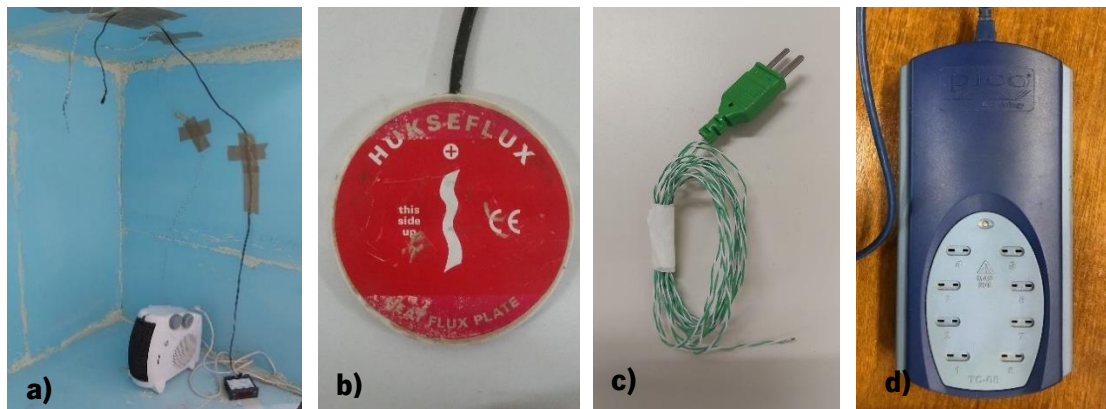


Figura 42 – Equipamentos utilizados: sistema de aquecimento junto ao controlador de temperatura (a); sensor de fluxo de calor (b); termopar tipo K (c); PICOLOG (d).

### c) Procedimento de ensaio

Na estrutura de XPS responsável por realizar a divisão entre as duas câmaras, correspondente a uma espessura de 20 cm, realizou-se a abertura de um vão de aproximadamente 16 cm x 16 cm, tamanho definido proporcionalmente para o encaixe dos painéis produzidos para este ensaio.

Para correta utilização, o sensor de fluxo de calor precisa ser instalado em uma superfície plana para melhor aferir os dados de fluxo de calor que incidem no material. Visto que a cana é um material cilíndrico, optou-se por utilizar painéis de *Medium density fiberboard* (MDF) para proporcionar uma superfície plana (Figura 43 (a)). Uma placa de MDF foi fixada no lado da câmara fria, onde foi instalado o sensor de fluxo de calor e um termopar (Figura 43 (b)).

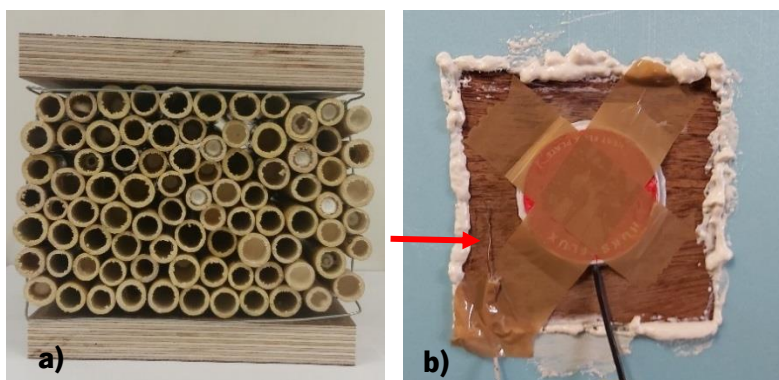


Figura 43 – Representação do painel entre as placas de MDF (a); instalação do termopar e sensor de fluxo de calor (b).

O vão de inserção do painel, era um pouco maior para facilitar o encaixe, então a vedação foi feita com XPS (mesmo material da *hot box*) ao longo da espessura de cada painel (Figura 44 (a)). Também, de modo a garantir a homogeneidade das temperaturas e do ensaio, com o auxílio de uma câmera termográfica ThermoCAM™ T400, foi possível confirmar a inexistência pontes térmicas, fugas de calor no lado quente e o completo isolamento térmico do XPS na estrutura da *hot box*, garantindo um correto funcionamento dos ensaios, também sendo possível observar umas das grelhas de fluxo de ar (Figura 44(b)).

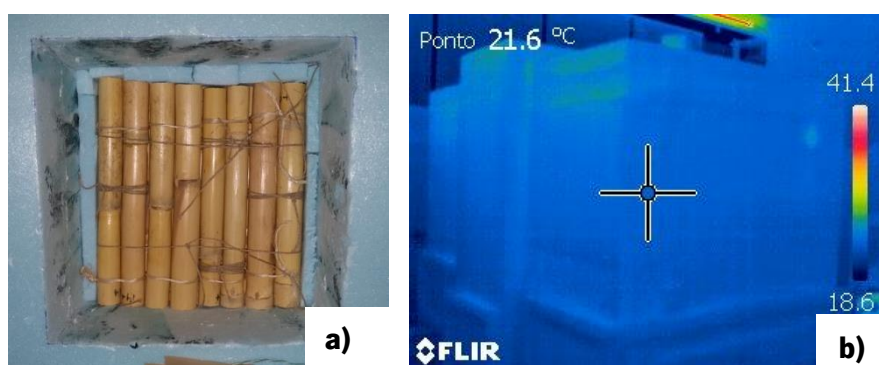


Figura 44 – Vedação envolta do painel (a); registro termográfico do ensaio (b).

Um segundo painel de MDF (móvel) é posicionado na câmara quente após encaixado o painel de cana e é isolando com silicone nas extremidades, de modo a garantir a homogeneidade do ensaio. Assim, quando coletado os dados, é desconsiderado o valor de resistência térmica dos dois painéis MDF, que foram ensaiados antes dos painéis (Figura 45 (a)). Para finalizar, um termopar é fixado na superfície do MDF no lado quente (em posição semelhante ao lado frio).

As câmaras da *hot box* são fechadas de modo a não permitir fugas de calor, e inicia-se um processo de estabilização para que as temperaturas se mantenham em equilíbrio constante entre as duas câmaras, com um diferencial mínimo de temperatura de 5°C entre elas, não tendo um limite de tempo estipulado.

Esta estabilização leva em consideração alguns fatores, como a temperatura externa e a temperatura do laboratório em que está instalada a *hot box*, além da qualidade e o bom funcionamento dos equipamentos selecionados. Os ensaios iniciaram no período do verão, com elevadas temperaturas ambientes, devido a quantidade de variáveis a serem ensaiadas, precisou novamente se ter atenção quanto a estabilização para o inverno, de modo a garantir a estabilidade dos ensaios.

A Figura 45 (b), indica a posição de instalação dos equipamentos para o procedimento de ensaio em ambas as câmaras (fria e quente).

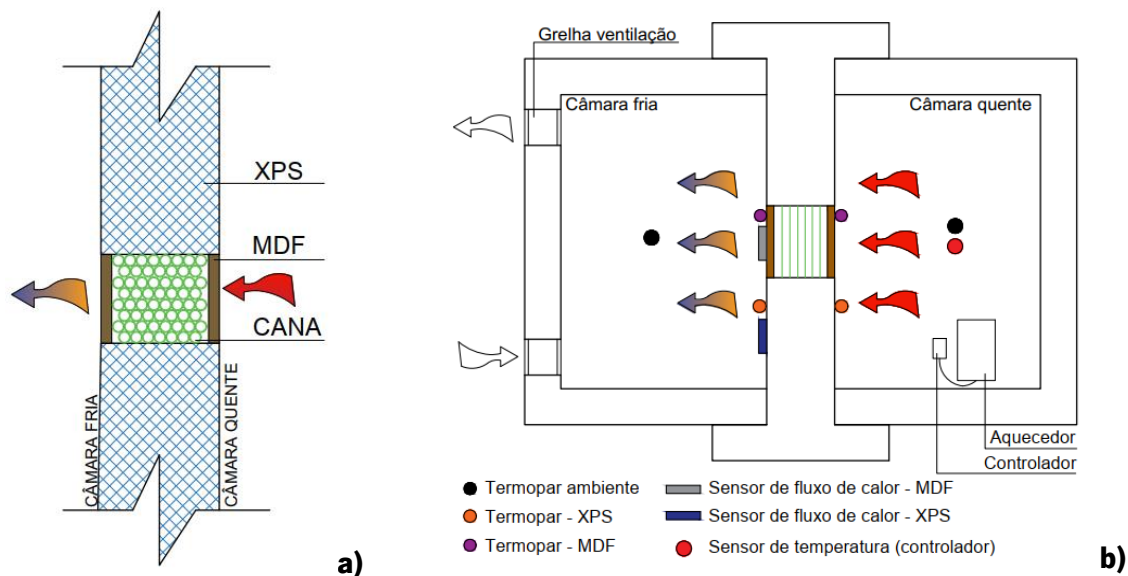


Figura 45 – Planta baixa esquemática da *hot box* com a instalação dos equipamentos (sem escala) (a); corte esquemático indicando a posição do painel em ensaio (sem escala) (b).

#### d) Variáveis a ensaiar

Os ensaios foram organizados para soluções variadas de painéis, onde, tanto no protótipo tipo caixa como no protótipo tipo esteira, os painéis foram dispostos de modo paralelo, ou seja, ensaiados tanto na vertical como na horizontal. O modelo esteira também foi ensaiado com esteiras dispostas perpendicularmente umas às outras. O fluxograma da Figura 46 apresenta as combinações entre as variáveis estudadas, onde para cada modelo (caixa e esteira) e grupo (grupo 1(G1), grupo 2 (G2) e misto (G1+G2)), foi proposto ensaiar as três espessuras anteriormente definidas (5, 10 e 15 cm).

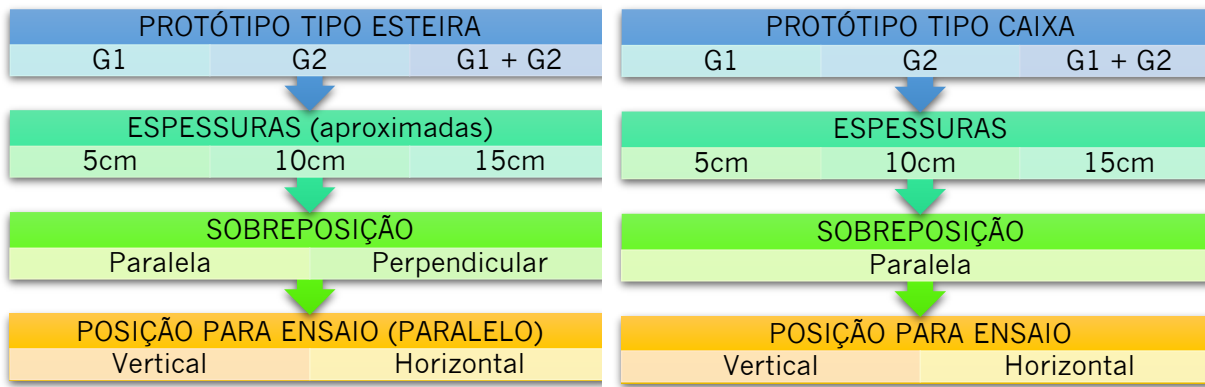


Figura 46 – Combinação entre as variáveis estudadas no ensio térmico.

### e) Metodologia de cálculo

Com os fluxos de calor e as temperaturas superficiais obtidas através do ensaio da *hot box* foi possível determinar o desempenho térmico dos materiais em estudo.

A resistência térmica do conjunto MDF + painel de cana + MDF (Reconjunto), a partir da Equação 8 (ISO 9869, 2014).

$$Re_{conjunto} [m^2 \cdot ^\circ C/W] = \sum \frac{\Delta T}{q} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

- $\Delta T$  [ $^\circ C$ ] – diferença de temperatura num ponto entre o exterior e o interior;
- $q$  [ $W/m^2$ ] – o fluxo de calor que atravessa do material.

Para a determinação da  $Re$  do protótipo de painel de cana é necessário subtrair a  $Re$  dos dois painéis de MDF (determinadas durante ensaio na *hot box*) utilizados como suporte para fixação do sensor de fluxo de calor e dos termopares. Esta subtração foi feita de acordo com a Equação 9.

$$Re_{cana} = Re_{conjunto} - (2 * Re_{MDF}) \quad \text{Equação 9}$$

O coeficiente de transmissão de calor da cana ( $U_{cana}$ ) foi obtido a partir do resultado da  $Re_{cana}$ , de acordo com a Equação 10.

$$U_{cana} [W/m^2 \cdot ^\circ C] = \frac{1}{Re_{cana}} \quad \text{Equação 10}$$

De posse do  $Re_{cana}$ , também foi possível calcular a condutividade térmica ( $\lambda$ ) do protótipo de painel de cana a partir da Equação 11.

$$\lambda_{cana} [W/m \cdot ^\circ C] = \frac{e}{Re_{cana}} \quad \text{Equação 11}$$



Onde:

- $e$  – Espessura do painel de cana.

Todos os ensaios obedeceram aos critérios de convergência estipulados pela ASTM C1155, onde:  $CR_n$  deve ser menor que 0,10 e a variância do valor da resistência deve estar abaixo de 10% (ASTM C1155 - 95, 2013).

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Caracterização física da cana

Os valores médios obtidos com base na caracterização geométrica de cada haste de cana é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios da caracterização geométrica das canas em estudo.

<b>Caracterização geométrica da cana</b>				
<b>34 Canas</b>	Espessura (mm)	Diâmetro – centro (mm)	Diâmetro – base (mm)	Comprimento (m)
<b>Média</b>	3,84	13,20	18,19	2,18
<b>Desvio Padrão</b>	1,35	1,57	2,97	0,50

Durante a execução dos ensaios algumas situações chamaram a atenção. A cana quando está seca, tem sua superfície perceptivelmente lisa, quando colocada na estufa, libera uma espécie de óleo como pode ser notado no adesivo de identificação da cana (Figura 47). Esta espécie de óleo, passou a dificultar as medições, pois tornou a superfície ainda mais instável, dificultando o correto posicionamento do paquímetro utilizado para determinação das dimensões.



Figura 47 – Óleo no adesivo de identificação e alteração de cor.

Este óleo vem da composição da estrutura celular da cana, que quando aquecida exala o líquido. Através do método da pirólise, a fim de extrair o bio-óleo da *Arundo donax* L., obtêm-se a sua composição química, que registra uma média de 22% de lignina, considerada semelhante ao bambu entre 21 à 32% e inferior a madeira entre 24 à 34%, além de 42% de  $\alpha$ -celulose, 27% de hemicelulose, 2,39% de cinzas; o bio-óleo especificamente, apresentou 65,28% de carbono, 26,48% de oxigênio e 7,37% de hidrogênio e 0,87% de nitrogênio, ácidos, cetonas, furanos, benzenos, fenóis, açúcares, guaiacóis e syringols (Temiz et al., 2013).

Canas colhidas no Aveiro, passaram por uma análise química do nó e entrenó, em três frações diferentes do caule (base, centro e topo). Os resultados apontam que o teor de lignina, são maiores na base diminuindo gradualmente até o topo, sendo 22% à 16,4% no entrenó e 20,1% à 15,8% no nó, apontando para uma menor fonte de lignina no nó, já a folhagem apresenta 16,8% de lignina (Neto et al., 1997). Valores corroborados por Seca et al.(2000).

#### 4.1.1 Teor de humidade

Antes da determinação do teor de humidade, a cana em estudo passou por um período de secagem natural de aproximadamente um ano. Por isso, a humidade determinada aqui, é o teor de humidade da cana após secagem natural. É, normalmente, neste estado em que a cana é utilizada quando se fala em construção civil. A Figura 48 mostra a variação de massa das amostras estudadas, durante o período de ensaio.

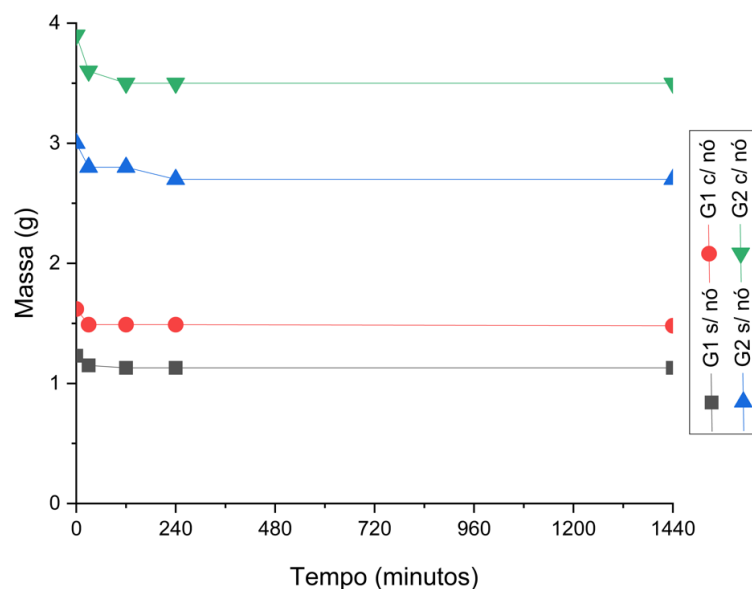


Figura 48 – Variação de massa (g) pelo período de 24 horas.

Quando analisado o comportamento da massa x tempo apresentado na Figura 48, observa-se que nos primeiros 30 minutos de ensaio, há uma redução de massa significativa em todos os grupos estudados, independentemente da presença de nó. Durante o ensaio, considerou-se que a massa constante da amostra foi atingida quando durante o intervalo de duas pesagens consecutivas, a variação não se apresentou maior que 0,5%. Todas amostras do grupo 1 (G1) atingiram a massa constante em 240 minutos de ensaio, do grupo 2 (G2) apenas três amostras sem nó ainda não haviam atingido a massa constante no mesmo período de tempo. No bambu, por meio de evaporação, quando em posição vertical, tem seu teor de humidade no colmo reduzido debaixo para cima, quando é disposta a secagem

horizontalmente a redução é de camada externa para a interna (Anokye et al., 2014; Vetter et al., 2015). No caso das canas, a secagem em estufa foi feita com as amostras na posição horizontal. Considerando o funcionamento de secagem semelhante ao bambu, a camada externa é mais rígida, podendo influenciar na secagem conforme espessura da parede ou da própria camada externa. De qualquer forma, ambos os grupos seguiram em estufa pelo período de 24 horas a contar do início do ensaio.

A média da variação de massa (%) foi semelhante entre as amostras de ambos os grupos, onde nota-se que as amostras com nó apresentaram maior variação de massa, com um valor pouco mais acentuado para o G2. A Tabela 8, apresenta a variação de massa e o teor de humidade calculados após o final do ensaio.

Tabela 8 – Variação de massa e teor de humidade por grupo

	<b>G1 s/ nó</b>	<b>DP*</b>	<b>G1 c/ nó</b>	<b>DP</b>	<b>G2 s/ nó</b>	<b>DP</b>	<b>G2 c/ nó</b>	<b>DP</b>
<b>Varição Massa (%)</b>	8,62	0,06	8,65	0,19	8,53	0,24	11,96	0,34
<b>Teor Humidade (%)</b>	9,43	0,24	9,46	0,17	9,34	0,30	10,18	0,17

DP\*: desvio padrão.

Quanto ao teor de humidade, observa-se uma pequena variação entre os grupos e entre canas com nó e sem nó. As amostras com nó possuem pouco mais de humidade que as amostras sem nó, levando a considerar que o nó não causa mudança significativa no processo de secagem, porém evidencia uma maior concentração de líquido na região do nó responsável por maior por maior humidade e variação de massa.

A Figura 49 apresenta um comparativo entre a média dos teores de humidade das amostras de *Arundo donax* L. ensaiadas (G1 e G2), com outros materiais naturais, como a madeira, o bambu, a cana *Phragmites australis* e a própria *Arundo donax* L. de outra localidade.

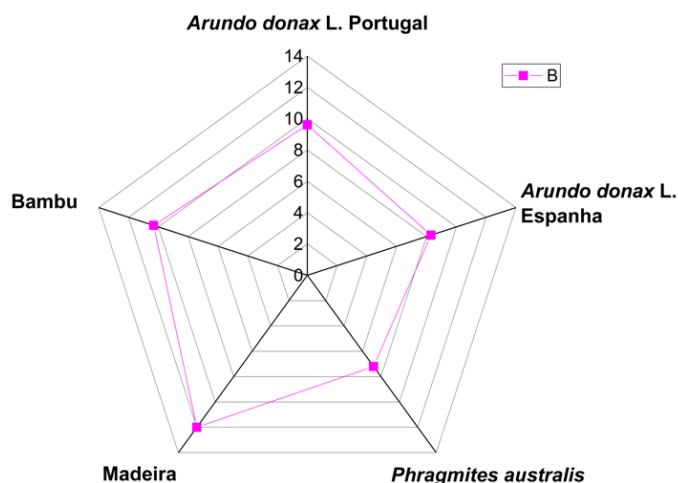


Figura 49 – Teor de humidade de outros materiais naturais comparados a *Arundo donax* L.

Em um plano geral, os teores de humidade apresentados na Figura 49 são semelhantes. Para a madeira, por exemplo, 12%, considerado o valor de referência (NP 614, 1973). Wakchaure & Kute (2012), para um mesmo período de secagem de um ano, determinou o teor de humidade para uma espécie de bambu da Índia, entre 9,98% e 10,31%. A *Phragmites australis*, colhida em solo chinês apresentou 8,3%, já em solo italiano apresentou 7,2% (Patuzzi et al., 2013). A *Arundo donax* L. estudada por Ortuño (2003) em Espanha, apresentou um teor de humidade de 8,63%, já para Lord (2003), o teor de humidade ficou entre 7 e 10% para a mesma espécie colhida nos Estados Unidos, notando-se já um teor de humidade menor na cana dos EUA.

