

MARIANA OLIVEIRA SANTOS

O Cânhamo como material de construção: Viabilidade e Oportunidade

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de ciências e tecnologia

Mestrado em Engenharia Civil

Porto, 2013



MARIANA OLIVEIRA SANTOS

O Cânhamo como material de construção: Viabilidade e Oportunidade

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de ciências e tecnologia

Mestrado em Engenharia Civil

Porto, 2013

MARIANA OLIVEIRA SANTOS

O Cânhamo como material de construção: Viabilidade e Oportunidade

“Trabalho apresentado à Universidade  
Fenando Pessoa como parte dos  
requisitos para a obtenção do grau de  
Mestrado em Engenharia Civil sob a  
orientação do Professor Arquiteto Luís  
Pinto de Faria”

---

## Resumo

Atualmente a Humanidade depara-se com diversos problemas ambientais, a produção de resíduos em grandes quantidades, o alto ritmo de exploração e a destruição de recursos naturais resultantes da atividade humana. Com isto, os impactos ambientais têm ganho cada vez mais à atenção da sociedade para uma maior tomada de consciência sobre a debilidade do Planeta e as relações do homem com o mesmo.

O setor da construção é um dos maiores responsáveis pelos impactos ambientais e por isso não está alheio à tomada de medidas para reduzir esses mesmos impactos. Deste modo, torna-se extremamente necessário a alteração das práticas de construção tornando este sector mais sustentável.

A presente dissertação pretende contextualizar as questões ambientais provocadas pela indústria da construção e promover a sustentabilidade da mesma através do uso de materiais mais ecológicos com capacidade de contribuir para a redução dos impactos ambientais. O material estudado trata-se do cânhamo. Este material apresenta propriedades semelhantes aos materiais utilizados na construção corrente, podendo ter varias utilidades neste setor.

Esta dissertação assenta num estudo realizado no Reino Unido onde foi utilizado o cânhamo como material de construção. Este estudo teve como base duas casas de construção convencional e duas casas em cânhamo o que permitiu realizar uma comparação entre os dois tipos de construção. A utilização do betão de cânhamo nestas habitações contribuiu para obtenção de conhecimento a cerca de diversas propriedades deste material, tais como o desempenho térmico, acústico e a sua resistência mecânica, entre outros. Em análise do estudo o cânhamo mostrou-se um material com propriedades bastante satisfatórias e que poderá servir de substituto aos materiais utilizados na construção convencional.

## **Abstract**

Today mankind is facing several environmental problems such as waste production in large quantities, high rate of exploitation and destruction of natural resources resulting from human activities. With this, the environmental impacts have been gaining more and more attention from society to a higher awareness of the weakness of the planet and its relationship with humankind.

The construction sector is one of the major responsible for environmental impacts and therefore is no stranger when taking measures to reduce them. Thus, it becomes extremely necessary to amend the construction practices in order to make this sector more sustainable.

This thesis aims to contextualize the environmental issues caused by the construction industry and promote its sustainability through the use of more environmentally friendly materials capable of contributing to the reduction of environmental impacts. The material subject of study is the hemp. This material has similar properties to the materials used nowadays in the building industry, which may have several uses in this area.

This dissertation is based on a study carried out in the United Kingdom where it was used hemp as building material. This study was based on two houses conventionally built and two houses built with hemp which allowed a comparison between the two types of construction. The use of hemp concrete in these houses has contributed to obtain knowledge about the different properties of the material such as the thermal, acoustic and mechanical performance, among others. In the study analysis, hemp proved to be a material with quite satisfactory properties that could serve as a replacement for standard materials used in construction.

## **Agradecimentos**

Dedico este espaço àqueles que me apoiaram e de alguma forma contribuíram para que esta dissertação fosse realizada. Por isso, gostaria de aqui expressar o meu reconhecimento e sinceros agradecimentos a todos os que me ajudaram a concretizar este objetivo pessoal.

Assim, começaria por agradecer ao Arquiteto Luís Pinto de Faria, respetivamente meu orientador, pela disponibilidade e dedicação prestada, à partilha de conhecimentos e ao incentivo que me deu para a conclusão da presente dissertação.

Agradeço também ao Sr. Augusto Teixeira, ex-representante da “Cânhamo Portugal, Lda” pela partilha de informação acerca do cânhamo e pela disponibilidade mostrada. Ao Sr. Serafim agradeço também por me ter aberto as portas de sua casa, a única casa em cânhamo no nosso país.

À família, em especial aos meus pais, aos meus amigos e namorado, pela forma como me acompanharam, ajudaram e incentivaram a concluir mais uma etapa da minha formação.

## Índice Geral

Resumo.....	I
Abstract.....	II
Agradecimentos .....	III
Índice Geral.....	IV
Índice de Figuras.....	VII
Índice de Quadros.....	VIII
Símbolos e Acrónimos .....	IX
I. Enquadramento, objetivos, metodologia e organização da dissertação .....	1
I.1 Introdução .....	1
I.2 Objetivos .....	2
I.3 Metodologia e estrutura do trabalho.....	3
II. Estado de Conhecimento .....	5
II. 1 Evolução do conceito de “Sustentabilidade” .....	5
II.2 A definição de Construção Sustentável.....	8
III. Sustentabilidade dos materiais de construção .....	13
III.1 Seleção dos materiais.....	13
III.2 Energia incorporada dos materiais .....	15
III.3 Análise do ciclo de vida dos materiais .....	15
III.3.1 Custos associados ao ciclo de vida dos materiais .....	17
III.4 Materiais ecológicos .....	18
III.4.1 Materiais obtidos através de resíduos industriais .....	20
III.4.2 Materiais de base biológica .....	22
IV. Introdução ao cânhamo .....	24
IV.1 Cânhamo .....	24
IV.1.1 A evolução histórica .....	25
IV.1.2 O cultivo do cânhamo em Portugal .....	26
IV.2 Breve nota botânica .....	27
IV.2.1 O clima .....	29
IV.2.3 Plantação (Sementeira e Colheita).....	30
IV.3 Utilização do cânhamo na construção .....	30
IV.3.1 Aplicação das fibras de cânhamo no betão.....	30

IV.3.2	Utilização de fibras de cânhamo como isolamento.....	34
IV.4	Avaliação do ciclo de vida.....	36
V.	Caso prático .....	37
V.1	Caracterização do objeto de estudo.....	37
V.2	Objetivo do projeto .....	37
V.3	A construção .....	38
V.3.1	Método de construção das casas em cânhamo .....	39
V.4	Resultados obtidos.....	44
V.4.1	Estrutura e durabilidade.....	44
V.4.2	Desempenho mecânico .....	44
V.4.3	Permeabilidade.....	45
V.4.4	Resíduos .....	45
V.4.5	Desempenho acústico .....	45
V.4.6	Desempenho térmico.....	46
V.4.7	Resistência ao fogo .....	48
V.4.8	Custos de construção .....	48
VI.	Conclusão .....	50
	Bibliografia.....	54

## Índice de Figuras

Figura I. 1 – Metodologia da dissertação .....	3
Figura II. 1 – Os pilares do desenvolvimento sustentável .....	7
Figura II. 2 – Definição de um edifício sustentável .....	9
Figura II. 3 - Aspetos a considerar na construção tradicional.....	10
Figura II. 4 - O novo paradigma da construção sustentável .....	10
Figura III. 1 - Avaliação do ciclo de vida dos materiais.....	16
Figura III. 2 - Os diferentes ciclos de vida dos materiais .....	21
Figura IV. 1 – Caule da planta do cânhamo .....	25
Figura IV. 2 – As fibras da planta do cânhamo.....	25
Figura IV. 3 – As fibras extraídas da planta do cânhamo .....	25
Figura IV. 4 – Cerne lenhoso do núcleo da planta do cânhamo.....	25
Figura IV. 5 – Sementeira com dois meses em Portugal .....	27
Figura IV. 6 - Diferenças dos géneros da planta do cânhamo.....	28
Figura IV. 7 - Exemplo de blocos pré-fabricados de betão de cânhamo .....	32
Figura IV. 8 - Exemplo do método de compactação do betão de cânhamo .....	32
Figura IV. 9 - Exemplo do método de pulverização do betão de cânhamo .....	33
Figura IV. 10 - Exemplo de isolamento em painel em fibra de cânhamo .....	34
Figura IV. 11 - Exemplo de isolamento em rolo em fibra de cânhamo .....	34
Figura V. 1 – Colocação de tijolos e betão de cânhamo em camadas.....	40
Figura V. 2 – Colocação de tijolo para finalizar as fundações .....	40
Figura V. 3 – Fabricação da estrutura de madeira .....	40
Figura V. 4 – Montagem da estrutura de madeira .....	40
Figura V. 5 – Colocação das treliças do telhado .....	41
Figura V. 6 – Colocação das cofragens para a construção da parede.....	41
Figura V. 7 – Mistura do cânhamo com cal para obtenção do betão de cânhamo .....	41
Figura V. 8 – Enchimento das cofragens com betão de cânhamo .....	42
Figura V. 9 – Processo de compactação do betão de cânhamo .....	42
Figura V. 10 – Primeira camada de betão de cânhamo .....	42
Figura V. 11 – Produto final após a remoção das cofragens.....	42
Figura V. 12 – Colocação da tijoleira sobre o betão de cânhamo e areia .....	43
Figura V. 13 – Montagem da estrutura para posterior enchimento das vigota .	43