Como já foi dito, os valores apresentados acima dizem respeito a cana seca naturalmente. Uma nova colheita foi realizada no inverno e, neste caso, foi determinado o teor de humidade da cana verde, ou seja, a cana foi ensaiada logo após a colheita (aproximadamente duas horas depois). O resultado alcançado foi de 64%. No caso do bambu, Wakchaure & Kute (2012) apontam para uma média de valores entre 60 à 75%. Tanto para a cana quanto para o bambu, se tratando de uma análise mais pormenorizada, deve-se levar em consideração aspectos como espécie, idade, estação de colheita e localização geográfica.

#### 4.1.2 Variação dimensional

Visto que a cana já foi seca naturalmente durante um ano, é analisada a variação dimensional com base no teor residual de humidade na cana. A Tabela 9 apresenta os resultados alcançados. Os valores apresentados são as médias entre as verificações nas duas extremidades das amostras.

Tabela 9 – Variação dimensional das variáveis ensaiadas por grupo

Amostras	Diâmetro (%)	DP	Espessura (%)	DP	Comprimento (%)	DP
G1 s/ nó	1,53	0,47	7,35	2,80	0,31	0,10
G1 c/ nó	1,33	0,24	3,07	2,87	0,27	0,08
G2 s/ nó	0,77	0,16	0,94	0,38	0,06	0,02
G2 c/ nó	1,04	0,12	1,17	0,33	0,11	0,01

Comparando os valores entre os grupos, o G1 obteve uma variação dimensional média mais expressiva na espessura das amostras sem nó, sendo 7,35% contra 0,94% do G2, também se sobressaindo no diâmetro e comprimento. Contrário ao G1, as amostras com a presença de nó do G2 obtiveram uma média de variação maior que amostras sem nó, mostrando não existir aqui, uma tendência de alteração dimensional quanto as variáveis por grupo.

Verifica-se assim que, para o caso estudado, a perda de massa não está diretamente relacionada a uma maior variação dimensional, afinal a maior variação de massa foi no G2 com nó (11,96%), e no geral a maior variação dimensional foi no G1 sem nó (8,62%). Nas Figura 51 e Figura 51, é possível analisar a média das variações (mm) através dos gráficos, onde fica visível a expressiva diminuição das dimensões do G1.

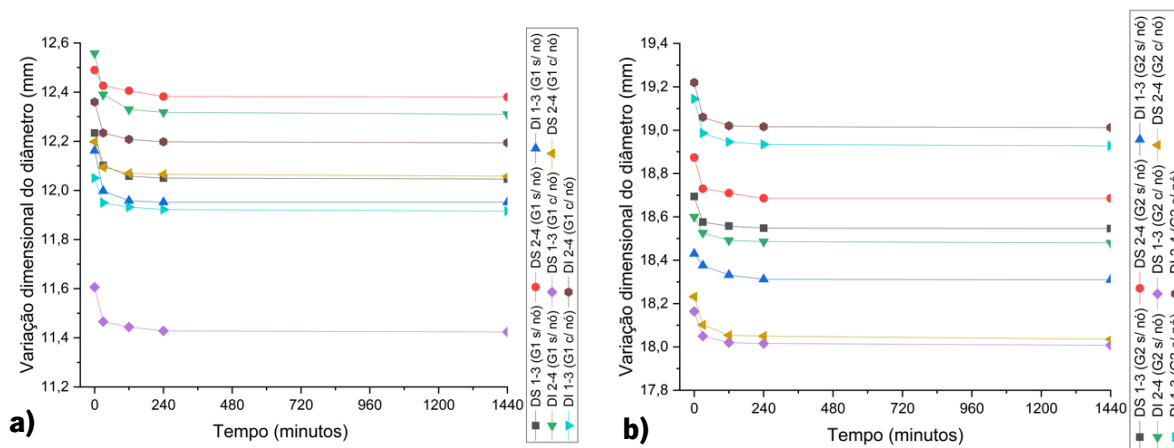


Figura 50 - Médias da variação dimensional no diâmetro da cana. Diâmetro superior e inferior da amostra G1(a); diâmetro superior e inferior da amostra G2(b);

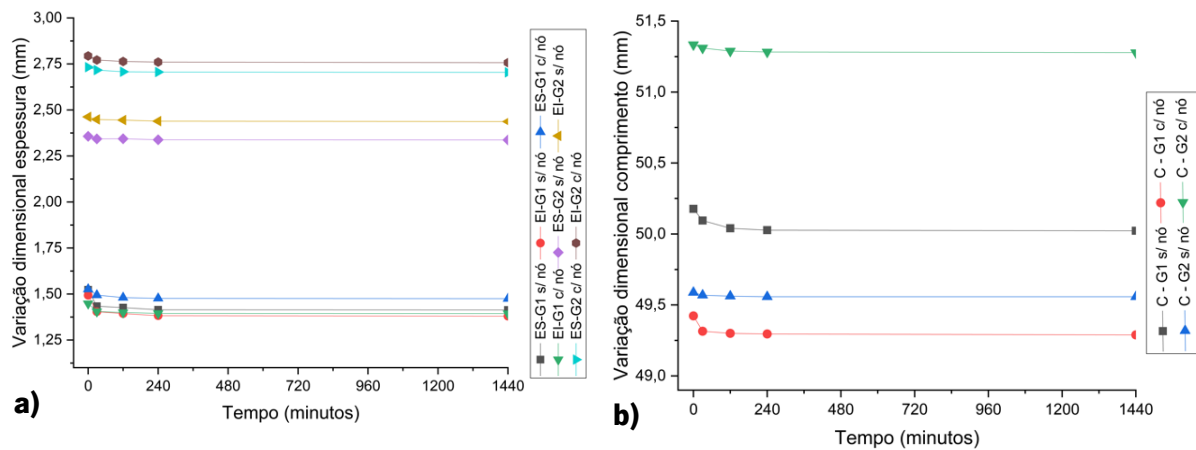


Figura 51 – Média da variação dimensional da espessura superior e inferior G1 e G2(a); variação dimensional do comprimento G1 e G2(b).

### 4.1.3 Massa volúmica

Todas as canas sem nó de ambos os grupos atingiram massa constante aos 240 minutos de ensaio para obtenção do teor de humidade. Contudo, foram realizadas mais duas pesagens após as 24 horas de ensaio, em conformidade com BSI ISO 22157:2019 (2019).

O processo de secagem do ensaio anterior (4.1.1), para um mesmo período de 240 minutos, algumas canas ainda não haviam atingido a massa constante. Wakchaure & Kute (2012), menciona que para o caso do bambu, os ensaios, tanto físicos como mecânicos, dependem da fração da haste a ser usada, ou seja, se o material utilizado para ensaio for mais próximo a base inferior da haste, ela possivelmente terá um comportamento diferente da amostra retirada do meio ou topo da haste. No ensaio realizado por ele, dividindo o bambu em frações (inferior, meio e topo), a base inferior apresentou teor em água maior que as demais frações, em três diferentes períodos de tempo.

Comparando o processo de secagem destes dois ensaios, e analisando a espessura das amostras, acredita-se que a cana pode funcionar como o bambu nesta situação, pois as espessuras variam ao longo de todo o comprimento da haste devido sua heterogeneidade, podendo influenciar no resultado do ensaio.

A Tabela 10 apresenta a média da massa volúmica para determinado teor de humidade das amostras para um período de ensaio de 1440 minutos (24 horas). Não foi realizada análise dimensional posterior a 1440 minutos de ensaio, apenas realizou-se a verificação de massa constante e definição do teor de humidade neste período posterior.

Tabela 10 – Massa volúmica (g/cm<sup>3</sup>) da *Arundo donax* L.

<b>Grupo</b>	<b>Massa Volúmica amostra seco ao ar (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>DP</b>	<b>Massa Volúmica amostra seco em estufa (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>DP</b>	<b>Teor de humidade (%)</b>	<b>DP</b>
G1	0,524	0,063	0,505	0,059	9,99	0,31
G2	0,476	0,012	0,448	0,011	10,15	0,26
<b>Média total</b>	0,500	0,050	0,476	0,050	10,07	0,28

Tanto para as canas secas ao ar (um ano), como para a seca em estufa, nota-se que as amostras do G1 possuem uma massa volúmica maior que o G2, para um H% de 9,99% e 10,15%, respectivamente. O teor de humidade das amostras utilizadas neste ensaio, são muito semelhantes às do ensaio anterior. As amostras do G1 registram o menor diâmetro e espessura para qualquer situação de secagem, justificando os resultados acima. A causa disto é a massa volúmica dos feixes vasculares, que são maiores em pequenos diâmetros e menores em maiores diâmetros (Shtein et al., 2021). No Anexo II (Tabela 22), pode ser analisado as médias das dimensões das amostras por grupo para os dois procedimentos de secagem durante ensaio

Esta variação na massa volúmica da cana, está ligada ao seu colmo, podendo variar da base ao topo da cana (Couvreur & Remón, 2019), assim como o bambu, onde a massa volúmica é maior no topo do colmo do que na sua base, pois a espessura diminui ao longo do colmo, porém sem reduzir a quantidade de fibras (Vetter et al., 2015). Outra questão levantada para ambos os materiais naturais e que pode interferir na massa volúmica é a idade, quanto mais maduro o colmo, mais denso este será (Couvreur & Remón, 2019; Vetter et al., 2015). As ramificações secundárias encontradas nas hastes utilizadas (Figura 15 (c)), indiciam que estas canas podem ter 2 anos ou mais.

Molari et al. (2020) ensaiou amostras de 20 mm de *Arundo donax* L., sem nó e com diâmetro médio de 21,77 mm, obteve uma massa volúmica média de 0,577 g/cm<sup>3</sup> para 8,89% de teor de humidade. Já Ortuño (2003), aponta que a *Arundo donax* L. (seca ao ar) contém uma massa volúmica média de 0,583 g/cm<sup>3</sup> para um teor de humidade de 8,63%, e massa volúmica anidra média de 0,537 g/cm<sup>3</sup>. Destacando aqui, a tendência da influência da humidade do material, onde quanto menor o teor de humidade maior será a massa volúmica da amostra da amostra.

Para uma determinada espécie de bambu, encontrado em Portugal, a massa volúmica média foi de 0,600 g/cm<sup>3</sup> e 10,94% teor de humidade, as amostras sem nó (25 x 25 mm) foram obtidas a partir da



divisão do bambu (base, meio e topo), resultando em massas volúmicas menores na base e maiores no topo (Freitas, 2019). Beraldo et al. (1996) acrescentam que a massa volúmica média do bambu varia conforme espécie. O mesmo ocorre para as diferentes espécies de madeira, quanto a madeira utilizada na construção, os valores obtidos para a massa volúmica do pinho manso (Dias, 2017), são próximas as da cana portuguesa e também de outros locais das UE.

Todas estas investigações, possuem resultados aproximados aos obtidos neste estudo, corroborando que a seção do colmo impacta na massa volúmica, pois as canas do G1 deste estudo, foram obtidas entre o meio e o topo das hastes, e o G2 do meio para a seção da base (corte na colheita), confirmando a tendência apresentada pelos autores.

#### 4.1.4 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água foi aqui realizado com um caráter exploratório. Não é usual a utilização deste ensaio para materiais naturais e, por isso, a comparação dos resultados aqui alcançados com os possíveis resultados apresentados por outras pesquisas foi inviabilizada. A realização deste ensaio buscou conhecer um pouco mais sobre o comportamento da absorção de água na cana, ponto considerado importante por se estar a estudar um material higroscópico.

Uma vez que, devido à morfologia da cana, algumas alterações foram implementadas ao procedimento do ensaio de absorção capilar descrito pela especificação LNEC E-393, considera-se importante registrar algumas observações realizadas durante o procedimento de ensaio.

Duas amostras de cada grupo foram ensaiadas dentro de um recipiente fechado, apenas para comparação entre procedimentos de ensaio, apresentaram visível saturação no topo. Quando cortada longitudinalmente, nota-se ao tocar, a humidade no interior da cana, mas o que mais chama a atenção, são os sinais de presença de fungo no diafragma nodal, onde pequenos pontos escuros tomaram conta da superfície (Figura 52). Confirmando que a melhor configuração para este ensaio, é de fato em um recipiente aberto com circulação de ar e em ambiente com temperatura controlada. Materiais de construção orgânicos, tendem a ser sensíveis ao aparecimento de fungos e bolores quando expostos a elevada humidade ou situação de dano de água (Viitanen & Salonvaara, 2010).



Figura 52 – Efeitos de ensaio em recipiente fechado. Saturação de água no topo da cana (a); fungos no nó (b); altura capilar na parede celular da cana (c).

As amostras que contribuíram, efetivamente, para os resultados aqui apresentados, foram ensaiadas com o recipiente aberto. Durante a finalização do ensaio, notou-se que uma espécie de bolha se formava na parte oca de algumas canas. Esta formação está, possivelmente, relacionada com a mistura entre a água e o óleo da cana. Além disso, quando retirado o silicone, observou-se uma coloração mais escura nesta parte da cana (Figura 53 (a; b; c)), provocada pelo contato com a água. Ao toque, confirma-se uma maior concentração de água naquela região, pois, o silicone cria uma barreira estanque, dificultando a evaporação da água, diferente da área acima do silicone, que apesar de constar visível umidade excessiva em algumas amostras, visualmente apresenta uma coloração mais natural da cana. Outra observação é a facilidade de corte, pois a cana perde alguma rigidez na região úmida e, ao passar a serra, nota-se que a parede fica em “fiapos” destruindo o sentido longitudinal das fibras, diferente de quando seca, que o corte é mais liso e uniforme (Figura 53 (d)). Por fim, como esperado, o silicone é facilmente retirado em regiões com mais umidade.

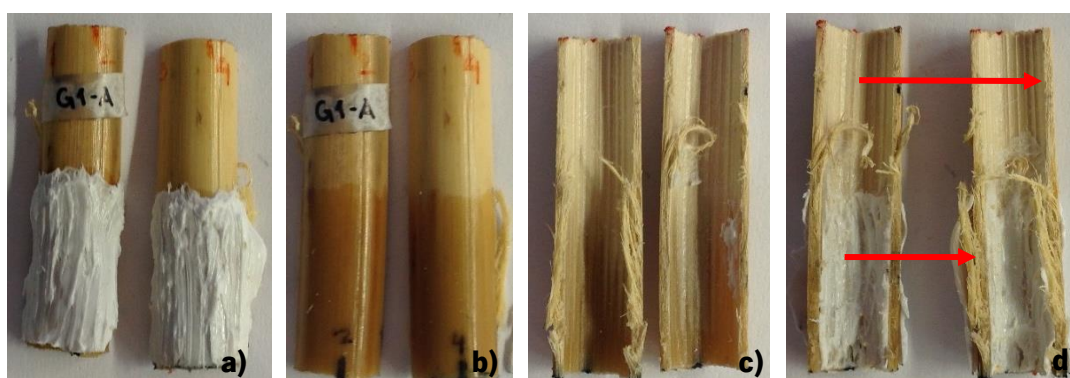


Figura 53 – Análise visual pós ensaio de absorção capilar. Cana com silicone partida ao meio (a); silicone interno com identificação das regiões de corte com parede mais seca e parede mais úmida (b); superfície externa com aparência saturada na região do silicone (c), superfície interna úmida na região do silicone (d).

No betão, a absorção capilar de água está associada à conectividade dos poros contidos em sua estrutura (Gao et al., 2018). Nas plantas monocotiledôneas, como é o caso da cana, seus feixes são vasculares, que trabalham como condutores de água e nutrição (Rüggeberg et al., 2010). A *Arundo donax* L. ao longo do seu colmo (longitudinal) é composta por tecido vegetal que possui células tubulares

(Ortuño, 2003), transversalmente possui um conjunto de feixes vasculares que é composto por xilema e floema, sendo rodeado por um anel de fibras (Shtein et al., 2021) (Figura 54(a)), esses feixes ocupam aproximadamente 24% da seção transversal da haste (Perdue, 1958). Tanto os feixes como o parênquima aumentam de tamanho em direção a medula oca (Figura 54(b)), onde quanto maior o diâmetro e espessura da cana, maior é a quantidade de feixes vasculares por seção transversal (Shtein et al., 2021). Assim, a absorção de água pelas hastes de cana é realizada por toda estrutura morfológica capilar, que sofre influência do diâmetro, espessura da parede e comprimento das hastes.

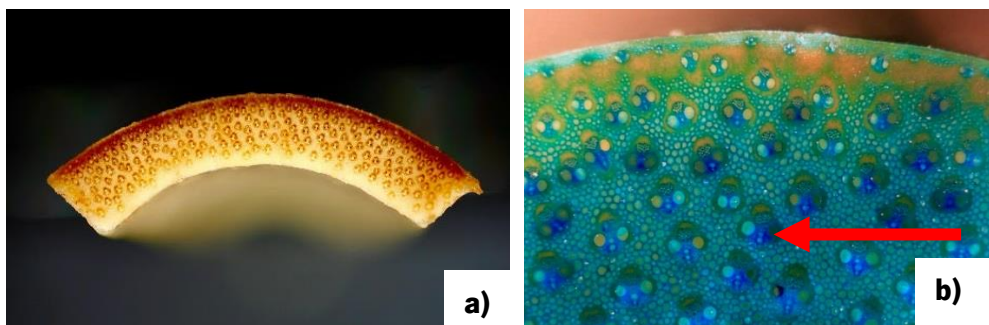


Figura 54 – Visualização microscópica da parede da *Arundo donax* L (a); localização do feixe vascular em seção transversal da cana e aumento do tamanho de fora para dentro (b). Fonte: foto de Jean-Marie Heinrich (Couvreur & Remón, 2019).

A Figura 55 apresenta as curvas que representam a cinética de absorção capilar obtidas no ensaio de absorção de água por capilaridade realizado para as canas em estudo. A variação de massa durante o ensaio é apresentada na Figura 56.

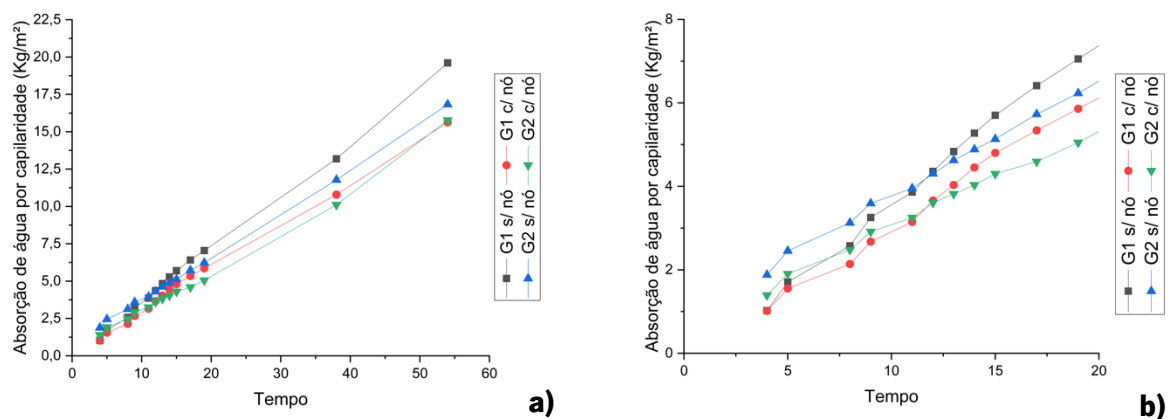


Figura 55 – Absorção de água por capilaridade durante 48 horas (a); absorção capilar com 360 minutos de ensaio (b).

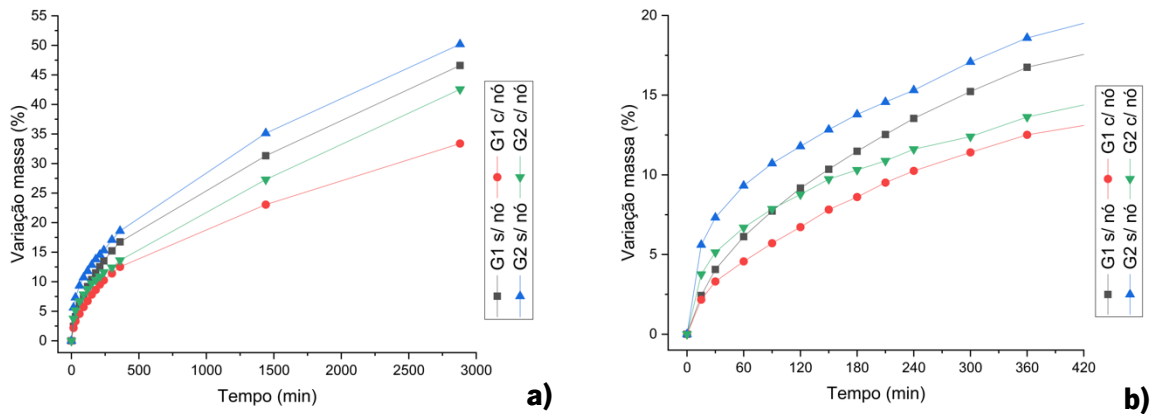


Figura 56 – Variação de massa em relação ao tempo por 48 horas (a); e nos primeiro 360 minutos de ensaio (b).

Analisando as Figura 55 e Figura 56, observa-se que as amostras com nó, independentemente do diâmetro, apresentaram uma menor absorção de água por capilaridade e menor variação de massa dentro de seus grupos. Este comportamento pode estar relacionado com a própria estrutura dos feixes vasculares na região do nó. Para o bambu, por exemplo, na região que compreende o nó, os feixes vasculares que correm paralelos no entrenó (sentido longitudinal), passam por uma interconexão transversal na região nodal, e conectam-se com outras componentes da estrutura interior do colmo, como a estrutura do diafragma nodal, por meio de ramificações dos vasos do tecido celular (Beraldo et al., 1996; Rusch et al., 2018). Essa semelhança pode ser observada na cana (Figura 57(a)) que segmentada como o bambu, também possui o diafragma nodal na região do nó, onde a parede aumenta, bem como a saída para ramificações secundárias externas (Figura 57(b)), podendo causar um comportamento diferente quanto absorção de água nesta região da haste.

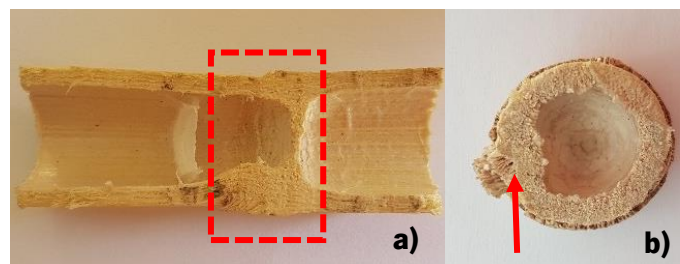


Figura 57 – Região do nó em corte longitudinal (a); nó em corte transversal (b).

Visivelmente o G1 sem nó possui um transporte capilar maior e mais rápido que o G2 sem nó, sendo importante analisar aqui as características geométricas de ambas as amostras. O G1 iniciou o ensaio com uma média de diâmetro de 12,17 mm e 1,39 mm de espessura, já o G2 com 18,54 mm de diâmetro e 2,39 mm de espessura. Claramente, um diâmetro ou espessura maior da haste, não é padrão lógico para determinar níveis de absorção de água por capilaridade para este tipo de material.

Apesar de um diâmetro maior ser caracterizado como um melhor condutor hidráulico, aqui nota-se que talvez o tamanho dos vasos em uma ascensão capilar por absorção de água tenha influência, ou seja, quanto menor o feixe vascular maior é a absorção, já feixes vasculares com maior diâmetro tendem a uma absorção mais reduzida a um dado período de tempo.

Os resultados de variação de massa em 48 horas estão, provavelmente, relacionados com a propriedade higroscópica da cana, podendo absorver água em até 50% em apenas 2 dias. Esta elevada absorção de água vai de acordo com o resultado de 52,60% encontrado por Soliman (2009), apesar de ter utilizado outro método de absorção de água, neste caso, imersão total da cana durante 24 horas.

A Tabela 11 apresenta os valores de ascensão capilar, diferenciando os valores atingidos pelo interior, daqueles atingidos pelo exterior.

Tabela 11 – Média da altura capilar atingida na *Arundo donax* L.

<b>Grupo</b>	<b>Superfície exterior (mm)</b>	<b>DP</b>	<b>Superfície Interior (mm)</b>	<b>DP</b>	<b>Variação massa 48 h (%)</b>
G1 s/ nó	29,2	1,30	26,40	1,67	46,59
G1 c/ nó	19,9	1,88	18	1,73	33,80
G2 s/ nó	26,3	2,05	24,5	3,84	50,20
G2 c/ nó	22,20	1,79	19,30	2,11	42,57

O G1 sem nó, apresenta a maior altura capilar nas superfícies da cana, compatível com a variação de absorção de água por capilaridade, apresentada em função da raiz quadrada do tempo de teste pelo período de 48 horas (Figura 55 (a)), apontando para uma maior absorção capilar do G1 sem nó, seguido do G2 também sem nó. Os grupos com presença de nó ao final obtiveram absorção capilar semelhante. Os primeiros 360 minutos (Figura 55(b)) detalham a evolução do ensaio, sendo observado que o G2 mostra uma absorção capilar um pouco mais lenta.

#### 4.1.5 Retração

Durante o período de ensaio a água do recipiente apresentou um forte odor, bem como a presença de bolhas, espuma e traços de óleo (Figura 58(a)). Este comportamento assemelha-se a um processo de fermentação, onde o período de imersão pode ser responsável pela extração da glicose que compõe a celulose. Completando 96 horas de ensaio, observou-se que a superfície de corte transversal, apresentava uma coloração verde (Figura 58(b)), causada pelo excessivo tempo de contato com a água.

Nas amostras com nó, nota-se um acúmulo de água, como uma bolha da região oca, como já observado no ensaio anterior (Figura 58 (c)). Não foi identificado qualquer rachadura ou danos a cana após finalizar o ensaio.

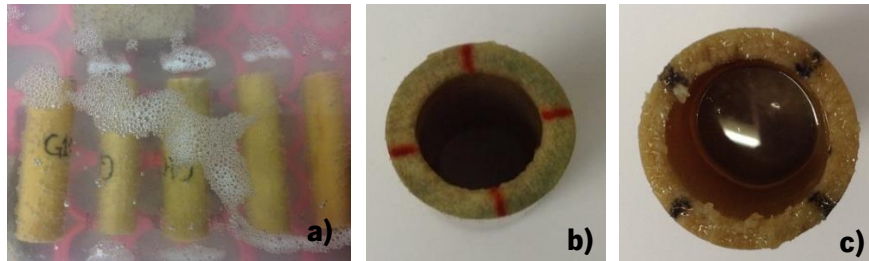


Figura 58 – Efeitos na água após imersão de 168 horas (a); cana com coloração verde na seção de corte (b); “bolha” de água na cana (c).

Uma das amostras com nó do G1, foi cortada ao meio no sentido longitudinal logo que saiu da imersão, a fim de verificar seu estado físico e seu comportamento na secagem. No caso desta amostra, em um dos lados, o “algodão” estava presente e intacto entre o nó e o entrenó, após o corte, nota-se que o lado do nó “protegido” pelo algodão, mantinha uma coloração branca, enquanto o outro lado em alguns pontos atingia tom bege, esta amostra também secou mais rapidamente devido evaporação após o corte. Em uma análise visual de todas as amostras, a superfície externa das amostras do G1 aparentam secar mais rapidamente que o G2 (Figura 59), bem como as amostras sem nó, que visualmente, aparentavam uma secagem mais rápida que as amostras com nó. Isto é confirmado a cada verificação de massa.

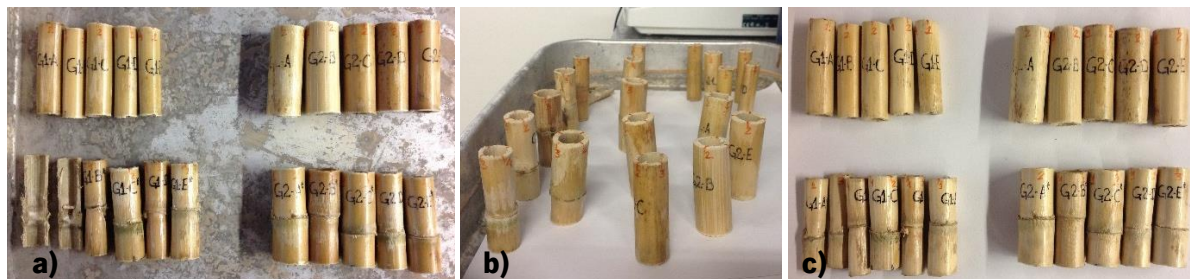


Figura 59 – Processo de secagem pós imersão. 180 minutos do início da secagem (a); 24 horas secagem na vertical (b); 48 horas de secagem (c).

A Tabela 12, apresenta a média dos resultados obtidos para a retração linear e coeficiente de retração do diâmetro e espessura da cana.

A retração linear do diâmetro é muito semelhante em ambos os grupos, contudo, apesar do G1 apresentar uma retração ligeiramente maior, em análise individual, no G2, uma amostra chegou a uma retração linear de 11,85%, sendo a máxima para o G1 de 6,69%. A espessura apresenta uma variação pouco maior em relação a grupos, compatível em análise individual de amostras a maior retração linear total é de 20,9% para amostra do G1, contra a máxima de 17,24% no G2. Estes resultados alinham com

a variação dimensional (item 4.1.2) apresentada, onde as maiores variações foram para amostras do G1.

Tabela 12 – Média da retração linear total por variável ensaiada e por grupo

Grupo	RL* - Diâmetro (%)	DP	Coef. * RL Diâmetro (%)	DP	RL - Espessura (%)	DP	Coef. RL Espessura (%)	DP
<b>G1 s/ nó</b>	4,70	0,89	0,033	0,010	9,7	4,31	0,045	0,037
<b>G1 c/ nó</b>	4,71	1,23	0,030	0,008	9,0	4,13	0,028	0,023
<b>Média Total (G1)</b>	<b>4,71</b>	<b>1,02</b>	<b>0,032</b>	<b>0,009</b>	<b>9,4</b>	<b>4,18</b>	<b>0,038</b>	<b>0,032</b>
<b>G2 s/ nó</b>	4,77	3,16	0,023	0,006	6,27	4,28	0,020	0,009
<b>G2 c/ nó</b>	4,28	1,56	0,029	0,013	6,17	3,37	0,027	0,014
<b>Média Total (G2)</b>	<b>4,53</b>	<b>2,44</b>	<b>0,026</b>	<b>0,010</b>	<b>6,22</b>	<b>3,80</b>	<b>0,023</b>	<b>0,012</b>

RL\*: retração linear

Coef.\*: Coeficiente

Estes dados por grupo, assemelham-se ao encontrado para a *Phragmites australis* após 24 horas de imersão, 12 horas de secagem ao ar, seguida de uma câmara de secagem, a retração foi de 6,1% no diâmetro e 8% na espessura (Jiménez-Espada et al., 2021), considerando as diferenças físicas entre as espécies. No bambu, atribuem a retração inicial na espessura às células de parênquima, seguida do diâmetro; na direção radial e tangencial, são influenciadas pela seção do colmo, ou seja, aumenta a retração mais ao topo por possuir mais feixes vasculares, variando entre 6,1% e 5,6% (Vetter et al., 2015).

A retração volumétrica total e o coeficiente de retração volumétrica, também foram avaliadas e a média dos resultados obtidos é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Médias por grupo e variáveis ensaiadas para retração volumétrica, coeficiente de retração volumétrica e teor em água de saturação das fibras

Grupo	Retração volumétrica		Coeficiente de retração volumétrica		Teor em água de saturação das fibras (%)	
	(%)	DP	(%)	DP	(%)	DP
G1 s/ nó	6,10	2,46	0,08	0,03	82,86	37,37
G1 c/ nó	7,41	2,39	0,06	0,02	120,29	26,85
<b>Média Total G1</b>	<b>6,69</b>	<b>2,38</b>	<b>0,07</b>	<b>0,03</b>	<b>99,49</b>	<b>36,85</b>
G2 s/ nó	5,47	5,63	0,05	0,02	99,66	63,70
G2 c/ nó	5,22	4,33	0,06	0,03	102,72	86,48
<b>Média Total G2</b>	<b>5,35</b>	<b>4,74</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>	<b>101,19</b>	<b>71,62</b>

A cana em comparação com o bambu possui uma retração volumétrica menor. No bambu gigante, a retração volumétrica foi de 15,41% (Brito et al., 2015). Semelhante ao apresentado por Vetter et al. (2015), que indicam uma retração volumétrica entre 10,7% e 18,6%. Concluindo que de um modo geral, com base na análise das médias por grupo, a maior retração volumétrica ocorre no G1, com maior retração nas amostras com nó, compatível com resultados da retração linear. O coeficiente de retração volumétrica quase não varia entre os grupos.

No geral, observa-se que a presença do nó não influencia diretamente na retração. Entre as variáveis ensaiadas em ambos os grupos, nota-se uma pequena diminuição da retração na região do nó para o diâmetro e espessura, já para o comprimento, o nó representa um ligeiro aumento na retração das amostras com nó, mas ainda assim é prematuro relacionar a influência do nó na retração do comprimento.

Os resultados apresentados, indicam que um maior diâmetro e espessura, caso do G2 em relação ao G1, não significa maior retração. Possivelmente a maior retração está associada a quantidade de feixes vasculares presente em cada seção da cana (base, meio e topo). Por fim, a cana é configurada como um material compatível com estabilidade dimensional, associado a sua baixa retração (Malheiro et al., 2021). Neste estudo, os valores são muito pequenos, dependendo do uso da cana, esses valores de retração não causarão grandes efeitos, pois, o diâmetro varia menos que 5% (retração linear) e 8% (retração volumétrica) para ambos os grupos.



Quanto a saturação das fibras, por grupo, o teor em água é semelhante em ambos os grupos. As amostras com nó apresentaram maior saturação das fibras, com destaque ao G1, contudo quando se trata de amostras sem nó, o G2 apresentou maior saturação.

A *Arundo donax* L. ainda verde, apresenta sinais de encolhimento com 150% de teor de humidade nos entrenós (Obataya et al., 2004) e com o ponto de saturação das fibras a 20% (Obataya et al., 2005). Como foi realizada uma única verificação dimensional na cana seca ao ar e uma única com ela seca em estufa, neste estudo não se consegue determinar a que exato ponto de saturação das fibras ocorre a retração da cana. Apontando para ensaios futuros, a necessidade de realizar mais que uma verificação dimensional para cada etapa de secagem.

Quanto a absorção de água, após 24 horas de imersão, tendo o peso seco inicial mais a primeira verificação de saturação, obteve-se a massa de água absorvida e o teor de humidade absorvida pela cana apresentada na Figura 60.

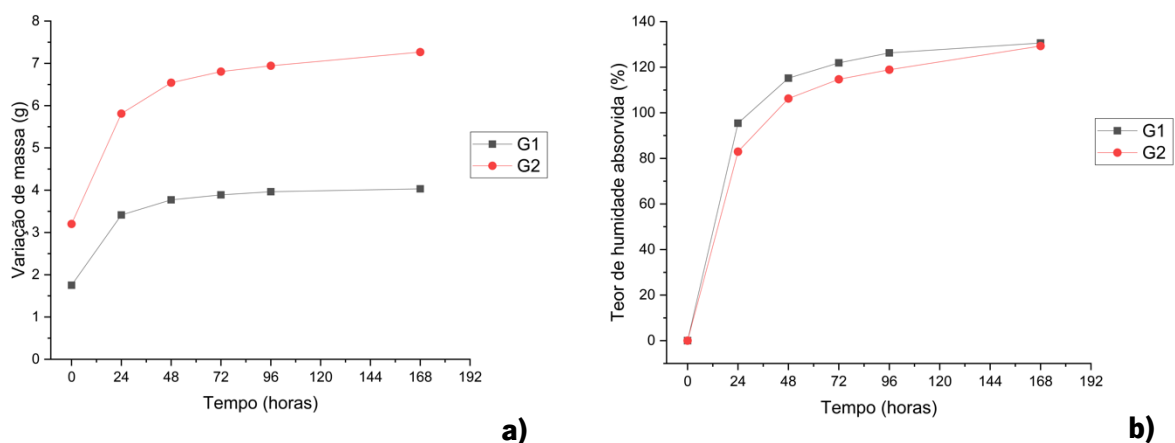


Figura 60 – Relação variação de massa (a); teor de humidade absorvida x tempo (b).

As amostras do G1 atingiram uma média de 95,42% de teor em água e o G2 chegou 82,95%, onde as amostras com nó, de ambos os grupos, mostraram uma maior absorção em 24 horas, e mais contida após 48 horas de imersão. Estes dados são próximos ao de Ortuño (2003) para mesma espécie de cana, com um teor de humidade saturada por 24 horas de 94,85%. Assim como os resultados encontrados por Lord (2003), para a *Arundo donax* L. saturada por três dias, que variou entre 75 e 90%.

Estes resultados ressaltam a elevada higroscopicidade e facilidade em absorver água, perceptível no ensaio anterior (4.1.4), mesmo que por um período curto de tempo. Ao final das 168 horas de imersão a absorção entre grupos era muito próxima, com uma média de 130,64% (G1) e 129,31 % (G2).

A média do teor de humidade da cana seca naturalmente e seca em estufa, pós imersão é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Média do teor de humidade

<b>Grupo</b>	<b>Média teor em água – secas ao ar (%)</b>	<b>DP</b>	<b>Média teor em água – seca em estufa (%)</b>	<b>DP</b>
G1 s/ nó	108,64	26,14	163,15	22,52
G1 c/ nó	105,28	12,18	183,01	14,10
G2 s/ nó	117,31	5,66	179,04	7,75
G2 c/ nó	96,52	26,71	175,60	22,79

Pela heterogeneidade da cana, o tempo de secagem ao ar (laboratório) variou e não foi o mesmo para todas as amostras, 65% das canas foram para o exsicador com 3380 minutos de secagem, destes, 50% eram G1 (com e sem nó). Os restantes 35% ingressaram ao exsicador posteriormente, até 4460 minutos de secagem. Cada amostra ficou 24 horas no exsicador antes de verificar as dimensões e massa. Em seguida foram para a estufa, lembrando que 65% foi para a estufa em um dia e o restante em outro. O período em estufa para os 65% e 35% das amostras foi de 3760 e 2850 minutos respectivamente, tendo novamente verificações dimensionais e de massa.

Analisando o G1, dentre as amostras com e sem nó, foi possível observar que o nó tem certa influência no período de secagem, apesar de todas as amostras do G1 terem ido juntas ao exsicador por terem atingido massa próxima à inicial, as canas com nó apresentavam uma variação de massa ainda maior que as sem nó (até quase 50%), possivelmente o nó dificulta a dispersão de água no sentido longitudinal das fibras.

O teor de humidade findado período de secagem ao ar, se mostrou maior nas amostras sem nó, com destaque para o G2. Contudo, após processo de secagem em estufa, o maior teor de humidade existente foi no G1 com nó, compatível com intensidade de absorção durante imersão total em água, assim como demais variáveis, não apresentando assim, nenhuma tendência por grupo e variável ensaiada.

A massa volúmica das amostras saturadas, secas ao ar e em estufa, por grupo, são analisadas a partir da Tabela 15.

Tabela 15 – Análise por grupo da massa volúmica saturada, seca ao ar e seca em estufa

Grupo	Massa	DP	Massa	DP	Massa	DP
	volúmica saturada (g/cm <sup>3</sup> )		volúmica seca ar (g/cm <sup>3</sup> )		volúmica seca estufa (g/cm <sup>3</sup> )	
G1 (média total)	1,189	0,116	0,603	0,074	0,491	0,41
G2 (média total)	1,124	0,112	0,579	0,108	0,451	0,058

Aqui, segue a tendência analisada no item 4.1.3, de que as amostras retiradas mais próximas ao topo da haste, possuem maior massa volúmica, neste caso, mesmo saturada.

## 4.2 Caracterização biológica

Bassam & Dalianis (2010), defendem que a possível durabilidade da *Arundo donax* L. está relacionada a existência de sílica na sua composição. Contudo, o potencial higroscópico e o conteúdo de nutrientes torna os materiais mais suscetíveis a fungo, sendo que uma humidade relativa considerada segura para o não aparecimento de fungo vai sempre depender do tipo de material (Block, 1953; Viitanen & Salonvaara, 2010).

A cana, assim como a madeira ou produtos à base de madeira, sob condições favoráveis pode apresentar sensibilidade ao aparecimento de fungos na superfície (Lautkankare, 2013b). Viitanen (2001) aponta que a qualidade do material determina a intensidade de crescimento do fungo, junto a fatores como humidade do ar, teor de humidade do material, temperatura e o tempo de exposição, que são determinantes para compreender o crescimento de fungos.

Normalmente os fungos precisam de nutrientes para crescer, além da humidade e temperatura correta. Contudo, alguns fungos podem simplesmente crescer a partir da poeira na superfície de algum material desfavorável ao aparecimento de fungos (Bergholm, 2012).

Sendo a humidade um fator determinante para o desenvolvimento dos fungos, 20% das canas estudadas foram secas em estufa por 24 horas (humidade igual a 0%) e 80% haviam sido secas naturalmente ao ar, pelo período de um ano. O teor de humidade do G1 corresponde a 8,82% e G2 de 8,88%. A Figura 61 apresenta o índice de fungos alcançado para as canas estudadas. A avaliação do índice de fungo foi realizada por duas pessoas. Para ambas foi a primeira vez analisando presença de fungos em material natural, então, tudo o que aparece, a olho nu e no microscópio é algo novo, por não saber exatamente

o que procurar, ou o que se está olhando. Algumas vezes, a interpretação no índice de fungo foi oposta e, por isso, é importante mais que um avaliador.

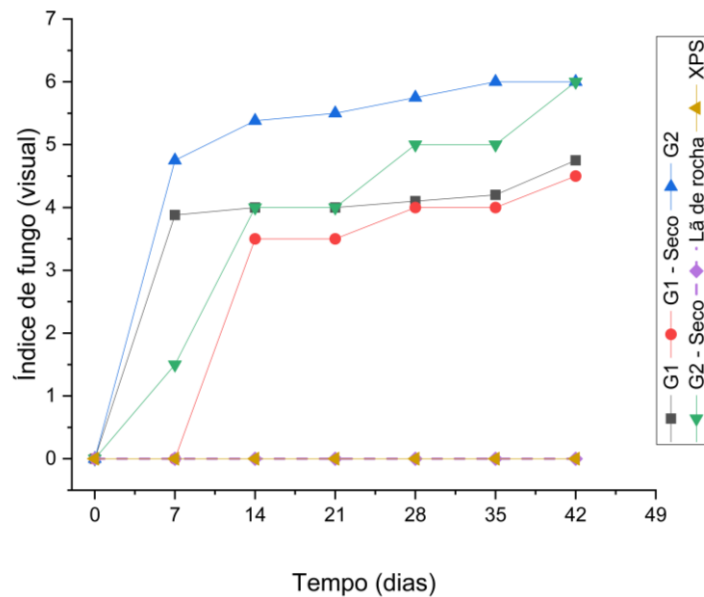


Figura 61 – Índice de fungo da cana.

O crescimento do fungo pode ser observado em todas as amostras de cana. Observa-se também que a intensidade de crescimento variou entre o tipo de grupo e procedimento de secagem.