Figura V. 14 – Vista frontal da habitação convencional.....	47
Figura V. 15 – Vista frontal da habitação em cânhamo .....	47
Figura V. 16 – Imagem termográfica da construção convencional.....	47
Figura V. 17 – Imagem termográfica da construção em cânhamo .....	47

## Índice de Quadros

Quadro II. 1 - Os princípios da construção sustentável.....	11
Quadro III. 1 – Critérios a analisar durante a seleção dos materiais de construção .....	14
Quadro III. 2 – Energia incorporada de alumínio virgem e reciclado.....	21
Quadro III. 3 - A utilização de plantas fibrosas na construção.....	23
Quadro IV. 1 – Utilização das diferentes partes do cânhamo na construção...	35
Quadro V. 1 - Resultados dos testes acústicos às casas.....	46
Quadro V. 2 – Desempenho do cânhamo na construção.....	49
Quadro VI. 1 – As principais vantagens e desvantagens do cânhamo na construção.....	50

## **Símbolos e Acrónimos**

PIB – Produto Interno Bruto

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CIB – Concelho Internacional da Construção

ACV – Análise do Ciclo de Vida

THC - Tetrahydrocannabinol

CANAPOR – Cooperativa para o Desenvolvimento do Cânhamo

MDF – Médium Density Fiberboard

BRE – Building Research Establishment

HL2 – Cal hidráulica

# **I. Enquadramento, objetivos, metodologia e organização da dissertação**

## **I.1 Introdução**

A preocupação com o futuro do nosso planeta tem aumentado, devido à maior consciência dos efeitos que as atividades humanas têm sobre o meio ambiente (Lucas 2008, p.12). Esta consciencialização surgiu após a compreensão que os impactos eram resultado de um processo produtivo a um ritmo elevado de exploração e degradação dos recursos naturais, já que este processo era mais acelerado que a própria capacidade que o nosso planeta tem de os repor (Mateus, 2012, p. 23). Esse aumento descontrolado do consumo dos recursos e materiais disponíveis na natureza está relacionado com o rápido crescimento da população e com a procura de melhor qualidade de vida (Barroso, 2010, p. 14).

A indústria da construção é um dos maiores consumidores de recursos naturais (Miranda, 2012, p. 2), visto que os sistemas de construção são muitas das vezes ainda os tradicionais, tornando este sector um dos maiores responsáveis pelos impactos ambientais (Bragança e Mateus, 2004, p. 1). Este setor é responsável por vários impactos ambientais sendo alguns deles resultantes do consumo excessivo de água, das elevadas emissões de CO<sub>2</sub>, da produção de resíduos e do consumo não controlado de recursos naturais não renováveis, resultando na contaminação das águas, solo e ar, desflorestação, desaparecimento de espécies animais e vegetais (Mateus, 2012, p. 23).

Assim, a construção sustentável surge devido à atual realidade da construção, sendo uma forma de otimizar e modernizar as práticas tradicionais de utilização de recursos e materiais, garantindo um ambiente equilibrado (Barroso, 2010, p. 14). Uma forma de reduzir os impactos ambientais na construção é existir uma boa seleção de materiais. A escolha dos materiais é um processo importante para a caracterização da construção em termos sustentáveis. Como tal, a substituição dos materiais usualmente utilizados na construção corrente por materiais ecológicos é um fator relevante. Os materiais ecológicos comparados às restantes alternativas são aqueles que possuem menor impacto ambiental,

uma vez que são materiais de origem natural, tendo baixa energia incorporada, com baixas emissões CO<sub>2</sub> e poderão ser reutilizáveis e/ou recicláveis (Mateus, 2012, p. 23).

Posto isto, o cânhamo poderá ser perfeitamente uma alternativa ecológica a diversos materiais, utilizados hoje em dia em vários setores industriais. O cânhamo pode ser utilizado na indústria têxtil para a produção de tecidos, na indústria alimentar podem ser usadas as suas sementes, na indústria automóvel na sua construção, como biodiesel e por fim pode ser aplicado na construção civil, de variadas maneiras (Fernandes, 2010, p. 86).

No que diz respeito ao setor da construção, o cânhamo tem vindo a ganhar utilidade pois tem bastantes propriedades que o assemelham aos materiais utilizados na construção convencional, tais como bom desempenho acústico e térmico, porém comparando com materiais comuns este apresenta a vantagem de ser ecológico, podendo ser um bom substituto destes.

Portugal está a dar os seus primeiros passos na investigação de novos materiais não convencionais, materiais que habitualmente não são aplicados na construção corrente, sendo o cânhamo um destes materiais onde já foram realizados estudos neste âmbito (Eires, 2006, p. 18). A utilização de novos materiais irá depender da indústria da construção em melhorar as técnicas de aplicação destes tornando-os mais viáveis.

## **1.2 Objetivos**

A presente dissertação pretende dar um contributo para promover e transformar o setor da construção numa indústria mais sustentável, utilizando materiais mais ecológicos de forma a diminuir os impactos ambientais provenientes da atividade.

Assim, o material em estudo é o cânhamo e os objetivos passam por identificar e avaliar o desempenho do mesmo quando aplicado na construção.

Para se atingir estes objetivos é utilizado um caso de estudo praticado no Reino Unido onde se pode obter conclusões acerca do desempenho do cânhamo.

Em conclusão, pretende-se contribuir para uma maior sustentabilidade do setor da construção, dando a conhecer um possível material de construção ecológico que poderá ser utilizado substituindo os materiais convencionais.

### I.3 Metodologia e estrutura do trabalho

Os procedimentos realizados para a elaboração do presente trabalho apoiam-se fundamentalmente na pesquisa bibliográfica, incluindo a consulta de trabalhos científicos, livros, artigos relacionados com o tema, assim como fontes disponíveis na internet, de forma a fundamentar todos os dados apresentados em estudo.

A dissertação apresentada encontra-se dividida em diferentes capítulos, no presente capítulo está evidenciado a introdução do trabalho, são apresentados os objetivos, bem como a metodologia e a estrutura pela qual a dissertação se desenvolve. No ponto de vista metodológico, a dissertação encontra-se estruturada conforme indicado na Figura I.1.

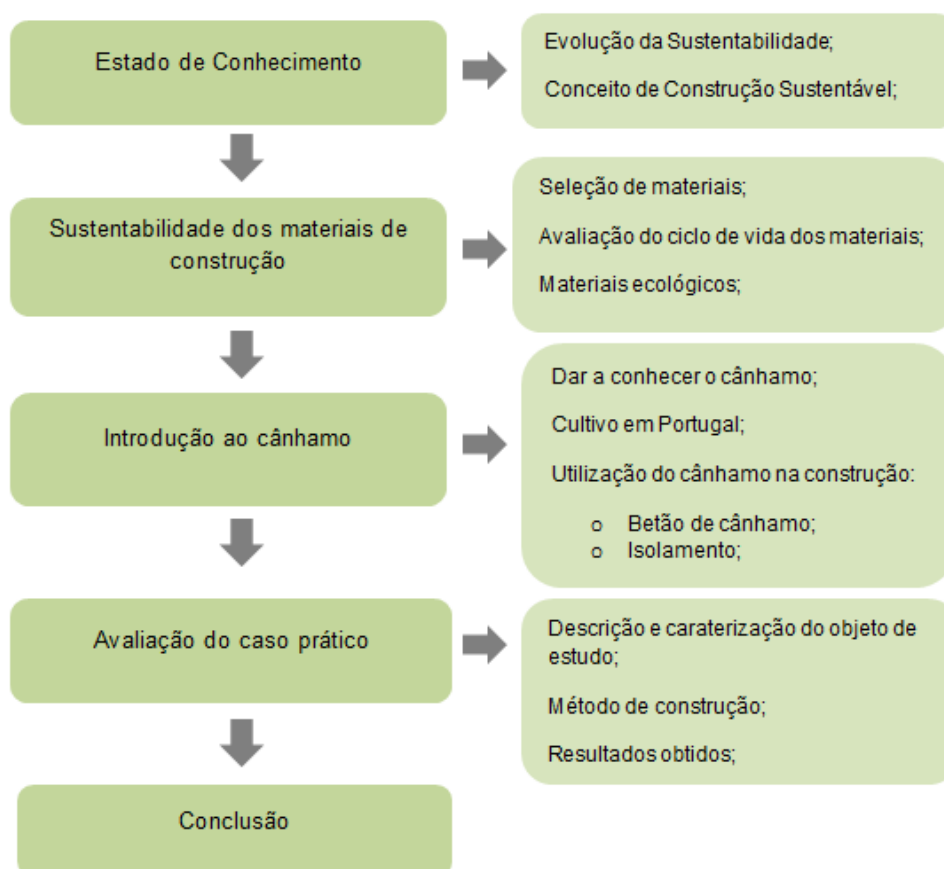


Figura I. 1 – Metodologia da dissertação

Como se pode verificar no esquema representado na Figura I.1, a dissertação desenvolve-se em cinco temas principais, os capítulos II, III, IV, V e VI, sendo este último referente às conclusões.