De acordo com a Figura 61, o período de resposta para o surgimento de fungos e bolores na superfície das amostras de cana foi de 7 dias. Sobre as amostras secas, Figura 62, o G1 não apresentou sinais de fungos visualmente na superfície e nem no microscópio na primeira semana (Figura 62 (a; b; c)). Contudo, o G2 visualmente, apresentava uma pequena macha castanha na lateral em uma das pontas da cana. Uma análise mais detalhada em microscópio permitiu visualizar sinais de fungos na superfície se comparado com a imagem de referência (Figura 62 (d; e; f)), porém com uma intensidade mínima em comparação com as demais amostras (com humidade).

Considerando as amostras secas e húmidas, ao analisar os estágios de crescimento de fungo, os índices mais elevados são encontrados no G2, onde a média entre as amostras atingiu índice 5 com 14 dias de exposição e índice 6 com 35 dias. A amostra seca do G2 atingiu índice 5 um pouco mais tardio, com 35 dias de ensaio. Já o G1, independentemente do procedimento de secagem, não chegou a atingir o nível 5 durante todo o ensaio (42 dias). As Figuras 63 e 64 mostram o crescimento dos fungos desde o início do ensaio e ao final dos 42 dias de ensaio para os grupos 1 e 2, respectivamente.

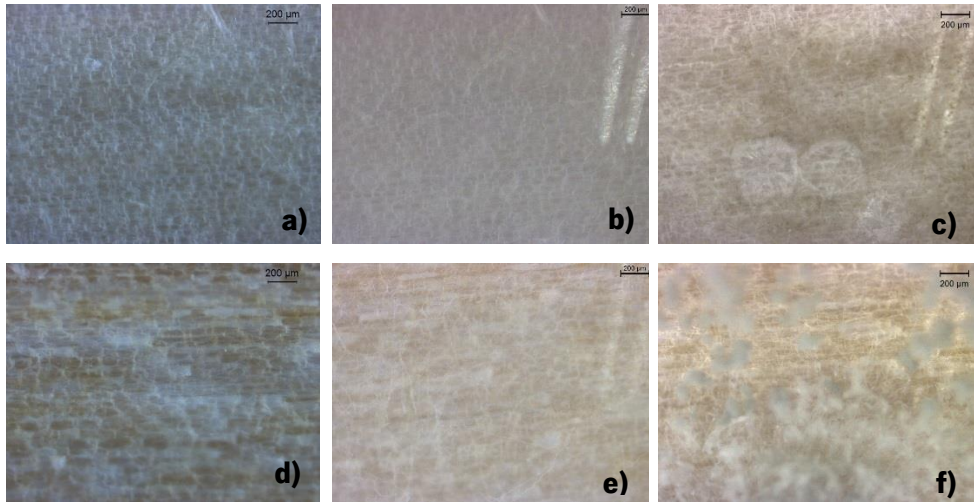


Figura 62 – Crescimento de fungos nas canas secas vistas no microscópio (5x). Referência G1-Seco (a); 7 dias de ensaio G1-seco (b); 14 dias de ensaio G1-Seco (c); Referência G2-Seco (d); 7 dias de ensaio G2-Seco (e); 14 dias de ensaio G2-Seco (f).

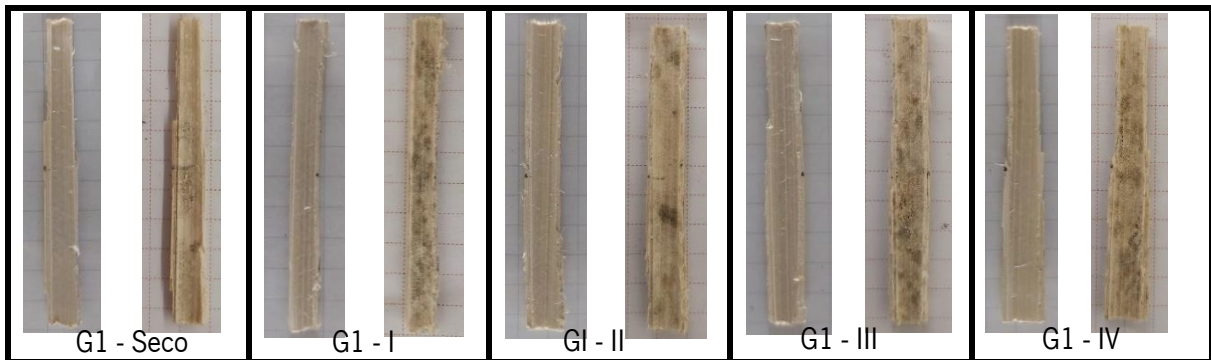


Figura 63 – Crescimento de fungo no G1, cada amostra com imagem de referência e com 42 dias de ensaio.

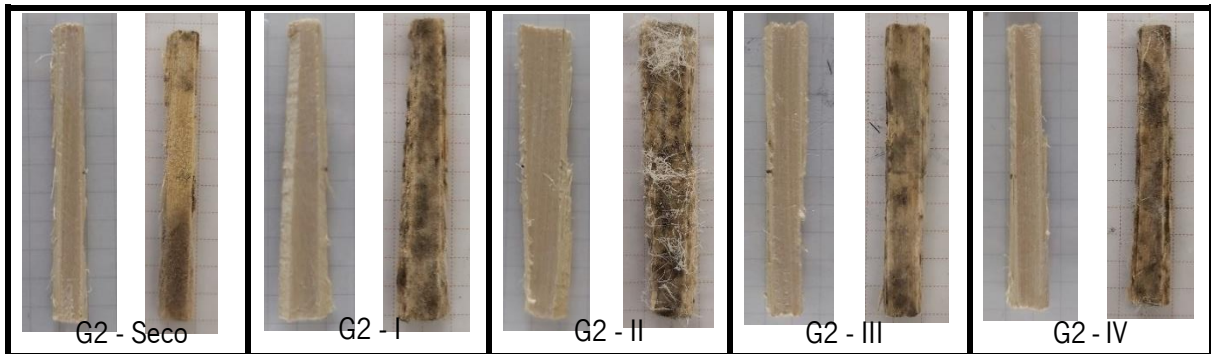


Figura 64 – Crescimento de fungo no G2, cada amostra com imagem de referência e com 42 dias de ensaio.

A análise das fotos apresentadas nas Figuras 63 e 64 mostram que apesar de possuírem um teor de humidade semelhante, no geral, o G1 (Figura 63) apresentou uma evolução fúngica mais lenta e com menor degradação em comparação ao G2 (Figura 64). Provavelmente, este comportamento está ligado à espessura das amostras, quantidade e tamanho dos feixes vasculares, que absorveram maior humidade durante ensaio.

É interessante observar que, em alguns casos, a análise a olho nu do material não revela as pequenas partículas de fungos existentes, isso confirma-se quando analisamos fotograficamente o mesmo material, o zoom permite visualizar pontos, que em uma primeira análise não são captados.

O G2, com exceção da amostra seca em estufa, em uma semana tinha a superfície das canas cobertas entre 60 e 80% por um fungo de pigmentação castanha e escura. A amostra G2 - II com 21 dias de ensaio apresentou uma espécie de fungo branco que cobriu e elevou-se acima da superfície da cana, evoluindo até a semana seguinte e depois mantendo o crescimento controlado até o final dos 42 dias. O mesmo ocorreu com a cana G2 - IV, mas em menor intensidade e com 35 dias de ensaio.

No microscópio, a partir de 14 dias de ensaio, começa-se a notar nas amostras de ambos os grupos, pequenas ramificações fúngicas mais escuras, pequenas “bolinhas” de fungo com coloração às vezes cinza mais claro ou tom escuro também ganham mais forma, evoluindo a ponto de quase não se verificar mais a parede da cana (Figura 65). Com 42 dias de ensaio, manchas escuras tomam conta da cana. No Anexo III, é possível notar a evolução fúngica via registro fotográfico e microscópico, para uma amostra de cada variável analisada neste estudo, seguido do índice de fungo adaptado e registro de massa por semana.

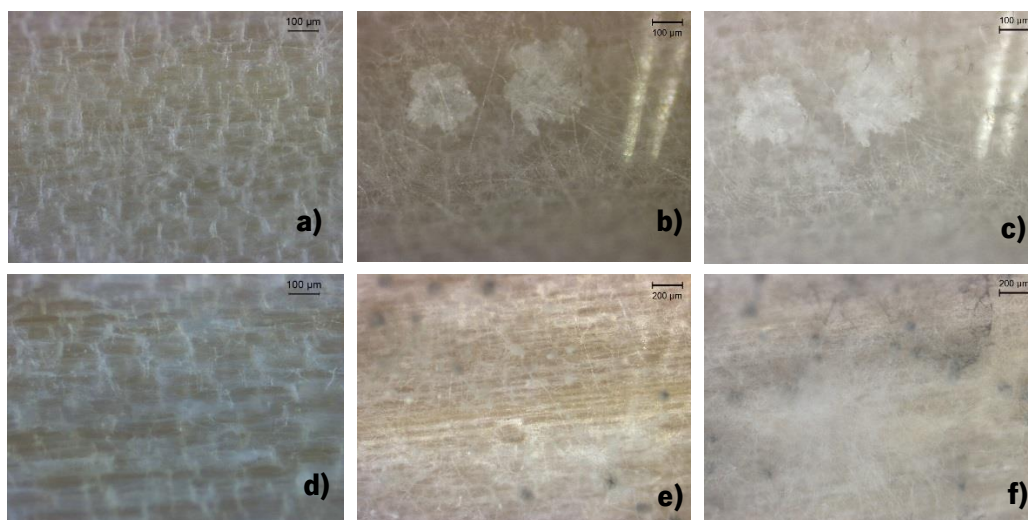


Figura 65 – Evolução fúngica no microscópio. Referência G1-II (10x) (a); G1-II com 14 dias de ensaio (10x) (b); G1-II com 28 dias (10x) (c); Referência G2-III (10x)(d); G2-III 14 dias (5x) (e); G2-III 28 dias (5x) (f).

Os resultados obtidos para a *Arundo donax* L. colhida em Portugal corroboram a tendência de crescimento de fungos em materiais orgânicos, e se assemelham a investigação desenvolvida por Bergholm (2012), que utilizou canas provenientes 3 locais diferentes da Finlândia. O autor analisou a camada externa da cana, amostras de 5 cm de *Phragmites australis* de três diferentes locais, que foram estruturadas em feixes de haste inteira e amarradas com arame de ferro. Estas amostras permaneceram

em câmara climática, a uma humidade relativa de  $\pm 93 - 95\%$  e temperatura de  $+22^{\circ}\text{C}$ , pelo período inicial de 8 semanas. Foram ensaiadas 18 amostras de feixes de cana, onde, 80% mostraram crescimento de fungo já na primeira semana, visível a olho nu, tendo presença em todas as amostras na segunda semana de análise. Porém, nenhuma das amostras atingiu 100% de cobertura de fungo. Outra conclusão, foi que a origem da cana, não pareceu ter relevância quanto a resistência ao fungo (Bergholm, 2012). Este estudo corrobora a análise de durabilidade da presente investigação, que chegou a um máximo de cobertura por fungo registrada de 90% para G2 e 65% para G1.

Quanto aos materiais de isolamento térmico convencionais ensaiados (lã de rocha e XPS), a evolução durante o ensaio pode ser vista na Figura 66.

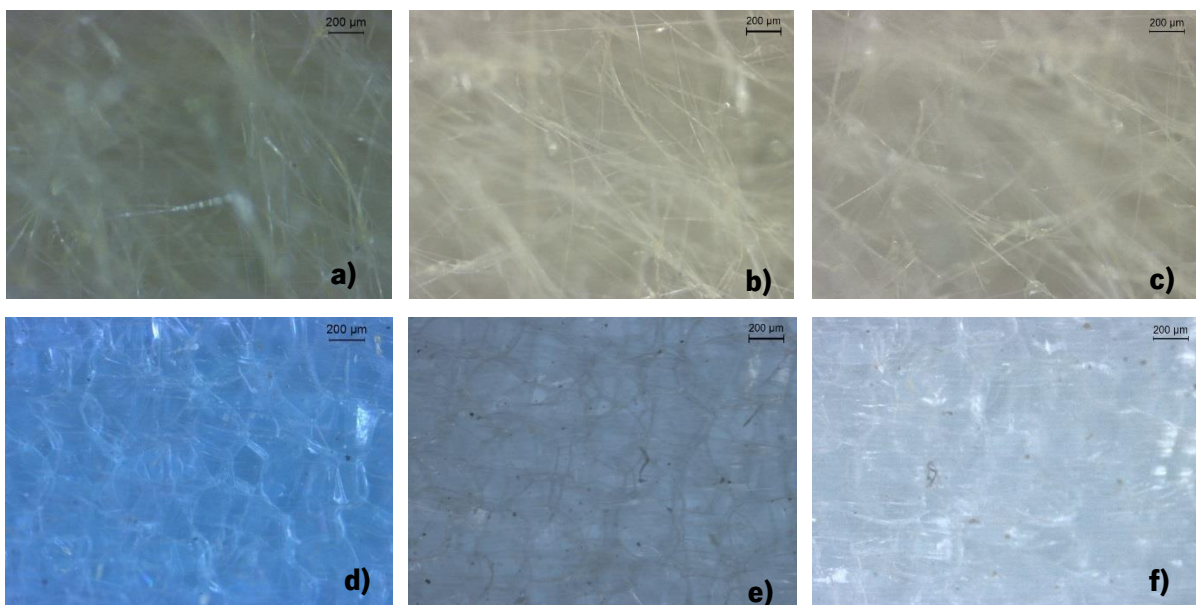


Figura 66 – Análise microscópica (5x) de materiais de isolamento térmico convencionais. Lã de rocha (referência) (a); lã de rocha com 21 dias de ensaio (b); lã de rocha com 35 dias de ensaio (c); XPS (referência) (d); XPS após 28 dias de ensaio (e); XPS após 35 dias de ensaio (f).

A estrutura da lã de rocha, por muitas vezes dificultou a análise e compreensão quanto ao aparecimento ou não de fungos. A avaliação visual e até mesmo microscópica é mais complicada devido à sua composição e geometria. As amostras antes de ensaio, já tem em sua estrutura muitos pontos escuros, qualquer ponto após início do ensaio pode ou não ser fungo, tornando a percepção delicada. No microscópio, os pequenos filetes transparentes agregados aos pequenos pontos causaram questionamentos (Figura 66 (a; b; c)). Esta mesma barreira, ocorreu na investigação de Bergholm (2012), onde a lã mineral causou dificuldade e contradição entre as avaliações, sendo retirada da conclusão do trabalho.

Contudo, a avaliação é de não surgimento de fungos nem a olho nu, nem visualizando em microscópio. Assim como para Viitanen & Salonvaara (2010) que por um período de 3 meses não detectaram sinais de fungo nas superfícies da lã de vidro. Foi observado, que no fundo da placa de Petri, a amostra 3 parecia ter um tom esverdeado, não o suficiente para concluir que se tratava da presença de fungos

O XPS manteve-se visualmente intacto pelo período de 42 dias, sem qualquer sinal de colônias fúngicas. Contudo, no microscópio é possível visualizar algumas mudanças no XPS, como um aumento de pontos escuros em 28 dias de ensaio (Figura 66 (e)). Bergholm (2012) utilizou o EPS como material de isolamento térmico em ensaio junto a cana, no qual registrou o não surgimento de fungos nas amostras. Seu estudo também utilizou o betão (sem crescimento de fungos) e a madeira (pinho com 100% de cobertura por fungo) como materiais de referência.

A evolução da massa dos materiais estudados é apresentada na Figura 67.

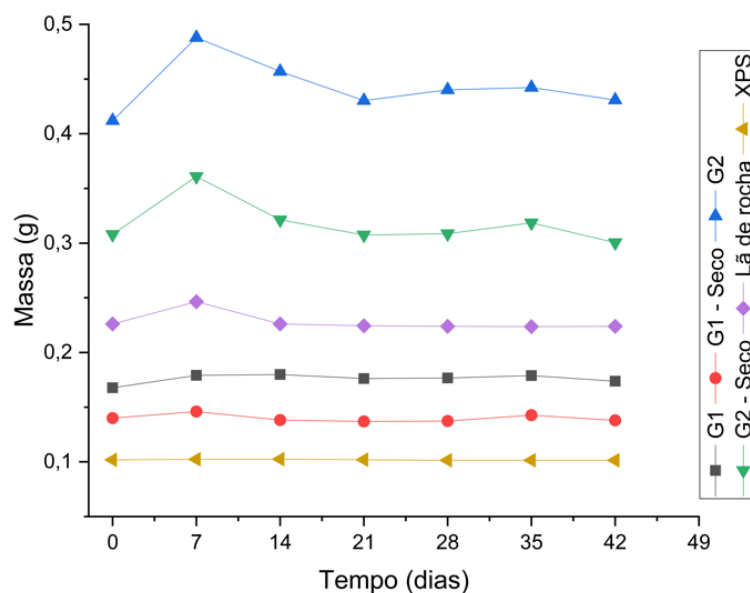


Figura 67 – Variação de massa durante 42 dias de ensaio.

Em uma semana na câmara climática, todas as amostras de cana elevam a sua massa, podendo este aumento estar relacionado com o aumento da humidade relativa, devido ao equilíbrio entre humidade da amostra e humidade da câmara, e do aparecimento de fungos em 90% das amostras de cana. Contudo, 100% do G2 teve sua massa reduzida mesmo com o crescimento dos fungos na segunda semana de ensaio e ocorrendo a partir daí, uma inconstante variação de massa nas semanas seguintes. Ao final do ensaio, todas as amostras de cana, G1 e G2, tinham um peso inferior ao registrado na semana anterior.



Assim como para a madeira, onde a perda de massa é um indicador de decomposição fúngica (Schirp & Wolcott, 2005), a perda de massa na cana pode estar relacionada com o crescimento do fungo que ao mesmo tempo que cresce, degrada o tecido celular da cana, causando diminuição na massa. Com as amostras de lã de rocha e XPS o fenômeno também ocorre, de modo quase imperceptível, entre a segunda e terceira semana.

Os resultados apresentados mostram uma resistência à proliferação de fungos inferior para as canas quando comparada aos materiais como o XPS e a lã de rocha, utilizados comumente na construção civil. É necessário levar em consideração que para este estudo foram utilizadas condições climáticas adequadas para proliferação de fungos ( $+22^{\circ}\text{C} \pm 90\% \text{HR}$ ) (Lautkankare, 2013b). Em ambientes naturais específicos, condições climáticas semelhantes podem acontecer. Em Portugal, zona próxima a rios e ribeiras, atinge condições de humidade e temperatura semelhante as deste estudo, podendo ocorrer por um curto período no verão, normalmente à noite (Fernandes et al., 2020). Além disso, na prática, para garantir a saúde dos ocupantes, a humidade relativa do ar deve ser entre 20% e 60% no interior das edificações residenciais (Bergholm, 2012).

Quando em situações reais de uso, há resistência a fungos de podridão na superfície externa, principalmente quando ocorre boa ventilação incidente no material (Bejarano & Delgado, 2012). Ortuño (2003) refere que a cana para construção é utilizada sem quaisquer tipos de tratamento, ou seja, é utilizada como se recebe (seca ao ar). Porém, diante dos resultados para durabilidade aqui apresentados, observa-se o importante papel do teor de humidade quanto a proliferação de fungos, pois canas mais secas apresentaram uma evolução mais lenta quanto ao crescimento de fungos.

Alguns estudos apresentam alternativas para proteção da cana contra agentes biológicos, podridão e desgastes físicos. Uma das técnicas é mergulhá-las no leite de limão para evitar apodrecimento (Minke, 2006). O projeto Canyaviva, por meio de publicações de seus workshops, cita o uso da cal, gesso e o limão aplicado à estrutura (Canyaviva, n.d.). Outra sugestão para prolongar a vida útil da cana, é utilizar silicato, pois este imita a proteção natural da cana, além de ser considerado fungicida, protege de raios ultravioleta (UV) e é respirável (Couvreur & Remón, 2019). Devido à sua superfície externa rígida e lisa, a aderência de qualquer produto pode ser um desafio, como vivenciado por alguns artesãos que trabalham com a cana, que lixam a sua superfície a fim de aumentar a porosidade e assim proteger melhor o material (Couvreur & Remón, 2019).

Um estudo, buscou no bio-óleo da cana a proteção contra fungos e insetos na madeira, obtendo resultados positivos (Temiz et al., 2013). Apontando que a cana em sua estrutura e composição, tem

menor probabilidade de ser atacada por insetos, não devendo ser descartado a busca por proteção do material natural sempre que necessário, garantindo sua maior durabilidade. Vendo esses possíveis ataques (insetos e fungos), surgem possíveis alternativas através da imersão da cana em uma solução de água e ácido bórico, ou utilizar algum tipo de resina ou óleo impermeabilizantes, que além de proteger contra ataques bióticos ajuda quanto a radiação solar incidente e em situações de humidade. Outra alternativa está na proteção através do uso de fumo, onde as canas são submetidas a uma câmara de fumo, pois acredita-se que o fumo cristaliza a lignina e assim adquire maior resistência a ataques bióticos (Bejarano & Delgado, 2012).

Seja qual for a intervenção utilizada no sentido de garantir a não degradação da cana, deve-se acautelar a não interferência desta intervenção nas propriedades da cana. Uma intervenção de sucesso significa proteger a cana, mantendo suas boas características.

### 4.3 Caracterização térmica

Como explicado no Capítulo 3, a determinação das propriedades térmicas da cana foi realizada com recurso à uma *hot box*. A duração dos ensaios variou entre 72 e 96 horas, e os resultados obedeceram aos critérios de convergência e variância determinados na ASTM C1155, bem como a subtração da resistência térmica do painel de MDF (verificada em ensaio) para obter apenas a resistência térmica do painel de *Arundo donax* L.

Os valores dos parâmetros obtidos através do ensaio da *hot box*, bem como os valores calculados de resistência térmica ( $R_e$ ), coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) e condutividade térmica ( $\lambda$ ), são apresentados na Tabela 16, Tabela 17 e Tabela 18 para as diferentes situações estudadas (Figura 46). No Anexo IV é possível visualizar mais características dos painéis em estudo, como por exemplo, a quantidade de canas utilizadas em cada ensaio e a quantidade de nós por painel.

Tabela 16 – Médias do desempenho térmico dos painéis tipo caixa paralela de *Arundo donax* L.

<b>Painel tipo caixa (canas paralelas umas às outras)</b>													
<b>Grupo</b>	<b>Espessura (cm)</b>	<b>Massa Volumica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>N° Canas</b>	<b>Posição</b>	<b>Câmara Quente</b>		<b>Câmara Fria</b>	<b>Fluxo calor (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Re<sub>CONJUNTO</sub> m<sup>2</sup>.°C/W</b>	<b>Re<sub>MDF</sub> m<sup>2</sup>.°C/W</b>	<b>Re<sub>CANA</sub> m<sup>2</sup>.°C/W</b>	<b>U<sub>CANA</sub> W/m<sup>2</sup>.°C</b>	<b>λ<sub>CANA</sub> W/m.°C</b>
					<b>T*</b>	<b>T</b>							
					<b>(°C)</b>	<b>(°C)</b>							
G1	5	0,249	47	V*	31,62	24,88	5,76	1,172	0,147	0,878	1,139	0,057	
G2	5	0,261	31	V	32,47	25,55	5,62	1,233	0,147	0,939	1,065	0,053	
G1+G2	5	0,264	38	V	32,53	25,61	5,03	1,382	0,147	1,088	0,919	0,046	
G1+G2	5	0,238	38	H*	37,26	25,74	8,12	1,419	0,147	1,125	0,889	0,044	
G1	10	0,218	84	V	35,53	25,62	5,81	1,707	0,147	1,413	0,708	0,071	
G1	10	0,217	84	H	34,74	24,69	5,80	1,734	0,147	1,440	0,695	0,069	
G2	10	0,206	52	V	38,56	27,62	6,77	1,618	0,147	1,324	0,755	0,076	
G2	10	0,213	56	H	36,48	26,42	6,18	1,631	0,147	1,337	0,748	0,075	
G1+G2	10	0,223	71	V	35,26	26,17	5,49	1,659	0,147	1,365	0,733	0,073	
G1+G2	10	0,221	71	H	34,33	26,22	4,87	1,672	0,147	1,378	0,726	0,073	
G1	13	0,206	102	V	32,72	22,76	4,44	2,259	0,147	1,965	0,509	0,066	
G2	13	0,203	71	V	32,58	21,44	6,44	1,741	0,147	1,447	0,691	0,090	
G1+G2	15	0,212	101	V	36,35	26,28	5,12	1,973	0,147	1,679	0,596	0,089	
G1+G2	15	0,209	98	H	36,64	25,42	5,05	2,229	0,147	1,935	0,517	0,078	

T\*: Temperatura média

V\*: Vertical

H\*: Horizontal

Tabela 17 – Médias do desempenho térmico dos painéis tipo esteira paralela de *Arundo donax* L.

<b>Painel tipo esteira (esteiras paralelas umas às outras)</b>												
<b>Grupo</b>	<b>Espessura (cm)</b>	<b>Massa Volúmica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>N° de Canas</b>	<b>Posição</b>	<b>Câmara Quente</b>		<b>Fluxo calor (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Re<sup>CONJUNTO</sup> m<sup>2</sup>.°C/W</b>	<b>Re<sup>MDF</sup> m<sup>2</sup>.°C/W</b>	<b>Re<sup>CANA</sup> m<sup>2</sup>.°C/W</b>	<b>U<sup>CANA</sup> W/m<sup>2</sup>.°C</b>	<b>λ<sup>CANA</sup> W/m.°C</b>
					<b>T</b>	<b>T</b>						
					<b>(°C)</b>	<b>(°C)</b>						
G1	5	0,193	36	V	31,58	25,89	4,23	1,349	0,147	1,055	0,948	0,047
G1	5	0,206	39	H	38,36	29,36	7,37	1,222	0,147	0,928	1,077	0,054
G2	5	0,170	24	V	30,82	24,60	5,17	1,207	0,147	0,913	1,095	0,055
G1+G2	5	0,158	27	V	32,00	26,08	5,18	1,144	0,147	0,850	1,176	0,059
G1	10	-	79	V	36,70	25,61	5,57	1,991	0,147	1,651	0,606	0,061
G1	10	0,185	70	H	34,35	23,61	6,35	1,691	0,147	1,397	0,716	0,072
G2	10	0,185	47	V	40,90	30,39	6,68	1,574	0,147	1,280	0,781	0,078
G2	10	0,190	48	H	34,11	23,63	6,06	1,730	0,147	1,436	0,696	0,070
G1+G2	10	0,194	-	V	39,56	29,03	6,24	1,689	0,147	1,395	0,717	0,072
G1+G2	10	0,214	62	H	33,88	22,89	5,87	1,877	0,147	1,583	0,632	0,063
G1	15	0,174	100	V	33,39	22,27	5,36	2,074	0,147	1,780	0,562	0,084
G2	15	0,171	69	V	33,78	23,18	5,34	1,989	0,147	1,695	0,590	0,089
G1+G2	15	0,175	97	V	31,96	19,14	5,86	2,188	0,147	1,894	0,528	0,079

Tabela 18 – Médias do desempenho térmico dos painéis tipo esteira perpendicular de *Arundo donax* L.

<b>Painel tipo esteira (esteiras perpendiculares umas às outras)</b>												
<b>Grupo</b>	<b>Espessura (cm)</b>	<b>Massa Volúmica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>N° de Canas</b>	<b>Posição</b>	<b>Câmara Quente</b>	<b>Câmara Fria</b>	<b>Fluxo calor (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Re<sub>CONJUNTO</sub> m<sup>2</sup>.°C/W</b>	<b>Re<sub>MDF</sub> m<sup>2</sup>.°C/W</b>	<b>Re<sub>CANA</sub> m<sup>2</sup>.°C/W</b>	<b>U<sub>CANA</sub> W/m<sup>2</sup>.°C</b>	<b>λ<sub>CANA</sub> W/m.°C</b>
					<b>T</b>	<b>T</b>						
					<b>(°C)</b>	<b>(°C)</b>						
G1	10	0,186	70	-	37,71	25,99	6,14	1,914	0,147	1,620	0,617	0,062
G2	10	0,185	48	-	37,37	26,24	6,72	1,659	0,147	1,365	0,733	0,073
G1+G2	10	0,183	53	-	37,12	25,51	6,28	1,853	0,147	1,559	0,641	0,064
G1	15	0,176	100	-	38,00	26,18	5,08	2,329	0,147	2,035	0,491	0,074
G2	15	0,163	63	-	36,83	25,63	5,28	2,074	0,147	1,780	0,562	0,084
G1+G2	15	0,158	70	-	38,13	25,63	5,88	2,130	0,147	1,836	0,545	0,082

Os resultados apresentados nas tabelas serão discutidos de forma pormenorizada nos itens a seguir.

#### 4.3.1 A influência do tipo de painel e sua massa volúmica nos parâmetros térmicos estudados

Ao longo do trabalho observou-se que as propriedades térmicas dos painéis se relacionam com a sua massa volúmica. De um modo geral, os painéis em caixa, independente das espessuras, possuem maiores massas volúmicas que os painéis compostos por esteiras. Isso se dá pelo fato de as canas acomodarem-se melhor na caixa do que na esteira, devido sua disposição livre, e assim a composição da caixa passa a ter mais canas. De acordo com os dados da Tabela 16 e Tabela 17 (ambos ensaios com canas paralelas) não se pode dizer que uma maior quantidade de canas conduzirão a uma maior resistência ou menor condutividade térmica.

Na Tabela 19 são apresentadas as médias dos resultados das propriedades térmicas dos painéis ensaiados.

Tabela 19 – Médias das propriedades térmicas estudadas

<b>Painel com canas paralelas umas às outras</b>								
<b>Espessura do painel</b>	<b>Média do nº de canas</b>		<b>Massa Volúmica (g/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>Recana (m<sup>2</sup>.°C/W)</b>		<b>λcana (W/m.°C)</b>	
	<b>Caixa</b>	<b>Esteira</b>	<b>Caixa</b>	<b>Esteira</b>	<b>Caixa</b>	<b>Esteira</b>	<b>Caixa</b>	<b>Esteira</b>
<b>5 cm</b>	39	32	0,253	0,181	1,007	0,936	0,050	0,053
<b>10 cm</b>	61	70	0,216	0,194	1,376	1,457	0,072	0,069
<b>13 e 15 cm</b>	93	89	0,206	0,173	1,756	1,789	0,080	0,084
<b>Painel com canas perpendiculares umas às outras</b>								
<b>10 cm</b>	-	57	-	0,184	-	1,514	-	0,066
<b>15 cm</b>	-	78	-	0,165	-	1,883	-	0,080

Diante das médias dos resultados apresentados, independente de grupo, tanto para painéis paralelos quanto perpendiculares, observa-se a tendência de quanto menor a massa volúmica maior é a resistência térmica (esteira perpendicular de 15 cm), já para a condutividade a tendência é inversa, quanto maior a massa volúmica menor a condutividade térmica (caixa paralela 5cm), e isto é facilmente visível nos resultados das esteiras (paralelas e perpendiculares) para 10 e 15 cm, onde há menos cana no painel perpendicular. De qualquer forma os resultados são muito aproximados.

Esta tendência da condutividade térmica, também é observada para painéis de *Phragmites australis* (Asdrubali et al., 2016), e para palha, onde, em comparação dos resultados encontrados por Goodhew & Griffiths (2005) e Douzane et al. (2016) nota-se que quanto maior a massa volúmica do fardo menor será a condutividade térmica.

#### 4.3.2 Influência da espessura do painel nos parâmetros térmicos estudados

Os painéis de 5 cm com as canas no sentido paralelo, tanto caixa como esteira, atingiram condutividades entre 0,044 a 0,059 W/m.°C. Quanto a resistência, é muito equilibrada entre os tipos de painéis, contudo nota-se um melhor desempenho nas caixas. Entre grupos e mesmas posições ensaiadas, o G1 + G2 (misto) caixa (vertical) possui menor condutividade e maior resistência, e maior massa volúmica que a esteira. No geral, para painéis de 5 cm a resistência térmica ficou entre 0,850 a 1,125 m<sup>2</sup>.°C/W, se aproximando de resistências de materiais de isolamento convencionais como XPS, EPS e lã de rocha, com uma resistência térmica média de 1,400 m<sup>2</sup>.°C/W (Danosa, 2021; Fibroson, 2021; Termolan, 2021).

Os painéis paralelos de 10 cm, obtiveram uma condutividade térmica entre 0,061 – 0,078 W/m.°C com um desempenho um pouco melhor para as esteiras quando analisado as propriedades térmicas. Na caixa, nenhum painel tem condutividade térmica compatível com a legislação (0,065 W/m.°C), ao contrário da esteira. A resistência térmica nas caixas foi entre 1,324 a 1,440 m<sup>2</sup>.°C/W, e para as esteiras, foi entre 1,280 a 1,651 m<sup>2</sup>.°C/W. Em comparação com a resistência de materiais de isolamento térmico convencionais (XPS, EPS e lã de rocha) para a mesma espessura, 2,65 a 3,00 m<sup>2</sup>.°C/W (Danosa, 2021; Fibroson, 2021; Termolan, 2021), o desempenho da cana é a metade de um convencional, porém eficiente.

Os painéis de caixa de 13 cm impedem uma comparação mais direta com as esteiras paralelas com 15 cm, para os G1 e G2, isto por que os painéis de esteira são formados por menos canas que as caixas, não tendo hastes suficientes, produziu-se uma caixa pouco menor para realizar o ensaio. Mesmo com menores espessuras, as caixas possuem maior massa volúmica, e resultado melhor no G1 ou muito próximo as esteiras de 15 cm no G2. No grupo misto, entre os painéis ensaiados na posição vertical, o melhor desempenho vai para o painel tipo esteira.

Quanto as temperaturas da câmara quente e fria durante ensaio, nota-se pouca oscilação entre as espessuras, para 5 cm a variação de temperatura fica entre as câmaras entre 6,70 a 8,04°C, para 10 cm entre 9,69 a 10,72°C e para 13 e 15 cm foi entre 10,59 a 11,51°C. Os painéis perpendiculares resultaram em uma maior variação de temperatura entre as câmaras, 11,84°C para painéis de 15 cm.

Nota-se que tanto para esteira como caixa, no modo paralelo, os melhores resultados quanto a condutividade térmica são apresentados para 5 cm espessura, contudo, apesar do excelente resultado quanto a condutividade, os painéis de 5 cm possuem as resistências térmicas mais baixas registradas entre os ensaios, e uma maior transmissão térmica (U). Contudo assim, até mesmo a menor resistência, cumpre a legislação portuguesa para isolamento térmico ( $R > 0,30 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ ).

#### 4.3.3 Influência do posicionamento das canas para formação do painel (paralelas ou perpendiculares) nos parâmetros térmicos estudados

No caso das esteiras, optou-se por posicionar as canas de duas maneiras para a produção do painel, esteiras paralelas umas as outras (Figura 41(a)) e esteiras perpendiculares entre si (Figura 41(b)). A montagem dos painéis perpendiculares necessita de menos esteiras para alcançar a mesma espessura (neste caso, 10 e 15 cm) em comparação ao paralelo. Para os painéis de 10 cm, o G1 representou a menor condutividade térmica e maior resistência térmica com menor transmissão de calor, seguido pelo

grupo misto, ambos enquadrados no limite de condutividade aceitável em regulamentação, o G2 ficou por último, mas ainda sim com boa resistência térmica. Quando comparado os painéis feitos de esteira, o G1 paralelo possui resultados muito próximos do G1 perpendicular, são duas boas e eficientes soluções, contudo, a paralela precisa de uma esteira a mais na composição, ou seja, precisa de mais canas.

Para os painéis de 15 cm, o G1 também apresentou melhor desempenho, seguido do misto e por último G2. Aqui todas as amostras ficaram acima dos  $0,065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  em condutividade térmica, mas todos cumprem no quesito resistência térmica ( $>0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ ). Diferentemente dos painéis de 10 cm, neste caso, o G1 perpendicular obteve um melhor desempenho térmico quando comparado com o G1 paralelo, mas mais que isto, este painel atingiu a maior resistência do ensaio, com  $2,035 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$  e conseqüentemente menor transmissão térmica registrada. É, sem dúvida, uma excelente solução de isolamento térmico, mesmo com uma condutividade pouco acima dos requisitos em vigor.

No ensaio perpendicular, para ambas as espessuras (10 e 15 cm), o grupo que se destaca em desempenho térmico são com as canas de menor dimensão, ou seja, G1.

#### 4.3.4 Influência do posicionamento das canas para realização do ensaio (horizontal ou vertical) nos parâmetros térmicos estudados

Dos painéis paralelos, ensaiados por grupos e espessuras, em ambas as posições (vertical e horizontal), 71,24% obtiveram menor condutividade térmica e maior resistência térmica na posição horizontal. Tornando clara a tendência de que a posição horizontal da cana proporciona um melhor desempenho térmico.

Como mencionado no item anterior, os painéis com canas perpendiculares umas às outras possuem um grande potencial como solução de isolamento térmico, e com menos canas. Aqui é um conjunto entre vertical e horizontal, como um equilíbrio, onde a médias para condutividade e resistência foram mais promissoras nos painéis perpendiculares do que nos paralelos.

O bom desempenho ligado ao ensaio perpendicular, com menos canas, e a tendência associada aos bons resultados nos painéis ensaiados na horizontal, pode ser da característica anisotrópica do material. Observou-se que nos painéis de 10 cm onde foi realizado um maior número de ensaios verticais e horizontais para os grupos, a tendência é de uma menor condutividade térmica em amostras ensaiadas



horizontalmente. Os resultados dos painéis perpendiculares são muito próximos aos painéis paralelos ensaiados na horizontal (esteira) com exceção do G1.

Para esteira 15 cm paralelo os ensaios foram apenas verticais, dificultando a comparação, contudo de três grupos ensaiados, dois obtiveram melhor desempenho no modo perpendicular, apontando que o sentido do material tem impacto. A condutividade térmica depende da temperatura, composição e orientação do material, assim, para materiais anisotrópicos, a direção é um importante fator para determinar a condutividade térmica (Ezekoye, 2015).

Na Argentina, uma solução construtiva é o muro de quiche, ao centro da espessura da parede são dispostas canas, mais especificamente a *Arundo donax* L. da região, e revestidas com terra. Ao analisar o desempenho do muro e dos materiais, descobriu-se que para uma fileira de cana (20 mm diâmetro), dispostas na horizontal, possui resistência térmica de 0,209 m<sup>2</sup>.°C/W (Cuitiño et al., 2011). Um painel esteira de 10 cm, com canas do G2 de diâmetro acima de 15 mm, é composto por 6 esteiras, se o equivalente a uma esteira a resistência apresentada por Cuitiño et al. (2011) é 0,209 m<sup>2</sup>.°C/W, e multiplicado este valor pelas 6 esteiras do painel, é possível obter valores de resistência próximas a este presente ensaio.

Boa parte dos resultados aqui apresentados, quanto a condutividade térmica, se assemelham ao encontrado para a *Arundo donax* L., em painéis com condutividade entre 0,074 a 0,086 W/m.°C (Ferrández-García et al., 2012). Contudo, na composição do painel estudado por Ferrández-García et al. (2012) há aglutinantes, que contribuem para o resultado.

#### 4.3.5 Influência do diâmetro das canas nos parâmetros térmicos estudados

Os resultados obtidos apontam para uma tendência de melhor performance térmica para os painéis do G1, com diâmetro médio igual a 13,37 mm. O G2 com 16,79 mm (com amostra chegando a 21,5 mm) possuem resultados ligeiramente inferiores de modo geral. Contudo, quando o painel é misto, há um certo equilíbrio entre os diâmetros, não tem o melhor nem o pior resultado, com exceção do painel caixa 5cm, que o painel misto se sobressaiu. Esta tendência é facilmente observada nos resultados para painéis perpendiculares.

Um estudo realizado com *Phragmites australis*, usando o método da *hot box*, painéis com 56 mm, tendo canas com média de diâmetro entre 3,6 e 8,8 mm, obteve-se 0,065 W/m.°C de condutividade térmica (Asdrubali et al., 2016). De acordo com o autor, em oposição aos resultados obtidos nesta pesquisa, a diferença entre os diâmetros das canas não causa interferência nos resultados. Um importante fator a

ter em conta nesta comparação entre resultados é a questão do diâmetro. Os diâmetros aqui trabalhados não são tão pequenos como os da *Phragmites australis* estudadas por Asdrubali et al. (2016).

#### 4.3.6 Cana como material de isolamento térmico

Analisando o poder de transmitir o calor de um lado a outro do material, um fardo de palha com 500 mm de espessura atinge uma transmissão térmica (U) entre 0,130 a 0,200 W/m<sup>2</sup>.°C (Nunes, 2017), e a cana colhida em Portugal tem muito potencial para competir com a palha, visto que em 150 mm de espessura chegou a uma transmissão térmica de 0,491 W/m<sup>2</sup>.°C no painel perpendicular. Pois, quanto mais baixo for o valor U, melhor será considerado o isolamento térmico da construção (Energy Saving Trust, 2006).

Se os painéis fossem analisados como um elemento opaco vertical da envolvente exterior, analisando os limites de referência para o coeficiente de transmissão térmica (U), compreendido no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e considerando a zona climática I1 (inverno) e V3 (verão) (Decreto-Lei n° 80/2006, 2006), correspondente ao conselho de Serpa (local de colheita das canas), o valor de referência para U em zona I1 é de 0,50 W/m<sup>2</sup>.°C e U máximo de 1,75 W/m<sup>2</sup>.°C (Ministério do Ambiente, 2015). Os painéis de cana se aproximam deste valor de referência, tendo um abaixo de 0,50 W/m<sup>2</sup>.°C, sendo que nenhum atinge o limite de transmissão determinado.

A humidade está diretamente ligada com uma alta ou baixa condutividade, quanto maior for o conteúdo de humidade do material maior será a sua condutividade térmica, permitindo uma maior transferência de calor (Gaujena et al., 2020; Modi et al., 2014). Sendo as canas utilizadas, apenas secas naturalmente, ainda possuem humidade residual no tecido celular, esta pode ou não, ter tido alguma participação nos resultados.

Diversos autores, creditam ao ar, o potencial térmico dos materiais, como Al-Homoud (2005), que aponta que o que confere a resistência térmica é o ar contido no material natural, assim, se um material tem capacidade de resistir ao fluxo de calor insidente nele, significa que existe ar na parede celular. Focando diretamente nas hastes de cana, Miljan (2013) afirma que a boa propriedade de isolamento térmico está na estrutura oca, preservando o ar dentro de sua haste.

Materiais de isolamento térmico convencionais com base de espuma de plástico como o poliestireno e poliuretano, na fabricação utilizam um gás fluorocarbono, conhecido por ser mais pesado que ar. Este

gás substitui o ar dentro das células proporcionando um melhor desempenho térmico (Al-Homoud, 2005). Mesmo sem este gás pesado, o desempenho da cana é evidentemente satisfatório (Tabela 20).

Tabela 20 – Condutividade térmica de materiais de isolamento térmico convencionais comparados a cana em estudo

<b>Material de isolamento térmico</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Condutividade Térmica W/m.°C</b>	<b>Resistência Térmica m<sup>2</sup>.°C/W</b>	<b>Referência</b>
<b>XPS</b>	50 - 100	0,036 – 0,038	1,40 - 2,65	(Danosa, 2021)
<b>EPS</b>	50 - 100	0,034 – 0,042	1,15 - 2,90	(Fibroson, 2021)
<b>Lã de rocha</b>	50 - 100	0,033 – 0,037	1,35 - 3,00	(Termolan, 2021)
<b><i>Arundo donax</i> L.</b>	<b>50 - 100</b>	<b>0,044 – 0,078</b>	<b>0,85 - 1,65</b>	<b>Este estudo</b>

Dos 33 ensaios apresentados, 36,36% possui condutividade térmica em conformidade com os requisitos térmicos exigidos para Portugal (< 0,065 W/m.°C), e 100 % dos painéis ensaiados cumprem com a legislação para resistência térmica (>0,30 m<sup>2</sup>.°C/W). A *Arundo donax* L. é uma promissora solução para isolamento térmico das envolventes, tendo de ser sempre levado em consideração a massa volúmica e a posição do painel.