No segundo capítulo, no estado do conhecimento é apresentado a evolução da sustentabilidade e o conceito de construção sustentável, assim como uma comparação entre os aspetos a considerar numa construção tradicional e numa construção sustentável. Ainda neste capítulo, são referidos os princípios da construção sustentável.

Seguidamente, no terceiro capítulo é apresentado uma abordagem quanto à sustentabilidade dos materiais de construção, referindo os pontos que se devem ter em conta na seleção dos mesmos, optando por materiais ecológicos, podendo estes serem materiais obtidos através de resíduos industriais e materiais de base biológica. Também, a análise do ciclo de vida dos materiais é abordado neste capítulo.

No quarto capítulo dá-se a conhecer o material em estudo, o cânhamo, indicando a sua evolução histórica, o seu cultivo em Portugal e as suas aplicações. É referido também, a utilização deste material na construção, podendo ser usado no fabrico de betão de cânhamo através do cerne lenhoso do interior do caule da planta juntamente com cal e na utilização de fibras para o fabrico de isolamento.

No quinto capítulo realiza-se a avaliação do caso prático, é feita a descrição, caracterização e apresentação de resultados deste. São abordadas as características do cânhamo quanto à sua utilização na construção e as suas desvantagens e vantagens face à construção convencional.

No término da dissertação é apresentado o sexto capítulo onde são expostas todas as conclusões finais após a reflexão sobre todo o trabalho.

## **II. Estado de Conhecimento**

### **II. 1 Evolução do conceito de “Sustentabilidade”**

No início do século XX, os recursos naturais eram utilizados como se fossem infinitos, havendo uma pouca preocupação com o seu esgotamento (Baptista, 2010, p.6). Este facto, associado ao crescimento da população mundial, em conjunto com o avanço tecnológico e industrial, levou ao aumento significativo da procura e consumo de energia. A política energética mundial tem sido principalmente apoiada na queima de combustíveis fósseis, com especial destaque para o petróleo (Pereira, 2009, p.24). Assim, nos meados da segunda metade do século XX, surge uma nova ideia para o consumo dos recursos naturais, tendo como base o desenvolvimento baseado na ligação da dimensão ecológica e socioeconómica dos processos de desenvolvimento, com isto surge as primeiras ideias de desenvolvimento sustentável (Colaço, 2008, p.31).

Porém, foi em 1962, que ocorreu o primeiro grande alerta em relação à degradação do meio ambiente, com o livro “Primavera Silenciosa”, de Rachel Carson, que se tornou um clássico na história do movimento ambientalista, focando a utilização excessiva de produtos químicos (pesticidas) na produção agrícola, prejudicando o meio ambiente e a humanidade (Faria, 2006, p.175). Mais tarde, um conjunto de especialistas de diferentes países, denominado Clube de Roma, desenvolveu um estudo intitulado “Limites do Crescimento”, publicado em 1972, referindo que se fosse mantido o elevado grau de industrialização, poluição e exploração dos recursos naturais, a humanidade se defrontaria com graves problemas e o planeta entraria em decadência em 100 anos (Faria, 2006, p.178). Para impedir esta decadência, os especialistas defendiam que deveria haver uma moderação no crescimento populacional e no crescimento económico (Álvares, 2009, p.25).

Como reação a este estudo de nome “Limite de Crescimento”, os países mais desenvolvidos consideraram que este ditava o fim do crescimento industrial enquanto os países menos desenvolvidos viram este estudo como uma forma dos países mais ricos limitarem o crescimento destes, tendo como fundamentação a causa ecológica (Faria, 2006, p.178)

Em 1972, dá-se a primeira conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento em Estocolmo, onde surge um novo conceito “ecodesenvolvimento” proposto pelo Ignacy Sachs, caracterizando-se por “socialmente desejável, ecologicamente sustentável e economicamente viável”, consiste num desenvolvimento em que cada região procura soluções para os seus problemas particulares, tendo em conta os dados ecológicos e culturais do local, como também as necessidades imediatas e a longo prazo (Fontoura et al, 2004, pag.12). É a partir do conceito “ecodesenvolvimento” que surge o conceito de “desenvolvimento sustentável” (Pereira, 2009, p.20).

No final da década de 80, dá-se a definição do conceito “desenvolvimento sustentável”, sendo definido pelo Relatório de Brundtland da seguinte forma, *“desenvolvimento que dá resposta às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras darem resposta às suas próprias necessidades”* (cit in. Torgal e Jalali, 2010, p. 18). Com a definição “desenvolvimento sustentável”, podem-se tirar duas ideias, a preservação dos recursos e a necessidade de programar o rumo da sociedade.

Segundo Pinheiro (2006, p. 86), o conceito de desenvolvimento sustentável procura acima de tudo, responder às necessidades básicas das pessoas, sem afetar as necessidades futuras. Logo, os recursos, que se consideram imprescindíveis à satisfação das necessidades humanas básicas, serão também imprescindíveis às gerações futuras. Assim, é importante reduzir o consumo de recursos naturais, a produção de resíduos, e preservar a função e a biodiversidade dos sistemas naturais, pois o que se pretende é que o consumo de energia, de água e de materiais seja sustentável, renovando-se em tempo útil e não sendo prejudicial ao ambiente.

No entanto, foi em 1992, com a Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e o Desenvolvimento, conhecida também por Cimeira do Rio ou Cimeira da terra, que se consolidou o conceito de “desenvolvimento sustentável” (Faria, 2006, p.181). Na conferência foram estabelecidas medidas e estratégias que permitissem combater a degradação ambiental e promover o desenvolvimento económico compatível com o meio ambiente (Pereira, 2009, p. 21). Como resultado desta conferência, foram aprovados os seguintes programas de ação: a Declaração do Rio, a Convenção sobre a Diversidade

Biológica, a Convenção sobre as Alterações biológicas, a Declaração de Princípios sobre as Florestas e a Agenda 21, sendo esta última a principal referência para a implementação do desenvolvimento sustentável. Trata-se de um dos documentos mais importantes aprovado na conferência, onde se encontram definidas as diretrizes a seguir de forma a alcançar o desenvolvimento sustentável, e procura também conciliar a justiça social, a eficiência económica e o equilíbrio ambiental, indicando os caminhos e as ferramentas de gestão para os alcançar (Álvares, 2009, p.31).

Sendo assim, o modelo de desenvolvimento sustentável deve estabelecer o equilíbrio e a convivência harmoniosa entre três vertentes: social, económica e ambiental (Mateus, 2009, p.2).



Figura II. 1 – Os pilares do desenvolvimento sustentável (Mateus, 2004, p. 10)

Como referido anteriormente, o objetivo do desenvolvimento sustentável é poder corrigir o atual rumo de desenvolvimento, com a inserção de questões, tais como:

- A proteção do ambiente;
- A preocupação pelas gerações futuras;

- A manutenção ou melhoria da salubridade e integridade do ambiente a longo prazo (Mateus, 2009, p.25)

Incluindo também, preocupações em relação à qualidade de vida, ao crescimento económico, a equidade entre pessoas e entre as gerações futuras, à prevenção da pobreza e à qualidade do ambiente.

## **II.2 A definição de Construção Sustentável**

A indústria da construção representa uma parte considerável na economia, sendo um dos maiores e mais ativos setores em toda a Europa, com uma forte incidência no volume do emprego, na contribuição para o PIB e na formação bruta do capital fixo (Pinheiro, 2006, p.18). Representando 28,1% e 7,5% do emprego, respetivamente na indústria e em toda a economia europeia (Torgal e Jalali, 2010, p. 23).

No entanto, este setor continua a utilizar sistemas de construção tradicionais e mão-de-obra não qualificada, constituindo assim, um dos setores com mais impactos negativos, no que diz respeito, ao consumo excessivo de matérias-primas e energias não renováveis, dando assim origem a uma produção excessiva de resíduos (Bragança e Mateus, 2004, p.1). A construção de edifícios representa 40% do consumo de energia total da União Europeia (Diretiva 2010/31/EU).

Uma vez que este setor tem grande influência na economia e no ambiente, é extremamente importante aplicar os princípios da sustentabilidade nesta atividade, assim como nos materiais utilizados nesta indústria. (Lucas, 2008, p.8).

Assim, a construção sustentável de edifícios e a renovação sustentável de edifícios existentes surgem devido à atual realidade da construção. A qualidade dos edifícios tem um grande impacto, no que diz respeito às condições ambientais, económicas e sociais (Pinheiro, 2006, p.124).

O conceito de construção sustentável foi definido em 1994, no Conselho Internacional da Construção – CIB (International Council for Research and

Innovation in Building and Construction), pelo Professor Charles Kibert, como sendo “a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos” (cit. in Mateus, 2009, p.10).

O objetivo da construção sustentável é executar um edifício que reúna as vertentes seguintes: ambiental, económica e sócio-cultural. Como se pode verificar na figura II.2 (Pereira, 2009, p. 25).

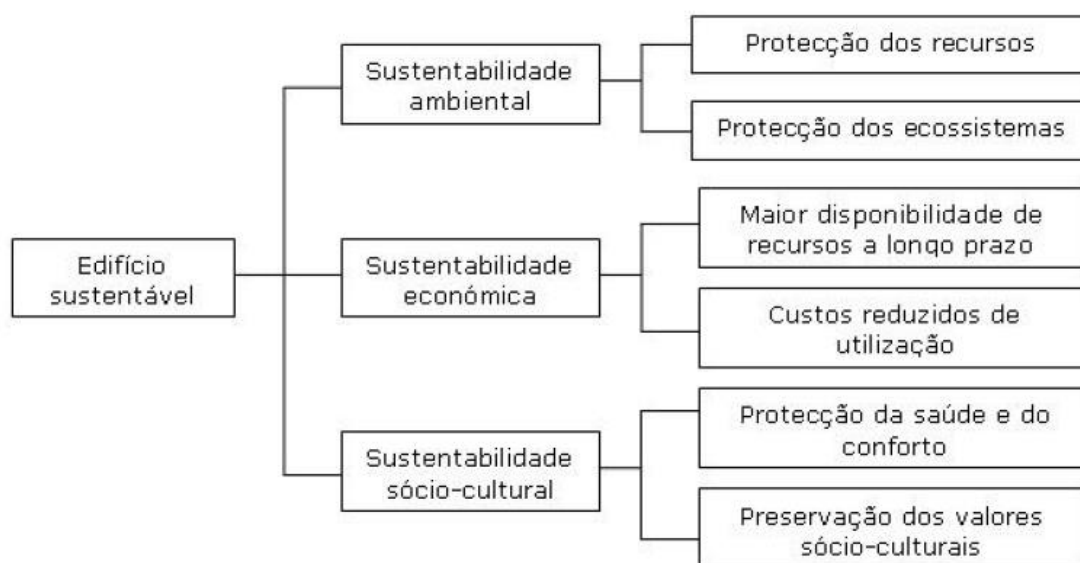


Figura II. 2 – Definição de um edifício sustentável (Pereira, 2009, p. 25)

Devido ao atual conhecimento existente da indústria da construção, relativamente aos impactes ambientais, é necessário existir uma mudança para se atingirem os objetivos da sustentabilidade. Inicialmente é essencial referir e analisar as características da construção tradicional e compará-la com os novos critérios da sustentabilidade dos materiais de construção, dos produtos e dos processos de construção (Pereira, 2009, p. 42). Os fatores considerados numa construção tradicional são: a *qualidade*, o *tempo* e o *custo* (Pereira, 2009, p. 43).

Anteriormente, a construção era somente competitiva se usufrísse do nível de qualidade exigido pelo projeto, se utilizasse sistemas de construção que otimizassem a produtividade durante a fase de construção e que por sua vez, levasse para a diminuição do período de construção, o que permitia maior rapidez na recuperação do investimento, sem alterar os custos da construção (Mateus, 2004, p.12).

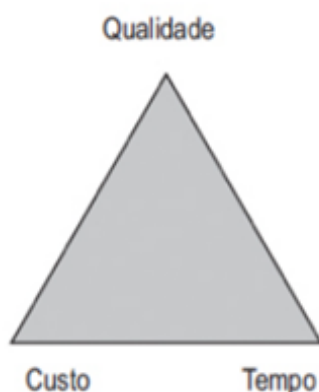


Figura II. 3 - Aspectos a considerar na construção tradicional  
(Adaptado de Pinheiro, 2006, p. 106)

Com as perspectivas da construção sustentável, o conceito de qualidade na construção passa a abranger outras questões, nomeadamente, o consumo de recursos, as emissões poluentes, e o impacto ambiental, contribuindo para a qualidade de vida, para desenvolvimento económico e social (Pinheiro, 2006, p.104).

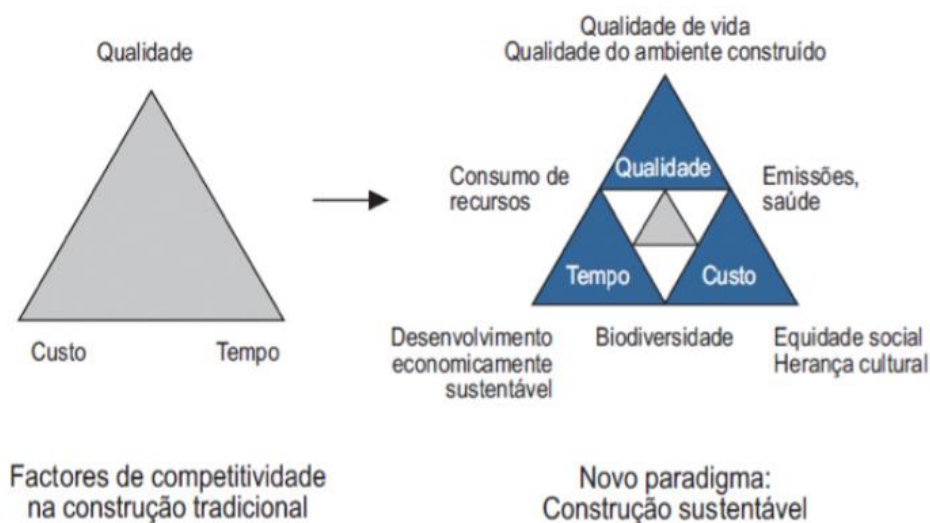


Figura II. 4 - O novo paradigma da construção sustentável  
(Adaptado de Pinheiro, 2006, p. 106)

Também em 1994, com base na definição de Construção Sustentável, o Concelho Internacional da Construção – CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction), apresentou sete princípios para a Construção Sustentável que estão indicados no quadro II.1 (Torgal e Jalali, 2010, p. 24).

Quadro II. 1 - Os princípios da construção sustentável  
(Adaptado de Torgal e Jalali, 2010, p. 24)

### **Os princípios da construção sustentável**

- Redução do consumo de recursos
- Reutilização de recursos
- Utilização de recursos recicláveis
- Proteção da natureza
- Eliminação de tóxicos
- Aplicação de análises de ciclo de vida em termos económicos
- Ênfase na qualidade

É importante aplicar estes sete princípios em todo o ciclo de vida do edifício, desde a fase preliminar de projeto até ao momento da demolição/desconstrução (Kibert, 2012, p.8).

A construção sustentável é uma nova forma de planear, construir e manter os edifícios (Lucas, 2008, p. 15). O principal objetivo é continuar a satisfazer as necessidades básicas humanas e simultaneamente proteger o ecossistema. O consumo de recursos como a energia, a água e os materiais, no ponto de vista da sustentabilidade, tem um papel primordial para o equilíbrio do meio ambiente (Pinheiro, 2009, p.10). A maneira mais eficiente de se construir de forma sustentável é ter em conta os aspetos ambientais nas fases de estudo prévio.

Segundo Ding (2008, p. 13), na realização do projeto deve haver comunicação e interação entre a equipa de projetistas de forma a escolherem a solução que minimize os consumos energéticos e os danos ambientais. Posto isto, os edifícios devem ser projetados de maneira a consumir o mínimo de recursos, aumentando a sua durabilidade e assegurando a sua salubridade a partir da utilização de materiais ecológicos (Barroso, 2010, p. 21).