Os resultados são positivos do ponto de vista térmico, mas também do ponto de vista da sustentabilidade. Sendo uma solução viável e eficiente como material de isolamento térmico, sem custo na produção do material, com tipologia de painéis que podem ser executados por mão-de-obra não especializada, e com custo reduzido no transporte, sendo um material de fácil localização em Portugal.

É importante seguir realizando ensaios com a cana a fim de se chegar a melhores soluções, como por exemplo testar painéis com canas de menores espessuras que o estipulado no G1, ou seja, mais próximas ao topo. Isto para seguir testando a tendência de quanto maior a massa volúmica menor a condutividade, e como visto anteriormente (4.1.3), a cana com menor espessura tem maior massa volúmica.

Além disso, é necessário conhecer o comportamento dos painéis de cana como material de isolamento térmico para soluções construtivas reais, vernáculas e em terra, através de ensaios *in situ* ou em protótipos, no sentido de dar resposta à questão inicial do trabalho.

## 5 CONCLUSÕES

Em contraponto com a produção de materiais de isolamento térmico convencionais, associados ao consumo de grandes quantidades de energia durante a sua produção e transporte (energia incorporada) e, conseqüentemente a importantes emissões de gases de efeito estufa, a utilização de materiais naturais tem-se tornado uma opção cada vez mais viável e atrativa.

Os resultados aqui apresentados evidenciam o potencial de utilização da cana gigante *Arundo donax* L. colhida em Portugal como material de construção e, de maneira mais específica, como material de isolamento térmico. Mostra-se aqui, através de características técnicas, que a cana que em tempos teve um lugar de destaque na arquitetura vernácula portuguesa, continua a apresentar potencial para ser inserida novamente na construção, podendo ser utilizado de muitas formas na arquitetura, tanto na reabilitação da arquitetura tradicional como em novas propostas contemporâneas, criando novas técnicas de construção e possibilitando um maior conforto térmico.

Sendo um material abundante e disponível em todo o território Português, é possível desenvolver e fabricar painéis termicamente eficazes que possam contribuir para o conforto no interior de uma edificação. É importante ainda ressaltar que, por ser um material local, o custo com o transporte é baixo, fomenta cadeias de valor à escala local e emite menores quantidades de poluentes. Adicionalmente, a *Arundo donax* L., no final da sua vida útil, pode ser devolvida ao meio ambiente com reduzidos impactes ambientais ou ser valorizada energeticamente.

A *Arundo donax* L. portuguesa atinge teores de humidade semelhantes e até mais baixos que a madeira, tornando-a um material em potencial para ser aplicado na construção. A *Arundo donax* L. mostrou uma elevada higroscopicidade, podendo em condições de imersão total atingir mais de 90% de absorção de água (teor de humidade) em apenas 24 horas, e um aumento de massa de 50% em imersão parcial, sendo este um fator a ter em consideração quando da sua utilização em soluções construtivas.

A variação dimensional durante secagem em estufa, após um ano de secagem natural, destacou-se para as amostras com menor diâmetro (entre 11 e 15mm), nos três quesitos avaliados, diâmetro, espessura e comprimento, com maior variação na região sem nó (entrenó). A maior variação alcançada foi 7,35% para a espessura. A retração na *Arundo donax* L. ocorre, com valores inferiores ao bambu e muito próximos aos valores da *Phragmites australis*. Considerando o uso da *Arundo donax* L. inteira na construção, a retração não deve ser um problema, visto que para os diferentes diâmetros estudados a

retração linear é de menos de 5% e menos de 8% na retração volumétrica. Além de não ter sido notada qualquer deformação na estrutura da cana, como pode acontecer ao bambu e a madeira.

No que diz respeito ao desenvolvimento de fungos, sob condições favoráveis, as amostras *Arundo donax* L. apresentaram uma taxa de desenvolvimento elevada ao final de 42 dias de ensaio. Contudo, há alguns pontos que devem ser destacados: a superfície estudada foi a mais vulnerável, interior; condições semelhantes as que foram estudadas podem ocorrer em ambientes naturais muito específicos; quando submetida a uma secagem artificial, há uma redução considerável na taxa de crescimento dos fungos.

O desempenho térmico da *Arundo donax* L. estudada é muito satisfatório. Quase 40% dos painéis cumpriram com a regulamentação em vigor no que diz respeito à condutividade e 100% apresenta resistência térmica em conformidade. Destacam-se os painéis de 5 cm, que já cumprem todos os requisitos com menos canas que um painel de 15 cm que cumpre parcialmente, tornando claro que uma maior quantidade de cana não está diretamente relacionada com um melhor desempenho térmico. Contudo, é preciso encontrar um equilíbrio, pois apesar das baixas condutividades em painéis de menores espessuras, a resistência também é a menor registrada. Há uma tendência para painéis com maior massa volúmica apresentarem menor condutividade térmica e quanto menor a massa volúmica maior a resistência térmica. Um fator relevante é a posição de ensaio (vertical ou horizontal). As canas na horizontal demonstram melhor desempenho. Sobre o diâmetro, as hastes de *Arundo donax* L. com menor diâmetro mostraram maior potencial térmico. A tipologia do painel também deve ser tida em consideração. Para o caso estudado, no geral, os painéis construídos em modo esteira, apresentaram melhores resultados. Muitos são os fatores que devem ser considerados, levando a importância de se realizar mais ensaios e analisar as tendências aqui apresentadas. Os resultados com as hastes de *Arundo donax* L. paralelas umas às outras, foram muito semelhantes entre os tipos de painéis, de modo geral, as caixas atingiram uma resistência térmica entre 0,878 e 1,935 m<sup>2</sup>.°C/W e as esteiras entre 0,850 e 1,894 m<sup>2</sup>.°C/W, e a maior resistência térmica foi registrada no painel perpendicular de 15 cm do G1 com 2,035 m<sup>2</sup>.°C/W.

A *Arundo donax* L. tem amplo potencial para ser utilizada na arquitetura, com boas perspectivas como material de isolamento térmico, além de seus usos variados. Será mesmo que esta planta deve ser considerada uma invasora ao invés de recurso abundante? Será esta a melhor solução? Muitos locais já plantam propositalmente, seja para construção ou para capturar CO<sub>2</sub>. Portugal tem em seu território um interessante material natural, um recurso abundante, e com capacidade de resistência a fogos rurais, pois o seu rizoma garante a sua continuidade. No entanto, o seu crescimento deverá ser controlado de

modo a não causar danos ao ecossistema, isso é indiscutível, mas deve ser feito melhor uso, retirando da lista de invasora, e inserir em uma lista de solução natural com potencial construtivo.

É necessário na arquitetura, continuar a procurar novas alternativas mais sustentáveis para a construção, novas tecnologias e materiais que minimizem os impactos causados nas últimas décadas, sempre levando em consideração os pilares da sustentabilidade: económico, social e ambiental. É preciso que se pense em usos diferentes para estes materiais naturais por meio de antigas técnicas da construção vernácula aliadas a soluções inovadoras, explorar e potencializar novos materiais que possibilitem a bioconstrução com funcionalidade, base científica, bom desempenho técnico e alta eficiência energética.

Espera-se que a cana aliada às paredes tradicionais de terra, destacadas pelo projeto de investigação reVer, alcancem uma compatibilidade física e térmica, a ponto de dispor de um bom desempenho térmico interno e durabilidade. Sabe-se que ambos os materiais (cana e terra) compõem técnicas construtivas vernáculas, como as paredes de tabique e as paredes de “quiche” da Argentina. A questão a esclarecer é como a cana vai reagir como uma solução construtiva pelo exterior, sem ser parte da composição da alvenaria de terra. Assim, o projeto reVer+ segue no comprometimento com a sustentabilidade na construção, buscando e analisando soluções promissoras e viáveis para a arquitetura portuguesa.

O mundo clama por eficiência energética diante das alterações climáticas causadas pelo ser humano num processo constante de industrialização e consequentemente emissão de poluentes na atmosfera. A arquitetura contemporânea e a selva de aço e betão precisam evoluir, e o futuro deve ser inspirado nas técnicas e materiais do passado, aliados ao conhecimento científico do presente.

## 5.1 Sugestões para trabalhos futuros

A cana é um material que tem muito ainda para ser investigado, não só na construção, mas em diversas áreas científicas. No segmento desta investigação propõem-se algumas sugestões de trabalhos futuros que venham a complementar esta pesquisa, que são:

- Analisar o efeito da humidade no potencial térmico da cana, ensaiando canas com diferentes períodos e modos de secagem;
- Verificar o nível de permeabilidade ao vapor de água da cana;
- Realizar ensaio mecânicos com a cana de origem portuguesa e comparar com dados de outras regiões do globo;

- Realizar ensaios com produtos (naturais ou não) de potencial proteção física da cana, a fim de atestar uma melhor durabilidade mas com a garantia de não alteração das propriedades do material;
- Realizar uma análise de durabilidade mais aprofundada, com diferentes humidades relativas e temperaturas, a fim de analisar e verificar a que condições climáticas de segurança a cana resiste ao crescimento de fungos;
- No âmbito do desempenho térmico, realizar novos ensaios com painel de cana revestido com uma argamassa de gesso ou argamassa de terra, analisando seu desempenho em uma situação de proteção e acabamento do painel;
- Caracterizar a espécie de “algodão” existente no interior das canas e estudar a sua importância na estrutura da cana e no comportamento do nó;
- Realizar os mesmos ensaios de caracterização termo-física e de durabilidade para a espécie *Phragmites australis*, realizando uma análise comparativa com a *Arundo donax* L. analisada neste estudo;
- Realizar de uma avaliação do ciclo de vida para as canas, para identificar as suas mais-valias ambientais em relação aos materiais de isolamento térmico convencionais;
- Analisar microscopicamente a cana sob efeito de absorção de água e durante a secagem, em processo de retração, a fim de estudar o comportamento celular (fibras e poros) perante estas situações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAV. (1980). *Arquitectura Popular em Portugal* (2dn ed.). Associação dos Arquitectos Portugueses.
- AAV. (2005). *Arquitectura de terra em Portugal*. Argumentum.
- Al-Homoud, M. S. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.05.013>
- Almeida, M. (2010). Materiais de origem vegetal. In Edições Afrontamento (Ed.), *Materiais, sistemas, e técnicas da construção tradicional. Contributo para o estudo da arquitetura vernácula da região oriental da serra do Caldeirão* (2 ed, pp. 52–61).
- Almusaed, A., & Almssad, A. (2015). Building materials in eco-energy houses from Iraq and Iran. *Case Studies in Construction Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2015.02.001>
- Andreu-Rodriguez, J., Medina, E., Ferrandez-Garcia, M. T., Ferrandez-Villena, M., Ferrandez-Garcia, C. E., Paredes, C., Bustamante, M. A., & Moreno-Caselles, J. (2013). Agricultural and Industrial Valorization of Arundo donax L. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44, 1–4. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.745363>
- Anokye, R., Kalong, R. M., Bakar, E. S., Ratnasingam, J., Jawaid, M., & Awang, K. (2014). Variations in moisture content affect the shrinkage of Gigantochloa scortechinii and Bambusa vulgaris at different heights of the Bamboo Culm. *BioResources*, 9(4). <https://doi.org/10.15376/biores.9.4.7484-7493>
- Arundo Bioenergy. (2020). *Arundo Donax Uses: 8 Ways to Utilise Giant Reed*. Arundo Bioenergy. Retrieved August 25, 2020, from <https://arundobioenergy.com/>
- Asdrubali, F., Bianchi, F., Cotana, F., D' Alessandro, F., Pertosa, M., Pisello, A. L., & Schiavoni, S. (2016). Experimental thermo-acoustic characterization of innovate common reed bio-based panels for building envelope. *Building and Environment*, 102, 217–229.
- Asdrubali, F., D' Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>
- ASTM 1046-95. (2001). C1046-95 Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components. *Practice*, 95(Reapproved).
- ASTM C1155 - 95. (2013). C1155 - Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ Data. *Astm American Society for Testing and Materials*, (Reapproved 2007), 1–8.
- Barreca, F. (2012). Use of giant reed Arundo donax L. in rural constructions. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.
- Barreca, F., & Fichera, C. R. (2013). Wall panels of Arundo donax L. for environmentally sustainable agriculture buildings: Thermal performance evaluation. *Journal of Food, Agriculture and Environment*.
- Barreca, F., Gabarron, A. M., Yepes, J. A. F., & Pérez, J. J. P. (2019). Innovative use of giant reed and cork residues for panels of buildings in Mediterranean area. *Resources, Conservation and Recycling*,



140, 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.005>

- Bassam, N. El, & Dalianis, C. D. (2010). Energy Crops Guide: Giant Reed (*Arundo donax* L.). In *Handbook of Bioenergy Crops: A Complete Reference to Species, Development and Applications* (1 st, pp. 193–199). Earthscan. <https://doi.org/10.4324/9781849774789>
- Bejarano, S. G., & Delgado, E. S. (2012). *Arundo donax* L.: material de construcció [Universitat Politècnica de Catalunya]. <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/16539>
- Bell, G. P. (1997). Ecology and management of *Arundo donax*, and approaches to riparian habitat restoration in southern California. *Plant Invasions: Studies from North America and Europe*.
- Beraldo, A. L., Azzini, A., Ghavami, K., & Pereira, M. A. dos R. (1996). *Bambu: características e aplicações*. [https://bambubioartefato.files.wordpress.com/2014/07/1996-bambu\\_-caracterc3adsticas-e-aplicac3a7c3b5es-a-beraldo-24pg.pdf](https://bambubioartefato.files.wordpress.com/2014/07/1996-bambu_-caracterc3adsticas-e-aplicac3a7c3b5es-a-beraldo-24pg.pdf)
- Bergholm, J. (2012). *JÄRVIRUO'ON JA MUIDEN RAKENNUSMATERIAALIEN MIKROBIHERKKYYS (SUSCEPTIBILITY TO MICROBIAL GROWTH OF COMMON REED AND OTHER CONSTRUCTION MATERIALS)*. Turku University of Applied Sciences.
- Betão e Taipa. (2004). *Betão e Taipa - Portfolio*. BT Betão e Taipa, Lda. <https://www.betaotaipa.pt/>
- Blaiis, Z. (2010). An Overview of the Rise of *Arundo donax* in Oboe Reeds. *The Double Reed*, 10. [https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-011911-112924/unrestricted/FINAL\\_IQP\\_REPORT.pdf](https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-011911-112924/unrestricted/FINAL_IQP_REPORT.pdf)
- Block, S. S. (1953). Humidity requirements for mold growth. *Applied Microbiology*, 1(6). <https://doi.org/10.1128/aem.1.6.287-293.1953>
- Bozsaky, D. (2010). The historical development of thermal insulation materials. *Periodica Polytechnica Architecture*. <https://doi.org/10.3311/pp.ar.2010-2.02>
- Braga, A., & Graça, A. (2012). Análisis de las Construcciones en Tierra Cruda en el Algarve. *XI Conferencia Internacional Sobre El Estudio y Conservación Del Patrimonio Arquitectónico de Tierra - Terra 2012. Lima, Perú*.
- Braga, A. M., & Estêvão, J. M. C. (2012). Dificuldades associadas à reabilitação do património construído em taipa no Algarve. *4 Congresso Nacional Da Construção*, 1–11.
- Brito, F. M. S., Paes, J. B., Oliveira, J. T. da S., Arantes, M. D. C., & Neto, H. F. (2015). Caracterização anatômica e física do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* Munro). *Floresta e Ambiente*, 22(4). <https://doi.org/10.1590/2179-8087.033913>
- Broadbent, G. (2008). The ecology of the mudhif. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. <https://doi.org/10.2495/ARC080021>
- BSI ISO 22157:2019. (2019). BS ISO 22157: 2019 Bamboo structures – Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms – Test methods. In *British Standards Institution* (pp. 1–34). <https://doi.org/https://doi.org/10.3403/30324717U>
- CABI. (2021). *Invasive Species Compendium*. [www.cabi.org/isc](http://www.cabi.org/isc)
- Canyaviva. (n.d.). *Canyaviva arquitectura natural*. Retrieved January 4, 2021, from <https://canyaviva.org/canyaviva/>
- Carneiro, P., Jerónimo, A., & Faria, P. (2017). *Reed-cob: tecnologia inovadora de baixo carbono para*

*construção de pequeno porte. November, 16–17.*

- Chiou, Y. S., & Elizalde, J. S. (2019). Thermal performances of three old houses: A comparative study of Heterogeneous vernacular traditions in Taiwan. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(19). <https://doi.org/10.3390/su11195538>
- Climate-data. (n.d.). *Serpa Clima*. Climate-Data.Org. Retrieved November 15, 2020, from <https://pt.climate-data.org/europa/portugal/serpa/serpa-6917/>
- Correia, M. (2002). A Habitação Vernácula Rural no Alentejo, Portugal. *Memórias Del IV Seminario Iberoamericano Sobre Vivienda Rural y Calidad de Vida En Los Asentamientos Rurales, Santiago Del Chile, Chile*, 134–144.
- Couvreur, L., & Remón, A. B. (2019). *Construir con caña - Estudio del uso de la caña en la arquitectura tradicional y de su recuperación para la construcción contemporánea* (S. G. TÉCNICA, S. G. de A. al Ciudadano, & D. y Publicaciones (eds.)). Ministerio de Cultura y Deporte.
- Cruz, N. S., Torres, M. I. M., & Silva, J. A. R. M. da. (2011). Bioclimatic Architecture Potential in Buildings Durability and in their Thermal and Environmental Performance. *Bioclimatic Architecture Potential in Buildings Durability and in Their Thermal and Environmental Performance*.
- Cuitiño, G., Esteves, A., Rotondaro, R., Maldonado, G., & Hernadez, A. L. (2011, October). Análisis del comportamiento termico de muros de quincha. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*; *15*, 23–26.
- D'Alvo, S. F. S. (2013). *O centro histórico de Faro: a arquitectura e as suas influências*. Universidade Lusíada de Lisboa.
- Dabaieh, M., & Sakr, M. (2015). BUILDING WITH REEDS : Revitalizing a building tradition for low carbon building practice. *CIIV-ICTC 2015: ICOMOS Thailand International Conference*.
- Danelli, T., Laura, M., Savona, M., Landoni, M., Adani, F., & Pilu, R. (2020). Genetic improvement of arundo donax L.: Opportunities and challenges. In *Plants* (Vol. 9, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/plants9111584>
- Danosa. (2021). *Product Datasheet*. IMPERMEABILIZAÇÃO, ISOLAMENTO E ARGAMASSAS PARA EDIFICAÇÃO E OBRA CIVIL. Retrieved June 24, 2021, from <https://portal.danosa.com/danosa/CMSServlet?cmd=volverHome&lng=4&site=3>
- Decreto-Lei n° 80/2006. (2006). Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei n.o 80/2006, de 4 de Abril. In *Diário da República - I Série - A - n° 67*.
- Decreto-Lei n° 92/2019. (2019). Decreto-Lei n.º 92/2019 de 10 de julho - Lista Nacional de Espécies Invasoras, conforme previsto no n.º 1 do artigo 17.º. In *Diário da República, 1.ª série – N.º 130* (pp. 3428–3442). <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/92/2019/07/10/p/dre>
- Dhar, P., Borah, P., Singh, M. K., & Mahapatra, S. (2015). *Thermal Characteristics of a Vernacular Building Envelope*. January.
- Dias, J. R. (2017). *Caracterização da Madeira de Pinho Manso* [Universidade de Coimbra]. <https://repositorio.utad.pt/handle/10348/7807>
- Dikmen, N., & Ozkan, S. T. E. (2016). Unconventional Insulation Materials. In *Insulation Materials in Context of Sustainability*. <https://doi.org/10.5772/63311>