De acordo com Mateus (2004, p. 15), o ciclo de vida dos edifícios pode ser ampliado através de pequenos investimentos nas fases de concepção e construção, maximizando a durabilidade dos edifícios. Para tal, é importante utilizar tecnologias construtivas e materiais de construção que sejam duradouros, e as construções devem ser flexíveis ao ponto de permitirem o ajuste a novas utilizações. A extensão do ciclo de vida de um edifício é uma forma de amortizar os impactes ambientais produzidos durante a fase de construção. É também importante realizarem-se manutenções periódicas de forma a salvaguardar a sua conservação, aumentando a vida útil do edifício.

Como referido anteriormente, é na fase de projeto que se devem definir as tecnologias construtivas e os materiais de construção que se devem aplicar. Logo, a seleção dos produtos é uma tarefa muito importante para a caracterização da construção em termos sustentáveis. Neste processo de escolha, é necessário conhecer bem os materiais ecológicos disponíveis. Todos os materiais, quer sejam obtidos a partir de resíduos industriais ou de base biológica devem ser utilizados de forma consciente, respeitando o padrão dos ciclos da natureza e a interação com o ecossistema (Costa, 2010, p.67).

Para que um material seja ecológico, o impacto ambiental durante o seu ciclo de vida deverá ser reduzido desde a sua extração até à sua decomposição no ambiente.

### **III. Sustentabilidade dos materiais de construção**

#### **III.1 Seleção dos materiais**

Até então, a escolha dos materiais de construção tem sido feita dando mais importância aos parâmetros funcionais, beneficiando fatores como a rapidez de construção e redução de custos, tendo como critérios de seleção os seguintes pontos:

- Durabilidade;
- Maneabilidade;
- Resistências (mecânicas e ao fogo);
- Biodegradação;
- Humidade;
- Isolamento
- Aparência;
- Custos (Eires, 2006, p.13).

A escolha dos materiais é um processo importante para a caracterização da construção em termos sustentáveis (Costa, 2010, p.67). Para tal, será necessário existir uma alteração nos critérios de seleção dos materiais e produtos de construção. É essencial que os materiais sejam adequados ao meio ambiente e aos usos específicos da edificação, devendo ser um critério a ter em conta na fase de projeto (Bragança et al., 2012, p.2). Os técnicos devem conhecer o ciclo de vida de cada material, desde a sua extração, passando pelo transporte, transformação e utilização, e terminando na sua eventual reciclagem ou reutilização. É importante analisar cada fase do ciclo de vida, pois têm impactos ambientais e custos energéticos associados (Eires, 2006, p.13). Uma forma de reduzir os impactos ambientais é dar preferência a materiais com baixos níveis de energia incorporada, com um processo de desmontagem simples, o que facilita a sua separação e/ou reutilização numa fase de remodelação ou demolição do edifício (Bragança et al., 2012, p.2). Os materiais com energia incorporada similares podem causar impactos diferentes, pois cada material tem as suas características específicas de uso (Sousa et al., s.a, p.4). Outra forma é utilizar ferramentas que funcionem como

um método de avaliação do desempenho ambiental de um determinado material durante o seu ciclo de vida (Carmody, 2005, p.1). Estas ferramentas servem para analisar a sustentabilidade, de forma a identificar qual o melhor material a utilizar em diferentes situações e qual satisfaz os objetivos da construção sustentável (Bragança et al., 2012, p.2). Outro modo de reduzir os impactes no ambiente de um material é diminuir a necessidade de extrair matéria-prima, aplicando medidas como, reciclar e/ou reutilizar materiais de construção, como também utilizar materiais locais da zona de construção (Sousa et al., s.a, p.6).

Quadro III. 1 – Critérios a analisar durante a seleção dos materiais de construção

Fases	Critérios a considerar na seleção dos materiais	Objetivos
<b>Fase de extração e produção de materiais</b>	- Materiais com processos de fabrico simples.	▪ Permitir reduzir a produção de resíduos.
	- Materiais que na sua transformação envolvam menor consumo de energia.	▪ Permitir reduzir a energia incorporada.
	- Dar preferência a matérias-primas naturais ou recursos renováveis.	▪ Conservação da natureza.
	- Materiais com processos de fabrico menos poluentes, no que diz respeito à emissão de gases nocivos.	▪ Reduzir as emissões de gases nocivos na atmosfera.
	- Utilizar materiais locais.	▪ Reduzir a poluição e o consumo de energia ligados ao transporte; ▪ Promover o desenvolvimento da economia local.
	- Materiais obtidos através de resíduos indústrias (reciclados).	▪ Reduzir o consumo de recursos naturais.
<b>Fase de construção</b>	- Materiais que não contenham químicos nocivos na sua constituição.	▪ Garantir uma boa qualidade do ar interior dos edifícios, zelando pela saúde humana e ambiental.
	- Materiais com maior desempenho energético.	▪ Diminuir o consumo de energia durante a utilização do edifício.
	- Materiais com maior durabilidade.	▪ Minimizar a reparação ou substituição dos materiais, de forma a diminuir a utilização de recursos e energia, e a produção de resíduos
<b>Fase de demolição/ Desmontagem</b>	- Materiais que sejam biodegradáveis.	▪ Decompor naturalmente no ambiente, evitando os aterros.
	- Materiais recicláveis.	▪ Aproveitamento dos materiais antigos para o fabrico de novos materiais; ▪ Reutilizar os materiais; ▪ Reduzir os impactos ambientais e a energia incorporada, evitando a extração e a produção de novos materiais.
	- Materiais reutilizáveis.	▪ Reduzir a extração de matérias-primas.

No quadro III.1 encontram-se os critérios de seleção dos materiais de construção de forma mais sintetizada e definidos segundo três fases, sendo estas a fase de extração e produção de materiais, fase de construção e por ultimo, fase de demolição/ desmontagem.

### **III.2 Energia incorporada dos materiais**

A energia incorporada de um material corresponde à energia necessária para produzir um determinado produto, incluindo a extração da matéria-prima, o transporte, a transformação da matéria-prima em produtos finais, manutenção e demolição (Mateus, 2012, p. 73). No entanto, para se obter um cálculo correto da energia incorporada de um material seria necessário ter em conta outros fatores, tais como os combustíveis usados, iluminação e manutenção da fábrica, aquecimento, entre outros (Greenspec, 2013).

Assim, a utilização de um material que incorpore uma energia mais elevada poderá originar maiores consequências ambientais, logo os materiais convencionais com uma elevada energia incorporada poderiam ser substituídos por materiais ecológicos, que apresentem baixa energia incorporada com características equivalentes, de modo a poder ser utilizados para o mesmo fim (Kim e Rigdon, 1998, p. 14).

### **III.3 Análise do ciclo de vida dos materiais**

O conceito de “ciclo de vida” tem origem na biologia, refere-se ao conjunto de estados que um organismo vivo atravessa, desde o seu nascimento, crescimento, maturidade, envelhecimento e terminando na sua morte. Com o desenvolvimento da sociedade, o termo “ciclo de vida” começou a ser introduzido em diferentes áreas, como economia, gestão, organização social e ambiente. Este conceito foi também integrado na construção, aplicando-o nos materiais e nos edifícios, passando pelas fases de produção de materiais, conceção da obra, construção, utilização do edifício, manutenção do edifício e por fim, demolição/desmontagem (Tian Yan e Min, 2012, p.2).

A análise do ciclo de vida de um material define-se da seguinte forma, “inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, ou seja, a extração e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte e a distribuição, a utilização, a manutenção, a reciclagem, a reutilização e a deposição final” (Torgal e Jalali, 2010, p.442).

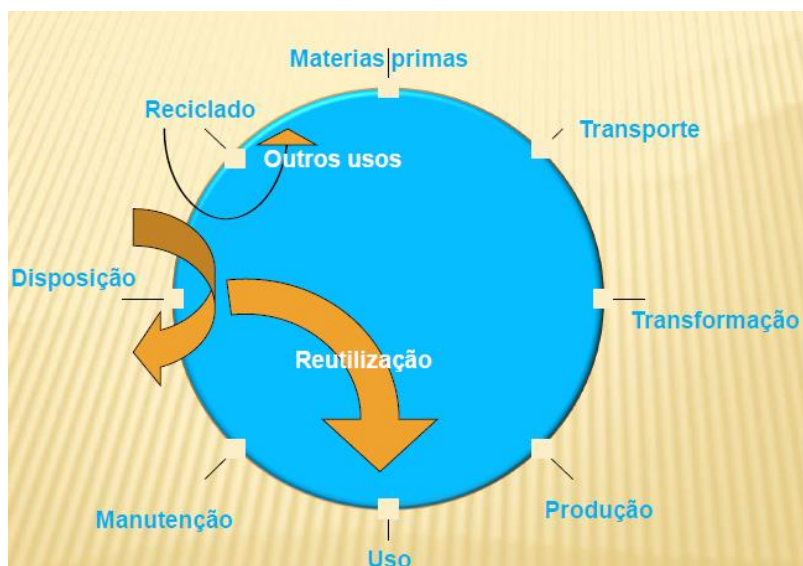


Figura III. 1 - Avaliação do ciclo de vida dos materiais  
(Parâmetros Curriculares Nacionais, s.a)

A análise do ciclo de vida tem vindo a ganhar mais importância, sendo uma forma de facilitar a seleção dos materiais de construção, através de instrumentos metodológicos é possível quantificar os impactos ambientais dos materiais (Kibert, 2012, p. 21). Exemplos destes instrumentos são os modelos de Análise do Ciclo de Vida (ACV). Este tipo de instrumentos utilizam programas de cálculo informático que permitem avaliar os impactos ambientais dos materiais durante o seu ciclo de vida. Assim, a partir da ACV pode-se ter uma imagem mais clara quanto à seleção dos materiais, pois este prevê os aspetos ambientais do material ou do processo (Mateus, 2012, p. 77).

A análise do ACV tem em conta diferentes categorias de impactos ambientais sendo elas as seguintes:

- Consumo de recursos não renováveis;
- Consumo de água;

- Potencial de aquecimento global;
- Potencial de redução da camada de ozono;
- Potencial de eutrofização;
- Potencial de acidificação;
- Potencial de formação de smog;
- Toxicidade humana;
- Toxicidade ecológica;
- Toxicidade de resíduos;
- Uso de terra;
- Poluição do ar;
- Alteração de habitats.

No entanto, não é linear que a importância de cada uma das categorias apresentadas seja aplicada em qualquer caso, pois dependem da realidade de cada país. Como exemplo, um produto que consuma bastante água, constitui um elevado impacto ambiental num país seco, ao contrário se o mesmo acontecer num País onde a presença de água seja mais elevada.

Assim, faz sentido que a categoria de impacto ambiental respetivo ao consumo de água tenha importância diferente consoante o país onde determinado produto ou material for produzido (Torgal e Jalali, 2010, p.443).

### III.3.1 Custos associados ao ciclo de vida dos materiais

Grande parte dos materiais de construção são selecionados tendo apenas em conta o seu custo de aquisição, esquecendo-se que durante o tempo de vida dos edifícios, os materiais sofrem degradações pelo seu uso, tornando assim necessário a sua manutenção e até mesmo a sua substituição. Com isto, torna-se perceptível que outros fatores devem ser tidos em conta aquando a aquisição de materiais de construção como a sua durabilidade que quanto maior, menores serão os custos associados às fases de operação, manutenção e reabilitação.

Também, os custos associados à demolição e eliminação devem ser considerados. O custo de demolição é menor quanto menor for o peso e o volume da estrutura a demolir. A eliminação está relacionada com os custos correspondentes ao transporte dos materiais originados pela demolição até aos depósitos e ao tratamento ou acondicionamento destes de forma a reduzir o impacto no meio ambiente e na saúde humana.

Assim, quando a análise de custos de um material envolve todo o seu ciclo de vida, a aquisição de materiais com custo inicial mais elevado pode justificar-se, isto se a sua durabilidade for maior, o que permitirá reduzir custos futuros. Este investimento inicial pode ser também justificável se o produto obtido apresentar melhor desempenho ambiental durante o seu ciclo de vida (Mateus, 2004, p. 69).

#### **III.4 Materiais ecológicos**

Nas últimas décadas, a preocupação com as atividades humanas e as suas consequências para o ambiente, aumentaram o interesse de especialistas pela ecologia, expandindo as suas áreas de atuação. Estudos realizados sobre as relações estabelecidas num ecossistema começaram a evidenciar que a destruição ou até mesmo a alteração de um único elemento poderia ser prejudicial para estas relações (Parâmetros Curriculares Nacionais, s.a, p.4).

As primeiras reflexões, no século XX, assentaram-se numa proposta ecológica sugerida já em 1866 pelo biólogo Ernst Haeckel. Este termo consiste no conceito de estudar o habitat e o inter-relacionamento de todos os sistemas, vivos e não vivos, entre si e com o meio ambiente (Colaço, 2008, p.31).

O setor da construção, do ponto de vista ecológico, é dos setores mais prejudiciais para o meio ambiente (Bica et al., 2009, p. 1). Logo, uma forma de minimizar os impactos no ambiente, é substituir os materiais usualmente utilizados na construção por materiais ecológicos. Os materiais de construção ecológicos são por isso aqueles que em relação às restantes alternativas, possuem menor impacto ambiental. Contudo, isto não é tão linear, uma vez que um determinado material denominado mais amigo do ambiente pode utilizar materiais locais e pode permitir o escoamento de resíduos industriais,

mas em contrapartida pode também produzir elevadas quantidades de CO<sub>2</sub>, enquanto que outro produto ecológico pode ser reciclado indefinidamente, mas na sua produção envolver um elevado consumo energético. Assim, é pertinente antes de qualquer escolha de um determinado material, proceder-se à contabilização de todos os impactos ambientais durante todo ciclo de vida.

São considerados materiais ecológicos, aqueles que respeitem os seguintes requisitos:

- Deve ser de origem natural: materiais naturais são os mais saudáveis para a saúde humana.
- Deve possuir uma alta qualidade de isolamento: Materiais que possuam boas propriedades de isolamento evitam o consumo excessivo de energia (Bica et al., 2009, p.1).
- Ser durável: No processamento dos materiais há gastos energéticos elevados, logo se o material for mais duradouro e que necessite uma menor manutenção, contribui para a poupança energética.
- Não conter químicos nocivos (toxidade do material): Garantir uma boa qualidade do ar, contribuindo para a saúde humana, como também para a saúde ambiental.
- Baixos níveis de energia incorporada: A energia incorporada resulta do somatório da energia consumida durante a extração do material, do transporte e do seu processamento. Quanto maior energia se gastar na fase de transformação maior será a energia incorporada. Posto isto, devem ser utilizados materiais com baixa energia incorporada.
- Estar disponível nas proximidades das construções: O transporte dos materiais implica gastos energéticos e impactos ambientais (emissão de gases poluentes).

- Ser produzido a partir de matérias recicladas: Os materiais reciclados contribuem para a diminuição dos problemas relacionados com os resíduos sólidos, para a diminuição dos consumos energéticos e para a preservação dos recursos naturais (Mateus, 2009, p.37)

#### III.4.1 Materiais obtidos através de resíduos industriais

À medida que a população mundial cresce, a quantidade de resíduos a ser gerada também cresce, tornando-se um grave problema urbano. Muitos desses resíduos produzidos permanecerão no meio ambiente por centenas ou talvez milhares de anos. Os problemas associados à grande produção de resíduos, principalmente após 1980, são maioritariamente os elevados custos sociais na gestão destes, os problemas de saneamento público, os impactos ambientais e a limitação de deposição destes resíduos devido à valorização e ocupação de área urbana (Ângulo et al., 2001, p.1).

Uma solução para os problemas gerados é utilizar os resíduos produzidos nas fases de construção e demolição servindo de matéria-prima, para a reciclagem e reutilização, criando novos materiais de construção (Torgal e Jalali, 2008, p.2).

Para além da reciclagem/ reutilização minimizar os resíduos produzidos no fabrico de determinado material, também, permite que haja uma diminuição da energia necessária na fase de produção, uma redução da procura de recursos naturais e evita que os resíduos tenham como fim os aterros sanitários (Ângulo et al., 2001, p.2), uma vez que a sua deposição poderá originar impactos no ambiente e ocupação do solo (Eires, 2008, p.16). Assim, o ciclo produtivo de um certo material pode terminar na fase de reciclagem e reutilização, com o fim de reduzir o consumo energético e o impacto ambiental, começando um novo ciclo de vida do material (Eires, 2008, p.17). Um exemplo é o alumínio, que na sua produção requer grandes quantidades de matéria-prima para se obter um produto de pequena quantidade. A reciclagem do alumínio necessita somente 20% da energia necessária à extração do alumínio. No entanto, na construção só 15% do alumínio é reciclado (Kim e Rigdon, 1998, p.23).

Quadro III. 2 – Energia incorporada de alumínio virgem e reciclado (Adaptado de Vitoria University of Wellington, 2007, p. 1)

Material	Energia incorporada em MJ/kg
Alumínio (virgem)	191
Alumínio (reciclado)	8,1

Para a produção de um quilograma de alumínio é necessário 191 MJ/kg de energia, enquanto para o alumínio reciclado é preciso somente 8,1 MJ/kg.