- Donati. (2021). *Production Var reed cane*. <http://www.donati-reeds.com/en/>
- Douzane, O., Promis, G., Roucoult, J. M., Tran Le, A. D., & Langlet, T. (2016). Hygrothermal performance of a straw bale building: In situ and laboratory investigations. *Journal of Building Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.10.002>
- Draft, S. (2008). Management Plan for the Hawizeh Marsh Ramsar Site of Iraq. *Nature Iraq*, 2(December). [www.natureiraq.org](http://www.natureiraq.org)
- Duarte, M., & Moreira, I. (2009). *Flora Aquatica e Ribeirinha*. [http://www.arh Algarve.pt/site/parameters/arh Algarve/files/File/upload/Publicacoes/livro\\_flora.pdf](http://www.arh Algarve.pt/site/parameters/arh Algarve/files/File/upload/Publicacoes/livro_flora.pdf)
- eFloras. (2008). *Flora of Pakistan*. Retrieved June 21, 2021, from <http://www.efloras.org/>
- Eftepedia. (2021). *Huis Van De Vijf Zintuigen (The House of the Five Senses)*. Eftepedia.NL. [https://www.eftepedia.nl/lemma/Huis\\_van\\_de\\_Vijf\\_Zintuigen](https://www.eftepedia.nl/lemma/Huis_van_de_Vijf_Zintuigen)
- Energy Saving Trust. (2006). *CE184: Practical refurbishment of solid-walled houses Contents*. 32.
- Ezekoye, O. A. (2015). Conduction of Heat in Solids. In Morgan J. Hurley, D. Gottuk, J. R. Hall Jr, K. Harada, E. Kuligowski, M. Puchovsky, J. Torero, J. M. Watts Jr., & C. Wieczorek (Eds.), *SFPE handbook of Fire Protection Engineering* (Fifth Edit, pp. 25–52). Springer.
- Fernandes, F. M., & Carvalho, L. M. M. de. (2004). Los usos de Aundo Donax L. (Poaceae) en el concejo de Beja, Alentejo, Portugal. *Etnobiología*, 4, 67–72.
- Fernandes, J., Malheiro, R., Castro, M. D. F., Gervásio, H., Silva, S. M., & Mateus, R. (2020). Thermal performance and comfort condition analysis in a vernacular building with a glazed balcony. *Energies*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/en13030624>
- Fernandes, J., & Mateus, R. (2012). Energy efficiency principles in Portuguese vernacular architecture. *BSA 2012: 1st International Conference on Building Sustainability Assessment*.
- Fernandes, J., Mateus, R., & Bragança, L. (2013). The potential of vernacular materials to the sustainable building design. In *Vernacular Heritage and Earthen Architecture*. <https://doi.org/10.1201/b15685>
- Fernandes, J., Mateus, R., Bragança, L., & Pimenta, C. (2015). O Contributo dos Materiais Vernáculos para Sustentabilidade do Ambiente Construído. *Livro de Atas Do Seminário ReVer: Contributos Da Arquitetura Vernácula Portuguesa Para a Sustentabilidade Do Ambiente Construído*.
- Fernandes, M. (2006). Técnicas de construção em terra. *Terra: Forma de Construir. 10ª Mes Redonda de Primavera Arquitectura, Antropologia, Arqueologia.*, 20–25.
- Ferrandez-Garcia, C. C., Ortuño, T. G., Ferrandez-Garcia, M. T., Ferrandez-Villena, M., & Ferrandez-Garcia, C. E. (2017). Fire-resistance, physical, and mechanical characterization of binderless rice straw particleboards. *BioResources*, 12. <https://doi.org/10.15376/biores.12.4.8539-8549>
- Ferrández-García, C. E., Ferrández-Villena, M., Ferrández-Cuartero, J., Ortuño, T. G., Ferrández-García, M. T., & Andreu-Rodríguez, J. (2012). Manufacture and Properties of Three-Layered Low Density Particleboard from Giant Reed. *International Conference of Agricultural Engineering - CIGR-AgEng 2012: Agriculture and Engineering for a Healthier Life*.
- Ferrandez-Garcia, M. T., Ferrandez-Garcia, C. E., Ortuño, T. G., Ferrandez-Garcia, A., & Ferrandez-Villena,

- M. (2019). Experimental evaluation of a new giant reed (*Arundo donax* L.) composite using citric acid as a natural binder. *Agronomy*, *9*(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy9120882>
- Ferreira, D., Fernandes, S., Luso, E., & Vaz, A. J. F. (2015). Soluções bioclimáticas da arquitetura vernacular na região transfronteiriça entre Bragança e Castela-Leão. In R. Mateus, J. Fernandes, L. Bragança, M. Almeida, S. Silva, P. Mendonça, & H. Gervásio (Eds.), *Atas do Seminário reVer - Contributos da arquitetura vernácula portuguesa para a sustentabilidade do ambiente construído*. (pp. 63–72).
- Ferreira, D., Luso, E., Fernandes, S., Vaz, A. J. F., Moreno, C., & Correia, R. (2013). *Bioclimatic solutions existing in vernacular architecture. Rehabilitation techniques*. 639–645. <http://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/9066>
- Fibrosom. (2021). *Product Datasheet*. Retrieved June 24, 2021, from <http://www.fibrosom.com/>
- Filippidou, F., & Navarro, J. P. J. (2019). Achieving the cost-effective energy transformation of Europe's buildings. In *Publications Office of the European Union: Vol. EUR 29906* (Issue JRC117739). [https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC117739/cost\\_optimal\\_energy\\_renovations\\_online.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC117739/cost_optimal_energy_renovations_online.pdf)
- Flora-on: Flora de Portugal Interactiva. (2014). *Sociedade Portuguesa de Botânica*. Sociedade Portuguesa de Botânica. Retrieved January 2, 2021, from [www.flora-on.pt](http://www.flora-on.pt)
- Florea, I., & Manea, D. L. (2019). Analysis of Thermal Insulation Building Materials Based on Natural Fibers. *Procedia Manufacturing*, 230–235. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.207>
- Freitas, M. P. (2019). *Análise prática das propriedades físicas e mecânicas do bambu Phyllostachys edulis, cultivado em Portugal*. Universidade do Minho.
- Gao, Q., Ma, Z., Xiao, J., & Li, F. (2018). Effects of Imposed Damage on the Capillary Water Absorption of Recycled Aggregate Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering, 2018*. <https://doi.org/10.1155/2018/2890931>
- Gaujena, B., Agapovs, V., Borodinecs, A., & Strelets, K. (2020). Analysis of Thermal Parameters of Hemp Fiber Insulation. *Energies*, *13*(23). <https://doi.org/10.3390/en13236385>
- Goodhew, S., & Griffiths, R. (2005). Sustainable earth walls to meet the building regulations. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.08.005>
- Häkkinen, J. (2007). Traditional use of reed. In E. Ikonen, Iiro; Hagelberg (Ed.), *Read up on reed!* (pp. 62–72).
- Hardion, L., Verlaque, R., Callmander, M. W., & Vila, B. (2012). *Arundo micrantha* Lam. (Poaceae), the correct name for *Arundo mauritanica* Desf. And *Arundo mediterranea* Danin. *Candollea*. <https://doi.org/10.15553/c2012v671a11>
- Hardion, L., Verlaque, R., Saltonstall, K., Leriche, A., & Vila, B. (2014). Origin of the invasive *Arundo donax* (Poaceae): A trans-Asian expedition in herbaria. *Annals of Botany*, *114*(3), 455–462. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu143>
- Helena, N. J. S. (2011). *Caracterização mecânica de paredes com fardos de palha* [Universidade do Aveiro]. <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/8600/1/248473.pdf>
- Hemmi, A., Ikonen, I., Jalli, V., Miljan, J., & Laizans, A. (n.d.). *Guidebook of Reed*.

- Hiss Reet. (2017). *Hiss Reet Platte – die ökologische Dämmung*. Hiss Reet Schilfrohrhandel GmbH. [https://www.hiss-reet.de/fileadmin/user\\_upload/nachhaltiges-bauen/hiss-reet-platte.pdf](https://www.hiss-reet.de/fileadmin/user_upload/nachhaltiges-bauen/hiss-reet-platte.pdf)
- Hukka, A., & Viitanen, H. A. (1999). A mathematical model of mould growth on wooden material. *Wood Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s002260050131>
- ICOMOS. (1999). *Carta del Patrimonio Vernáculo Construido*. [https://www.icomos.org/charters/vernacular\\_sp.pdf](https://www.icomos.org/charters/vernacular_sp.pdf)
- IPMA. (2020). *Clima de Portugal Continental*. Instituto Português Do Mar e Da Atmosfera. <https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/>
- ISO 9869. (2014). *Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance - Part 1: Heat flow meter method*. ISO copyright office. [www.iso.org](http://www.iso.org)
- Itcons. (2020). *European Technical Assessment – ETA 19/2019 of 03/2020* (Vol. 1201, Issue 305). <https://www.itecons.uc.pt/storage/W1siZiZlsljWmJAvMDMvMDMvMXc2YnB6d241N19FVEFfMTIfMDlxOV9WZXJzaW9uXzlwMjAwMzAzLnBkZiJdXQ?sha=478cc94ffdb17002>
- Jiménez-Espada, M., Herrero-Adán, D., & González-Escobar, R. (2021). Characterization of mechanical and hygroscopic properties of individual canes of reed. *Materials*, *14*(9). <https://doi.org/10.3390/ma14092193>
- Kent, M. (2011). A importância de ser uro: movimentos indígenas, políticas de identidade e pesquisa genética nos andes peruanos. *Horizontes Antropológicos*. <https://doi.org/10.1590/s0104-71832011000100010>
- Khedari, J., Charoenvai, S., & Hirunlabh, J. (2003). New insulating particleboards from durian peel and coconut coir. *Building and Environment*. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00030-6)
- Köbbing, J. F., Thevs, N., & Zerbe, S. (2013). The utilisation of reed ( *Phragmites australis* ): a review. *Mires and Peat*, *13*.
- Kowaltowski, D. C. C. K., Watrin, V. da R., & Pina, S. A. M. G. (2007). Tradition and Thermal Performance : An Investigation of New-Vernacular Dwellings in Campinas , Brazil. In *Tradition A Journal Of Orthodox Jewish Thought (JSTOR): Vol. XVIII* (Issue 2). <https://www.jstor.org/stable/41758330>
- Lautkankare, R. (2007). Reed construction in the Baltic Sea region. In *Read up on Reed* (pp. 73–80).
- Lautkankare, R. (2013a). Determination of Thermal Conductivity of Reed in TRC of Finland. In Ülo Kaska Tallinn University of Technology (Ed.), *GUIDEBOOK OF REED BUSINESS* (pp. 28–29).
- Lautkankare, R. (2013b). The mold test. In Ülo Kaska Tallinn University of Technology (Ed.), *GUIDEBOOK OF REED BUSINESS* (pp. 42–45).
- Leite, L., Fernandes, J., Mateus, R., Gervásio, H., & Silva, S. M. (2017). Desempenho térmico e conforto de construções vernáculas em madeira – os palheiros de Mira. *II Encontro Nacional Sobre Reabilitação Urbana e Construção Sustentável: Do Edifício Para a Escala Urbana*.
- Leobonder.it. (2021). *PANNELLI IN CANNA PALUSTRE 2021 ARELLE ISOLAMENTO TERMICO A CAPPOTTO*. Leobonder.it. Retrieved June 19, 2021, from <http://www.leobodner.it/portal/default.asp?id=896&lang=ita&sez=prodotti>
- LEROY MERLIN. (2021). *Produtos de isolamento térmico*. LEROY MERLIN - Bricolage, Construção, Decoração e Jardim. <https://www.leroymerlin.pt/>

- LNEC E 393. (1993). *E 393 Betões - Determinação da absorção de água por capilaridade* (p. 2). Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Lord, A. E. (2003). Viscoelasticity of the giant reed material *Arundo donax*. *Wood Science and Technology*, 37(3–4). <https://doi.org/10.1007/s00226-003-0185-5>
- Lousã, M., Monteiro, A., Santo, D., Sousa, E., & Costa, J. C. (2007). Disciplina de Biologia: Módulo de Botânica- Manual de Teóricas e Práticas. *Instituto Superior de Agronomia - UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA*, 144.
- Luamkanchanaphan, T., Chotikaprakhan, S., & Jarusombati, S. (2012). A Study of Physical, Mechanical and Thermal Properties for Thermal Insulation from Narrow-leaved Cattail Fibers. *APCBEE Procedia*. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.03.009>
- Lyytinen, S., & Hagelberg, E. (2007). Turning reed into bioenergy - The long and winding road from beach to boiler. In E. Ikonen, Iiro; Hagelberg (Ed.), *Read up on reed!* (pp. 94–101).
- Malheiro, R., Ansolin, A., Guarnier, C., Cosentino, L., Silva, S., & Mateus, R. (2021). REED AS A THERMAL INSULATION MATERIAL: EXPERIMENTAL CHARACTERISATION OF THE PHYSICAL AND THERMAL PROPERTIES. In S. Amziane & M. Sonebi (Eds.), *4th International Conference on Bio-Based Building Materials* (pp. 674–679). ICBBM.
- Manohar, K. (2012). Experimental Investigation of Building Thermal Insulation from Agricultural By-products. *British Journal of Applied Science & Technology*. <https://doi.org/10.9734/bjast/2012/1528>
- Manuel, M., Costa, C., & Ponte, D. A. (2012). *ARQUITETURA DE TERRA : o desenho para a durabilidade das construções*.
- Marchante, H., Morais, M., Freitas, H., & Marchante, E. (2015). Guia prático para a identificação de plantas invasoras em Portugal. In *Guia prático para a identificação de plantas invasoras em Portugal*. <https://doi.org/10.14195/978-989-26-0786-3>
- Mariani, C., Cabrini, R., Danin, A., Piffanelli, P., Fricano, A., Gomarasca, S., Dicandilo, M., Grassi, F., & Soave, C. (2010). Origin, diffusion and reproduction of the giant reed (*Arundo donax* L.): A promising weedy energy crop. *Annals of Applied Biology*. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00419.x>
- May, N., & Rye, C. (2012). Responsible Retrofit of Traditional Buildings - A REPORT ON EXISTING RESEARCH AND GUIDANCE WITH RECOMMENDATIONS. In *STBA - Sustainable Traditional Building Alliance*. [http://www.sdfoundation.org.uk/downloads/RESPONSIBLE-RETROFIT\\_FINAL\\_20\\_SEPT\\_2012.pdf](http://www.sdfoundation.org.uk/downloads/RESPONSIBLE-RETROFIT_FINAL_20_SEPT_2012.pdf)
- Miljan, J. (2013). Reed Harvesting for Construction Purposes, Reed's Quality and Harvesting Technology. In Ü. K. Tallian University of Technology (Ed.), *GUIDEBOOK OF REED BUSINESS* (pp. 21–25). COFREEN - Reed for bioenergy and construction.
- Miljan, M., Miljan, M.-J., Miljan, J., Akermann, K., & Karja, K. (2013). Thermal transmittance of reed-insulated walls in a purpose-built test house. *J. in Internet Mires and Peat*.
- Ministério do Ambiente, O. do T. e E. (2015). Portaria n.º 379-A/2015. *Diário Da República n.º 207/2015, 2º Suplemento, Série I de 2015-10-22, 1.ª série(N.º 207)*, 9196-(14) a 9196-(17). <https://data.dre.pt/eli/port/379-a/2015/10/22/p/dre/pt/html>

- Minke, G. (2006). *Building with Earth - Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Birkhäuser. <http://www.birkhauser.ch>
- Miron, I. O., Manea, D. L., & Mustea, A. (2017). Reed and Straw-Based Thermally Insulating Panels. *ProEnvironment/ProMediu*.
- Mishra, S., & Usmani, J. A. (2014). Energy conservation in mud house as compared to brick wall building in India. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies Int. J. Adv. Engg. Res. Studies/III/II*.
- Modi, S. K., Prasad, B. D., & Basavaraj, M. (2014). Effect of moisture content and temperature on thermal conductivity of Psidium guajava L. by line heat source method (transient analysis). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.06.076>
- Molari, L., Coppolino, F. S., & García, J. J. (2020). Arundo donax: A widespread plant with great potential as sustainable structural material. *Construction and Building Materials*, xxx, 121143. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121143>
- Monteiro, A., Teixeira, G., & Moreira, J. F. (2015). Relationships between leaf anatomical features of Arundo donax and glyphosate efficacy. *Revista de Ciências Agrárias*. <https://doi.org/10.19084/rca.16905>
- Myllyniemi, J., & Virtanen, M. (2013). Common Reed. In Ü. K. Tallinn University of Technology (Ed.), *GUIDEBOOK OF REED BUSINESS* (COFREEN-, pp. 9–15).
- National Geographic En Espanhol. (2018). *LOS UROS, EL PUEBLO FLOTANTE DEL LAGO TITICACA*. National Geographic. <https://www.ngenespanol.com/traveler/los-uros-el-pueblo-flotante-del-lago-titicaca/amp/>
- Neto, C. P., Seca, A., Nunes, A. M., Coimbra, M. A., Domingues, F., Evtuguin, D., Silvestre, A., & Cavaleiro, J. A. S. (1997). Variations in chemical composition and structure of macromolecular components in different morphological regions and maturity stages of Arundo donax. *Industrial Crops and Products*. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(96\)00205-1](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(96)00205-1)
- Noaman, S. (2018). Usage of Arundo Donax L. as a sustainable material in interior design and architecture. In *Cities' Identity Through Architecture and Arts*. <https://doi.org/10.1201/9781315166551-19>
- NP 614. (1973). *Madeiras - Determinação do Teor em Água* (pp. 1–2). IGPAI - Repartição de Normatização.
- NP 615. (1973). *Madeiras - Determinação da retração* (pp. 1–5). IGPAI - Repartição de Normatização.
- NP 616. (1973). *Madeiras - Determinação da massa volúmica* (pp. 1–2). IGPAI - Repartição de Normatização.
- Nunes, L. (2017). Nonwood bio-based materials. In *Performance of Bio-based Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100982-6.00003-3>
- Obataya, E., Gril, J., & Perré, P. (2005). Shrinkage of cane (Arundo donax) II. Effect of drying condition on the intensity of cell collapse. *Journal of Wood Science*. <https://doi.org/10.1007/s10086-004-0629-z>
- Obataya, E., Gril, J., & Thibaut, B. (2004). Shrinkage of cane (Arundo donax) I. Irregular shrinkage of

- green cane due to the collapse of parenchyma cells. *Journal of Wood Science*, 50(4). <https://doi.org/10.1007/s10086-003-0578-y>
- Oliveira, C. A., Bragança, L., & Almeida, M. (2016). Materiais de isolamento térmico de edifícios. Para além da energia operacional. *Hábitat Sustentable*, 6, 30–39.
- Oliveira, E. V. de, & Galhano, F. (1992). Arquitectura tradicional portuguesa. In *Arquitectura tradicional portuguesa*. <https://doi.org/10.4000/books.etnograficapress.6508>
- Oliveira, E. V. de, Galhano, F., & Pereira, B. (1988). *Construções primitivas em Portugal*. Etnográfica Press. <https://doi.org/10.4000/books.etnograficapress.6228>
- Ortuño, T. G. (2003). *Caracterización de la caña común (Arundo donax L.) para su uso como material de construcción*. Universidad Miguel Hernández, Orihuela.
- Ortuño, T. G., Andréu-Rodríguez, J., Ferrández-García, M. T., Ferrández-Villena, M., & Ferrández-García, C. E. (2011). Evaluation of the physical and mechanical properties of particleboard made from giant reed (*Arundo donax L.*). *BioResources*, 6(1). <https://doi.org/10.15376/biores.6.1.477-486>
- Paananen, S. (2013). Reed as Handicraft Material. In Ü. Kask (Ed.), *GUIDEBOOK OF REED BUSINESS* (pp. 96–98).
- Packer, J. G., Meyerson, L. A., Skálová, H., Pyšek, P., & Kueffer, C. (2017). Biological Flora of the British Isles: *Phragmites australis*. *Journal of Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12797>
- Panyakaew, S., & Fotios, S. (2011). New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.015>
- Parlamento Europeu. (2020). *O Pacto Ecológico Europeu - Resolução do Parlamento Europeu, de 15 de janeiro de 2020, sobre o Pacto Ecológico Europeu (2019/2956(RSP))*.
- Patuzzi, F., Mimmo, T., Cesco, S., Gasparella, A., & Baratieri, M. (2013). Common reeds (*Phragmites australis*) as sustainable energy source: Experimental and modelling analysis of torrefaction and pyrolysis processes. *GCB Bioenergy*, 5(4). <https://doi.org/10.1111/gcbb.12000>
- Perdue, R. E. (1958). *Arundo donax*-Source of musical reeds and industrial cellulose. *Economic Botany*. <https://doi.org/10.1007/BF02860024>
- Pereira, J. P. B., & Silva, J. J. C. da. (2012). Contributo para a melhoria do desempenho térmico das paredes de taipa. *Congresso Construção 2012 - 4.º Congresso Nacional*.
- Philokyrou, M., Michael, A., Thravalou, S., & Ioannou, I. (2018). Thermal performance assessment of vernacular residential semi-open spaces in Mediterranean climate. *Indoor and Built Environment*, 27(8). <https://doi.org/10.1177/1420326X17699037>
- Pinto, C., & Cardoso, E. (2012). Construção ecológica com fardos de palha. *LNEC*, 1–2. [http://jornadas2012.lnec.pt/site\\_2\\_Cidades\\_e\\_Desenvolvimento/RESUMOS/T3\\_PINTO\\_r009.pdf](http://jornadas2012.lnec.pt/site_2_Cidades_e_Desenvolvimento/RESUMOS/T3_PINTO_r009.pdf)
- Pinto, J., Varum, H., Cruz, D., Sousa, D., Morais, P., Tavares, P., Lousada, J., Silva, P., & Vieira, J. (2010). Characterization of traditional tabique constructions in Douro North Valley region. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 6(2), 105–114.
- Plantas invasoras em Portugal. (2021). *Arundo donax*. Invasoras.Pt. Retrieved January 2, 2021, from [https://invasoras.pt/pt/mapeamento?tid\\_i18n=739&tid\\_i18n\\_2=All&tid\\_i18n\\_3=All](https://invasoras.pt/pt/mapeamento?tid_i18n=739&tid_i18n_2=All&tid_i18n_3=All)



- Poggi, F., Firmino, A. M. V., Amado, M. P., & Pinho, F. F. S. (2015). Natural stone walls in vernacular architecture: What contribution towards rural nZEB concept? *BISGLg*.
- Ribeiro, O. (1945). *Portugal, o Mediterrâneo e o Atlântico* (Coimbra Ed). Coimbra Editora.
- Romba, S. (2008). *Evolução Urbana de Olhão*. Universidade do Algarve.
- Roosaluste, E. (2007). The Reed itself - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.: taxonomy, morphology, biology, ecology, problems. In E. Ikonen, Iiro; Hagelberg (Ed.), *Read up on reed!* (pp. 8–10). [www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut)
- Roque, E., Vicente, R., Almeida, R. M. S. F., Silva, J. M. da, & Ferreira, A. V. (2020). Thermal characterisation of traditional wall solution of built heritage using the simple hot box-heat flow meter method: In situ measurements and numerical simulation. *Applied Thermal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.114935>
- Rüggeberg, M., Burgert, I., & Speck, T. (2010). Structural and mechanical design of tissue interfaces in the giant reed *Arundo donax*. *Journal of the Royal Society Interface*. <https://doi.org/10.1098/rsif.2009.0273>
- Rusch, F., Hillig, É., & Ceolin, G. B. (2018). Anatomia de hastes adultas de bambu: uma revisão. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 38. <https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201701530>
- Samuel, D. G. L., Dharmasastha, K., Nagendra, S. M. S., & Maiya, M. P. (2017). Thermal comfort in traditional buildings composed of local and modern construction materials. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6, 463–475. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.08.001>
- Sánchez-Balibrea, J., Ferrer-Gallego, P. P., Arnaldos, I., Pedauyé, H., Serra, L., Roselló, R., Laguna, E., & Mateo Sanz, G. (2015). Sobre la presencia de *Arundo micrantha* Lam. (Poaceae) en el levante peninsular ibérico. *Flora Montiberica*.
- Santos, C., & Matias, L. (2006). *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios - ITE 50* (LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (ed.); 2006th ed.). LNEC. [www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)
- Schiavoni, S., Alessandro, F. D., Bianchi, F., & Asdrubali, F. (2016). Insulation materials for the building sector : A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 988–1011. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.045>
- Schirp, A., & Wolcott, M. P. (2005). Influence of fungal decay and moisture absorption on mechanical properties of extruded wood-plastic composites. *Wood and Fiber Science*, 37(4).
- Shtein, I., Baruchim, P., & Lev-Yadun, S. (2021). Division of labour among culms in the clonal reed *Arundo donax* (Poaceae) is underlain by their pre-determined hydraulic structure. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 195(3). <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boaa062>
- Simões, R. N., Cabral, I., Barros, F. C., Carlos, G., Correia, M., Marques, B., & Guedes, M. C. (2019). *Vernacular Architecture in Portugal: Regional Variations*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-06185-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-06185-2_4)
- Singh, M. K., Mahapatra, S., & Atreya, S. K. (2010). Thermal performance study and evaluation of comfort temperatures in vernacular buildings of North-East India. *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.009>
- Sluis, T. Van Der, Poppens, R., Kraisvitnii, P., Rii, O., Lesschen, J. P., Galytska, M., & Elbersen, W. (2013).