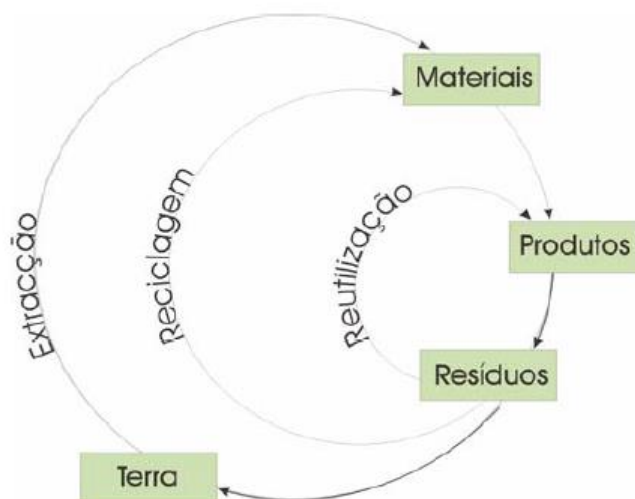


Figura III. 2 - Os diferentes ciclos de vida dos materiais (Eires, 2008, p. 33)

A figura III.2 resume os possíveis ciclos de vida dos materiais, podendo ter diferentes fins, tais como, a possibilidade de serem reutilizados, reciclados (para produção de novos materiais) ou depositados.

Segundo Mália (2010, p.19), a reutilização é mais desejável em relação à reciclagem, pois o material recuperado não passa por um processo de transformação, tendo vantagens ambientais e, no caso da reciclagem, o material é reprocessado para o fabrico de um novo material.

### III.4.2 Materiais de base biológica

As plantas são recursos renováveis que podem ser cultivadas e colhidas numa base sustentável, sendo assim uma fonte de matérias-primas (Berge, 2009, p.178). A utilização de materiais compósitos de base biológica oferece uma diminuição nos impactes ambientais, redução do consumo de energia, propriedades de absorção acústica, redução das emissões de substâncias orgânicas voláteis e redução na dependência de recursos não renováveis (Drzal et al, 2004, p.1).

Os biocompósitos são materiais compósitos que derivam de produtos de base biológica (Fowler et al, 2006, p. 1). Um exemplo são os materiais compósitos produzidos através de derivados de madeira, que sofrem diferentes processos de fabrico e incorporam aglutinantes poliméricos ou cimentíceos. Também, existem materiais compósitos de betões ou argamassas reforçados com plantas fibrosas, tais como, cânhamo, linho, trigo, aveia, cevada, centeio, arroz, cana-de-açúcar, algodão, juta e coco (Eires, 2006, p. 20).

As fibras de origem vegetal podem ser classificadas segundo a secção da planta: de folhas, de caules, do talo, e ainda de sementes (Fernandes, 2008, p. 4). Estas fibras possuem uma composição química baseada em fibras de celulose, sendo a celulose o principal constituinte dos materiais vegetais e podendo também existir outros componentes, como a hemicelulose e lenhina (Fernandes, 2008, p.5).

O teor de cada um dos componentes varia de planta para planta e também consoante a origem geográfica, o grau de maturidade da planta, a temperatura, a humidade, entre outros (Fernandes, 2008, p.6).

No quadro seguinte encontram-se algumas das plantas fibrosas utilizadas na construção:

Quadro III. 3 - A utilização de plantas fibrosas na construção (Adaptado de Borjn, 2009, p. 194)

<b>Planta</b>	<b>Secção utilizada</b>	<b>A utilização na construção</b>	<b>Tipo de clima</b>
<b>Cânhamo (<i>Cannabis sativa</i> L.)</b>	Caule/ Sementes	Placas, revestimentos, isolamento, coberturas, reforço em terra ou betão e óleos	Moderado
<b>Linho (<i>Linum usitatissimum</i> L.)</b>			
<b>Trigo (<i>Triticum</i>)</b>	Pé/Talo	Placas, revestimentos, isolamento, coberturas, reforço em terra ou betão	Moderado
<b>Aveia (<i>Avena</i>)</b>	Caule	Coberturas	Moderado
<b>Cevada (<i>Hordeum</i>)</b>		Coberturas	Moderado
<b>Centeio (<i>Secale cereale</i>)</b>		Placas, revestimentos, isolamento, coberturas, reforço em terra ou betão	Moderado
<b>Arroz (<i>Oryza sativa</i>)</b>		Placas	Quente
<b>Cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)</b>		Placas	Subtropical
<b>Algodão (<i>Gossypium</i>)</b>		Placas	Quente
<b>Juta (<i>Corchorus capsularis</i>)</b>		Juntas de vedação	Subtropical
<b>Coco (<i>Cocos nucifera</i>)</b>	Casca	Isolamentos e juntas de vedação	Subtropical

## IV. Introdução ao cânhamo

### IV.1 Cânhamo

A partir de um ponto de vista histórico, há milénios que o cânhamo tem sido uma importante matéria-prima para a indústria. As fibras do cânhamo foram utilizadas para o fabrico de diversos produtos técnicos, tais como, cordas, amarras, lonas de barcos, tecelagem, entre outros. Na década de 90, o cânhamo foi redescoberto como uma importante matéria-prima para produtos de base biológica (Bioplastics magazine, 2010, p.36). Assim, a sua indústria tem vindo a desenvolver-se um pouco por todo o mundo, devido às suas qualidades, tendo uma panóplia de aplicações, passando pela alimentação, cosmética, têxteis, combustíveis, e até aos materiais de construção (Fernandes, 2010, p. 86).

O cânhamo industrial é uma variedade da planta *Cannabis Sativa L.*, este por vezes é confundido com a *marijuana*, que também é da mesma espécie mas de uma diferente variedade. O cânhamo é geneticamente distinto devido à sua composição química (Kentucky of Agriculture Department, 2013). Este tem um índice muito baixo, praticamente nulo de substância psicotrópica ou *tetracannabiol* (THC), tendo geralmente menos de 0,1%, enquanto que a *marijuana* tem um índice de THC bem mais elevado, variando entre 4 a 12% (Romão, 2003, p. 57).

Quase todas as partes da planta do cânhamo podem ser utilizadas. No entanto, o cultivo do cânhamo tem sido realizado maioritariamente para extração das fibras exteriores da planta, após a remoção das suas fibras, fica a sobrar o interior do caule, sendo o cerne lenhoso. O cerne lenhoso é utilizado aos pedaços e assemelham-se a pequenas aparas de madeira, mas diferem devido à extrema leveza e absorção, são utilizadas para forragem de animal, absorventes para camas de animais e construção (Eires, 2008, p.41).



Figura IV. 1 – Caule da planta do cânhamo (Hemp architecture, s.a)



Figura IV. 2 – As fibras da planta do cânhamo (Hemp architecture, s.a)

As fibras de cânhamo resultantes da planta são utilizadas para o fabrico de papel, podendo ser papel de cigarros e notas, produtos têxteis e materiais de isolamento. As sementes são retiradas do fruto da flor e através do processo de esmagamento resulta o óleo do cânhamo, e a partir deste, fabricam-se produtos de construção, como bioplástico, tintas, vernizes e lubrificantes, combustíveis (biodiesel), produtos alimentares e produtos de cosmética (Carus et al., 2013, p.1).



Figura IV. 3 – As fibras extraídas da planta do cânhamo (Hemp architecture, s.a)



Figura IV. 4 – Cerne lenhoso do núcleo da planta do cânhamo (Hemp architecture, s.a)

#### IV.1.1 A evolução histórica

As culturas de cânhamo tiveram início em meados de 8.000 A.C no Médio Oriente (Pelajo, 2012, p.19). Pensa-se que a fibra do cânhamo já era utilizada pelos Mongóis, Tártaros e Japoneses, na produção de vestuários, antes mesmo da seda e algodão. Desde 207 A.C, que a fibra do cânhamo era utilizada na produção de papel na China (Fold, 2013). Na Europa, o seu cultivo cresceu principalmente a partir de 500 D.C com os povos Franceses, Alemães e Vikings devido às suas aplicações, tais como, cordoaria, têxteis, reforço da construção em terra crua ou argila, e em usos de impermeabilização (Eires, 2008, p.42). Ainda na Europa, em 1456, Johannes Gutemberg desenvolveu a imprensa usando papel de cânhamo (Fold, 2013). Entre 1500 e 1600, os

Portugueses e Espanhóis levaram o cânhamo para as Américas (Sul e Norte), essencialmente para a preparação de cabos e velas para as embarcações (Eires, 2008, p.42). A título de exemplo, o papel do cânhamo foi utilizado para escrever o rascunho oficial da Declaração de Independência dos Estados Unidos da América (Pelajo, 2012, p.21). Em 1900, os primeiros jeans da Levis foram confeccionados com fibras de cânhamo.