- Reed harvesting from wetlands for bioenergy: Technical aspects, sustainability and economic viability of reed harvesting in Ukraine. *Alterra Wageningen Ur*, 1–30. [www.wageningenUR.nl/en/alterra](http://www.wageningenUR.nl/en/alterra)
- Soliman, M. (2009). *Arundo donax L. and its use in the thermal insulation in architecture to decrease the environmental pollution* (p. 5).
- Speck, O., & Spatz, H. C. (2004). Damped oscillations of the giant reed *Arundo donax* (Poaceae). *American Journal of Botany*. <https://doi.org/10.3732/ajb.91.6.789>
- Teixeira, E. R., Machado, G., P. Junior, A. de, Guarnier, C., Fernandes, J., Silva, S. M., & Mateus, R. (2020). Mechanical and Thermal Performance Characterisation of Compressed Earth Blocks. *Energies*, *13*(11), 2978. <https://doi.org/10.3390/en13112978>
- Temiz, A., Akbas, S., Panov, D., Terziev, N., Alma, M. H., Parlak, S., & Kose, G. (2013). Chemical composition and efficiency of bio-oil obtained from giant cane (*arundo donax* L.) as a wood preservative. *BioResources*. <https://doi.org/10.15376/biores.8.2.2084-2098>
- Termolan. (2021). *Product Datasheet*. Retrieved June 24, 2021, from <https://termolan.pt/>
- Topeca. (2021). *Isolamentos térmicos e acústicos - Lã mineral*. Retrieved June 24, 2021, from <https://pt.topeca.pt/>
- Torró, V. D., Ruiz, J. J., & Fragueiro, X. M. V. (2012). Bases para el manejo y control de *Arundo donax* L. (Caña común). In *observatoriaigua.uib.es*. [http://observatoriaigua.uib.es/repositori/gf\\_restauracion\\_arundo.pdf](http://observatoriaigua.uib.es/repositori/gf_restauracion_arundo.pdf)
- USDA. (2014). Field Guide for Managing Giant Reed in the Southwest. *United States Department of Agriculture, September*, 1–7.
- UTDA. (2021). *Arundo donax L.* Jardim Botânico Da Universidade de Trás-Dos-Montes e Alto Do Douro. Retrieved January 2, 2021, from [https://jb.utad.pt/especie/Arundo\\_donax](https://jb.utad.pt/especie/Arundo_donax)
- Val, D., Faria, P., & Silva, V. (2015). Solução construtiva eco-eficiente de paredes monolíticas-contributo para a sua caracterização. *XIII Congresso Latino-Americano de Patologia Da Construção*.
- Vetter, R. E., Ribeiro, R. A. S., Ribeiro, M. G. S., & Miranda, I. P. A. (2015). Studies on drying of imperial bamboo. *European Journal of Wood and Wood Products*, *73*(3). <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0900-6>
- Viitanen, H. (2001). *Factors affecting mould growth on kiln dried wood* (pp. 1–8). VTT Technical Research Centre of Finland.
- Viitanen, H., & Salonvaara, M. (2010). Moisture conditions and biodeterioration risk of building materials and structure. *Indoor Air, Figure 1*.
- Volf, M., Diviš, J., & Havlík, F. (2015). Thermal, moisture and biological behaviour of natural insulating materials. *Energy Procedia*. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.219>
- Wakchaure, M. R., & Kute, S. Y. (2012). Effect of moisture content on physical and mechanical properties of bamboo. *Asian Journal of Civil Engineering*, *13*(6).
- Wikipedia. (2020). *Serpa*. Retrieved November 18, 2020, from <https://pt.wikipedia.org/wiki/Serpa>
- Wright, J. C., Silvestri, B., & Picotti, G. (2018). *Learn Building Impact Zero - DESIGN & BUILD WITH CANE* (J. C. Wright, B. Silvestri, & G. Picotti (eds.); 1st editio, Issue March). Canyaviva Arquitectura Natural.

www.canyaviva.com

Yarbrough, D. W., Wilkes, K. E., Olivier, P. A., Graves, R. S., & Vohra, A. (2005). Apparent Thermal Conductivity and Related Information for Rice Hulls and Crushed Pecan Shell. *Journal of Chemical Information and Modeling*.

Yates, T. (2006). The use of non-food crops in the UK construction industry. In *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2608>

Zhou, X. yan, Zheng, F., Li, H. guan, & Lu, C. long. (2010). An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. *Energy and Buildings*, 42(7). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.020>

# ANEXO

## Anexo I

Tabela 21 – Características dimensionais das canas selecionadas

<b>Caracterização das canas selecionadas</b>				
<b>Nº de canas</b>	<b>Diâmetro externo (mm)</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Grupo 1 – diâmetro &lt; 15 mm</b>	<b>Grupo 1 – diâmetro &gt;15 mm</b>
<b>1</b>	13/ 12,50	33,50	x	
<b>2</b>	14,15/ 12,30	47	x	
<b>3</b>	14/15,55	46,50	x	
<b>4</b>	14,45/ 13,56	21,80	x	
<b>5</b>	16,50/ 16	29,30		x
<b>6</b>	11	26,60	x	
<b>7</b>	13,81/ 13,7	23,50	x	
<b>8</b>	13	24,50	x	
<b>9</b>	12,67/ 11,21	31,60	x	
<b>10</b>	12,50/ 16/ 21	152	x	x
<b>11</b>	11/ 14/ 14	113	x	
<b>12</b>	11,94 / 16,06/ 18,8	133	x	x
<b>13</b>	11,50/ 15,50/ 17	149	x	x
<b>14</b>	13,20/ 17,30	64,50	x	x
<b>15</b>	12/ 15,20/ 17,3	139	x	x
<b>16</b>	12,50/ 18/ 22	164	x	x
<b>17</b>	14,20/ 18,37	87,50		x
<b>18</b>	11,90/ 15,50/ 17,1	115	x	x
<b>19</b>	12,96/ 15,16/ 18,28	105	x	x
<b>20</b>	12,30/ 15/ 17	98	x	x
<b>21</b>	13,50/ 14,50/ 14	136	x	
<b>22</b>	12,50/ 15,30/ 17,14	103	x	x
<b>23</b>	12/ 13,50/ 17	115,50	x	x
<b>24</b>	12/ 14/15,50	54,50	x	
<b>25</b>	10,88/ 14,27	87	x	
<b>26</b>	11/ 12,50/ 16	121	x	x
<b>27</b>	12,30/ 17,1/ 19	116	x	x
<b>28</b>	11/ 15/ 19	132,50	x	x
<b>29</b>	11,50/ 14/ 17,10	118	x	x
<b>30</b>	13/ 14/ 18	110	x	x
<b>31</b>	13/ 16/ 20	113,50	x	x
<b>32</b>	12/ 14/ 15	96	x	
<b>33</b>	13,50/ 14,50/ 14	61,50	x	
<b>34</b>	12/ 15/ 16,50	94	x	x
<b>35</b>	12,31/ 16,06/ 20,66	111,50	x	x
<b>36</b>	10,56/ 14,46/ 18,10	141	x	x

## Anexo II

Tabela 22 – Média das dimensões das amostras em ensaio de verificação da massa volúmica da cana

<b>Amostras secas ar</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>DP</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>DP</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>DP</b>
Grupo 1	12,65	1,16	1,45	0,18	49,63	0,88
Grupo 2	16,35	0,64	2,03	0,21	50,01	0,55
Média total (G1 e G2)	14,50	2,62	1,74	0,41	49,82	0,27
<b>Amostras secas estufa</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>DP</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>DP</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>DP</b>
Grupo 1	12,43	1,16	1,42	0,18	49,60	0,92
Grupo 2	16,10	0,59	1,99	0,20	49,97	0,54
Média total (G1 e G2)	14,26	2,59	1,70	0,41	49,79	0,26

# Anexo III

Tabela 23 – Crescimento de fungo na *Arundo donax* L. grupo 1 (G1) durante 42 dias



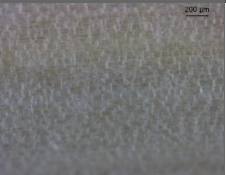














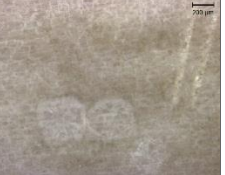






<b>G1 (Fotografia)</b>	<b>G1 (Fotografia)</b>	<b>G1 (microscópio 5x)</b>	<b>Índice de fungo</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>G1 – seco em estufa (Fotografia)</b>	<b>G1 – seco em estufa (Foto)</b>	<b>G1 – Seco em estufa (microscópio 5x)</b>	<b>Índice de fungo</b>	<b>Massa (g)</b>
			0	0,182				0	0,140
Referência					Referência				
			3,0	0,201				0	0,146
7 dias					7 dias				
			4,0	0,203				3,5	0,138
14 dias					14 dias				
			4,0	0,186				3,5	0,137
21 dias					21 dias				

Tabela 23 – Crescimento de fungo na *Arundo donax* L. grupo 1 (G1) durante 42 dias (Cont.)



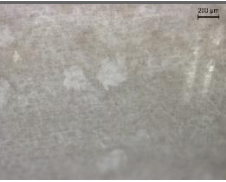


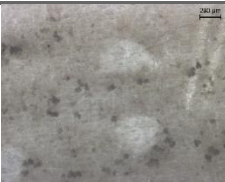












<b>G1</b> <b>(Fotografia)</b>	<b>G1</b> <b>(Fotografia)</b>	<b>G1</b> <b>(microscópio</b> <b>5x)</b>	<b>Índice</b> <b>de</b> <b>fungo</b>	<b>Massa</b> <b>(g)</b>	<b>G1 – seco em</b> <b>estufa</b> <b>(Fotografia)</b>	<b>G1 – seco</b> <b>em estufa</b> <b>(Foto)</b>	<b>G1 – Seco em</b> <b>estufa</b> <b>(microscópio</b> <b>5x)</b>	<b>Índice</b> <b>de</b> <b>fungo</b>	<b>Massa</b> <b>(g)</b>
			4,0	0,187				4,0	0,137
28 dias					28 dias				
			4,0	0,195				4,0	0,143
35 dias					35 dias				
			4,0	0,189				4,5	0,138
42 dias					42 dias				

Tabela 24 – Crescimento de fungo na *Arundo donax* L. grupo 2 (G2) durante 42 dias


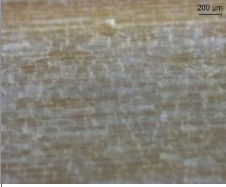













<b>G2</b> <b>(Fotografia)</b>	<b>G2</b> <b>(Fotografia)</b>	<b>G2</b> <b>(microscópio</b> <b>5x)</b>	<b>Índice</b> <b>de</b> <b>fungo</b>	<b>Massa</b> <b>(g)</b>	<b>G2 – seco em</b> <b>estufa</b> <b>(Fotografia)</b>	<b>G2 – seco</b> <b>em estufa</b> <b>(Fotografia)</b>	<b>G2 – Seco em</b> <b>estufa</b> <b>(microscópio</b> <b>5x)</b>	<b>Índice</b> <b>de</b> <b>fungo</b>	<b>Massa</b> <b>(g)</b>
Referência			0	0,406	Referência			0	0,308
7 dias			4,0	0,485	7 dias			1,5	0,361
14 dias			5,0	0,445	14 dias			4,0	0,321
21 dias	-		5,0	0,410	21 dias			4,0	0,308



Tabela 24 – Crescimento de fungo na *Arundo donax* L. grupo 2 (G2) durante 42 dias (Cont.)



















<b>G2 (Fotografia)</b>	<b>G2 (Fotografia)</b>	<b>G2 (microscópio 5x)</b>	<b>Índice de fungo</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>G2 – seco em estufa (Fotografia)</b>	<b>G2 – seco em estufa (Fotografia)</b>	<b>G2 – Seco em estufa (microscópio 5x)</b>	<b>Índice de fungo</b>	<b>Massa (g)</b>
			5,5	0,418				5,0	0,309
			6,0	0,431				5,0	0,319
			6,0	0,417				6,0	0,301

Tabela 25 – Crescimento de fungo Lã de rocha e XPS durante 42 dias





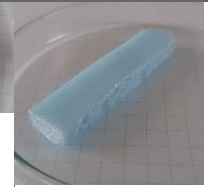
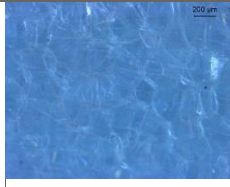

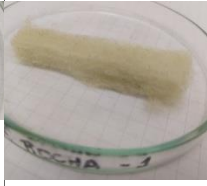


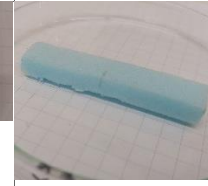


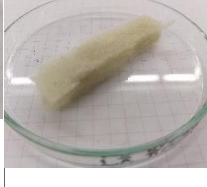


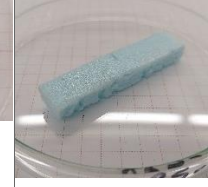


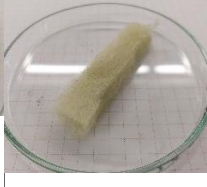
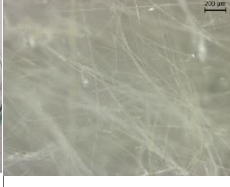

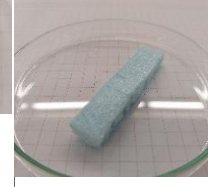


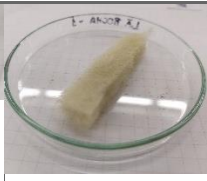
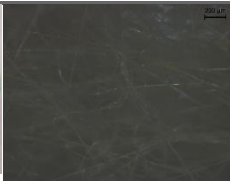

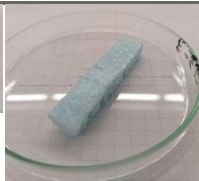
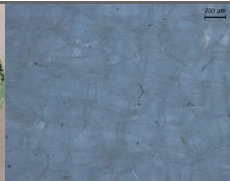

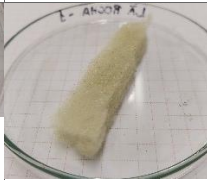

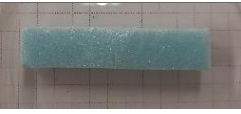
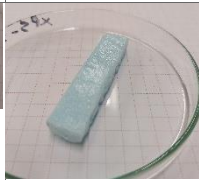


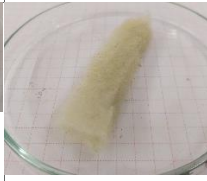

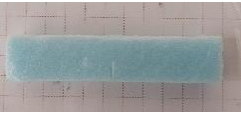
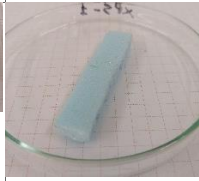

Lã de rocha (Fotografia)	Lã de rocha (Fotografia)	Lã de rocha (microscópio 5x)	Índice de fungo	Massa (g)	XPS (Fotografia)	XPS (Fotografia)	XPS (microscópio 5x)	Índice de fungo	Massa (g)
			0	0,215				0	0,108
			0	0,275				0	0,108
			0	0,214				0	0,108
			0	0,212				0	0,108

Tabela 25 – Crescimento de fungo Lã de rocha e XPS durante 42 dias (Cont.)

Lã de rocha (Fotografia)	Lã de rocha (Fotografia)	Lã de rocha (microscópio 5x)	Índice de fungo	Massa (g)	XPS (Fotografia)	XPS (Fotografia)	XPS (microscópio 5x)	Índice de fungo	Massa (g)
			0	0,211				0	0,107
28 dias					28 dias				
			0	0,211				0	0,107
35 dias					35 dias				
			0	0,211				0	0,107
42 dias					42 dias				

Anexo IV

Tabela 26 – Características dos painéis paralelos tipo caixa e esteira do grupo 1 (G1)








<b>Painel Paralelo G1</b>											
<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Caixa</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>	<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Esteira</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>
<b>5 cm (V)</b>		47	-	-	0,249	<b>5 cm (V)</b>		36	32	4	0,193
<b>10 cm (V)</b>		84	80	4	0,218	<b>5 cm (H)</b>		39	36	3	0,206
<b>10 cm (h)</b>		84	80	4	0,218	<b>10 cm (V)</b>		79	73	6	0,200
<b>13 cm (V)</b>	-	102	95	7	0,206	<b>10 cm (H)</b>		70	64	6	0,185

Tabela 26 – Características dos painéis paralelos tipo caixa e esteira do grupo 1 (G1) (Cont.)


<b>Painel Paralelo G1</b>											
<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Caixa</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>	<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Esteira</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>
						<b>15 cm (V)</b>		100	92	8	0,174

Tabela 27 – Características dos painéis perpendiculares grupo 1 (G1)


<b>Painel Perpendicular G1</b>											
<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Esteira</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>	<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Esteira</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>
<b>10 cm</b>		70	65	5	0,186	<b>15 cm</b>	–	100	93	7	0,176

Tabela 28 – Características dos painéis paralelos tipo caixa e esteira do grupo 2 (G2)








<b>Painel Paralelo G2</b>											
<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Caixa</b>	<b>N° de canas</b>	<b>N° de canas c/ nó</b>	<b>N° de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>	<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Esteira</b>	<b>N° de canas</b>	<b>N° de canas c/ nó</b>	<b>N° de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>
<b>5 cm (V)</b>		31	31	0	0,261	<b>5 cm (V)</b>		24	24	0	0,170
<b>10 cm (V)</b>		52	52	0	0,206	<b>10 cm (V)</b>		47	47	0	0,185
<b>10 cm (H)</b>		56	56	0	0,213	<b>10 cm (H)</b>		48	48	0	0,190
<b>13 cm (V)</b>	-	71	71	0	0,203	<b>15 cm (V)</b>		69	69	0	0,171

Tabela 29 – Características dos painéis perpendiculares do grupo 2 (G2)



<b>Painel Perpendicular G2</b>											
<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Esteira</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>	<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Esteira</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>
<b>10 cm</b>		48	48	0	0,185	<b>15 cm</b>		63	63	0	0,163

Tabela 30 – Características dos painéis paralelos tipo caixa e esteira do grupo misto (G1+G2)



<b>Painel Paralelo G1+G2</b>											
<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Caixa</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>	<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Esteira</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>
<b>5 cm (V)</b>		38	38	0	0,264	<b>5 cm (V)</b>		27	-	-	0,158

Tabela 30 – Características dos painéis paralelos tipo caixa e esteira do grupo misto (G1+G2) (Cont.)





<b>Painel Paralelo G1+G2</b>											
<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Caixa</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>	<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Esteira</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>
<b>5 cm (H)</b>		38	37	1	0,238	<b>10 cm (V)</b>		-	-	-	0,194
<b>10 cm (V)</b>	-	71	69	2	0,221	<b>10 cm (H)</b>		62	54	8	0,214
<b>10 cm (H)</b>	-	71	69	2	0,221	<b>15 cm (V)</b>	-	97	88	9	0,175
<b>15 cm (V)</b>		101	98	3	0,212						



Tabela 30 – Características dos painéis paralelos tipo caixa e esteira do grupo misto (G1+G2) (Conc.)




<b>Painel Paralelo G1+G2</b>											
<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Caixa</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>	<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Esteira</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>
<b>15 cm (H)</b>		98	-	-	0,209						

Tabela 31 – Características dos painéis perpendiculares do grupo misto (G1+G2)

<b>Painel Perpendicular G1+G2</b>											
<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Esteira</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>	<b>Espessura e Posição</b>	<b>Painel Esteira</b>	<b>Nº de canas</b>	<b>Nº de canas c/ nó</b>	<b>Nº de canas s/ nó</b>	<b>Massa volúmica (g/cm³)</b>
<b>10 cm</b>		53	51	2	0,183	15 cm		70	68	2	0,158