#### IV.1.2 O cultivo do cânhamo em Portugal

Em tempos, a cultura do cânhamo teve grande importância em Portugal. Pensa-se que o cânhamo terá sido introduzido em Portugal pelos romanos mas foi no período dos descobrimentos que o cânhamo surgiu com grande impacto, pois era utilizado no fabrico de cordas e velas para as embarcações portuguesas (nPlantas, 2013). Na altura, o seu cultivo era desenvolvido um pouco por todo o País, mas as zonas onde atingiram maior expansão, foram nas regiões de Vale da Vilariça, Vales do Mondego e Tejo (Campos do Ribatejo).

A verdade é que não são totalmente conhecidas as razões pela qual a cultura do cânhamo perdeu a importância. Segundo Graça (1945, p. 15), os motivos pelo desaparecimento da cultura foi talvez devido à proibição da exportação da fibra e em simultâneo, não existir indústria capaz de absorver a produção, como também, poderá ter sido devido às dificuldades encontradas durante o processo de maceração. No entanto, Eires (2008, p. 42) refere que, em 1971 o cultivo do cânhamo na Europa tornou-se ilegal devido à sua possível mistura com o *cannabis* psicotrópico, a *marijuana*.

Em 1998, o cultivo do cânhamo foi retomado pela empresa “Cânhamo de Portugal, Lda” com ajuda da União Europeia. Neste momento, a empresa encontra-se sem atividade (Romão, 2003, p.57). No entanto, em 2013 foi criada uma cooperativa, CANAPOR (Cooperativa para o desenvolvimento do cânhamo), para recomeçar o cultivo do cânhamo em Portugal.

## IV.2 Breve nota botânica

O cânhamo é uma planta anual que cresce rapidamente, pertence à família das Urticáceas e à sub-família das Cannaboideas ou Cannabináceas. Esta pode atingir uma altura, em média, entre 1,5 a 4 m, tendo um período de crescimento de aproximadamente 100 – 120 dias (Bruijn, 2008, p.10). A sua raiz é aprumada, profunda e revestida de pequenas radículas. Apresenta um porte ereto, folhas pecioladas e compostas, caule sucoso, com cavidade medular e casca fibrosa recoberta de pequenos pêlos ásperos, que depois das plantas secas adquirem ainda maior aspereza. Quando esta é cultivada num espaço limitado, a planta do cânhamo tem tendência a reduzir-se a uma haste única e esguia, caso disponha de muito espaço, é suscetível de se ramificar, quase desde a base, tendo uma aparência de pequeno arbusto (Graça, 1945, p.1).

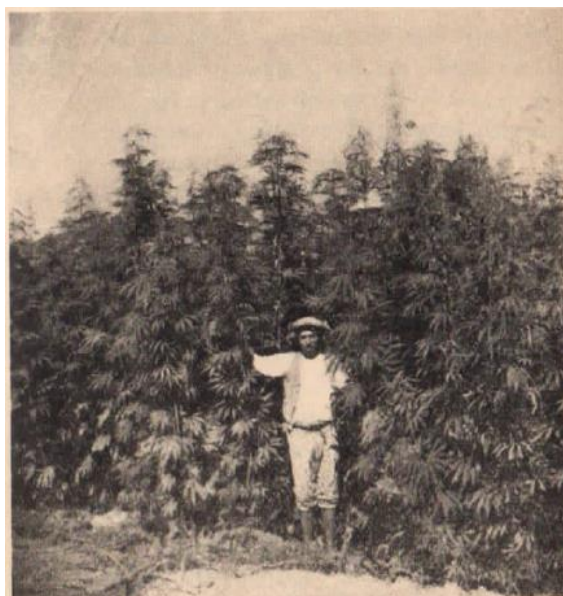


Figura IV. 5 – Sementeira com dois meses em Portugal  
(Graça, 1945, p.8)

O cânhamo é uma planta dioica, podendo haver plantas masculinas ou femininas. Estas plantas, na sua primeira fase de desenvolvimento, são praticamente indistinguíveis, sendo, somente possível, distingui-las quando atingem entre mês e meio a dois meses, pois os indivíduos masculinos, começam apresentar, na extremidade superior do caule, cachos de flores, já os indivíduos femininos apresentam as flores de forma agrupada na axila das folhas, localizadas na extremidade dos ramos (Graça, 1945, p.4).

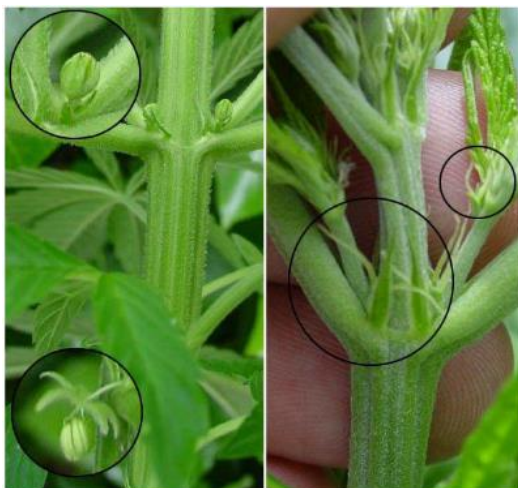


Figura IV. 6 - Diferenças dos géneros da planta do cânhamo  
(The ultimate cannabis, s.a)

Na figura IV.6 verifica-se a diferença entre a planta masculina e feminina, sendo a do lado esquerdo a do género masculino, podendo ver que as extremidades da planta já apresentam flores bastante desenvolvidas, porém a planta feminina, encontra-se mais folhosa e ainda sem flores.

Os indivíduos femininos têm um desenvolvimento mais lento relativamente às plantas masculinas que têm um desenvolvimento mais rápido, mas em contrapartida, são mais vigorosas, atingem maiores alturas e grossuras, têm maior tendência para ramificar e em geral, são mais folhosas e de cor verde mais carregado.

O fruto do cânhamo é um aquénio, fruto seco, de forma arredondada, envolvido por uma casca lisa, dura e frágil, de cor cinzenta, por vezes brilhante, quando bem maduro, contendo apenas uma semente (Graça, 1945, p. 2).

As fibras da planta encontram-se agrupadas em pequenos feixes à volta do caule, na parte exterior do mesmo. Quando se procede à colheita, os indivíduos masculinos produzem fibra de melhor qualidade do que os femininos (Graça, 1945, p. 3).

#### IV.2.1 O clima

O cânhamo é uma planta que se encontra espalhada pelo mundo, o que dispõe de uma notável adaptação aos diversos climas, desde que sejam quentes ou temperados, pois o desenvolvimento da planta é afetado pela falta de calor e pelas geadas, efeitos estes que poderão danificar a planta. Logo, as sementeiras devem ser realizadas na primavera e verão, sendo as épocas mais propícias para o cultivo. As chuvas e as subidas repentinas de temperatura são fatores meteorológicos que podem constituir perigo para as plantas. Contudo, os acontecimentos meteorológicos, como as chuvas excessivas e os calores imprevistos não acontecem com regularidade, logo não apresentam perigo em demasia para a planta que se deva dar especial atenção. Sendo assim, pode-se concluir, que Portugal é um país favorável para o cultivo do cânhamo (Graça, 1945, p. 5).

#### IV.2.2 O solo

Devido ao facto da planta do cânhamo só necessitar de um período de desenvolvimento vegetativo de aproximadamente quatro meses, é natural que seja uma planta exigente. Posto isto, para atingir o seu máximo desenvolvimento é importante que o terreno seja fértil. Assim, o seu meio ótimo encontra-se nos solos ricos, que tenham bastante matéria orgânica, fundos frescos (sem serem húmidos nem frios) e de natureza neutra ou ligeiramente alcalina. É possível vegetar em terrenos arenosos, pobres e permeáveis, desde que seja estrumado, adubado e regado com abundância. No entanto, são adversos aos terrenos frios, acentuadamente compactos, de difícil drenagem e elevada acidez, como também aos solos acentuadamente calcários, a probabilidade da cultura ter um bom desenvolvimento é reduzida devido ao excesso de cal, diminuindo a qualidade das fibras. Um fator bastante importante para o bom desenvolvimento de uma cultura de cânhamo são as regas, pois estas são essenciais, principalmente em solos que aparentem ser argilosos. Outro fator a ter em conta, é o atraso nas primeiras regas que acelera a fase de floração, tendo como consequência o impedimento das plantas atingirem grandes crescimentos, afetando a qualidade da fibra (Graça, 1945, p. 7).

### IV.2.3 Plantação (Sementeira e Colheita)

Em Portugal, a época recomendada para a sementeira é entre o mês de Abril e primeira quinzena de Maio. Normalmente, a finalidade da cultura do cânhamo é a obtenção da fibra, em certos casos, realizam-se sementeiras com o fim de obter sementes. Porém, é possível explorar a fibra e sementes em simultâneo, mas as suas qualidades ficam afetadas (Graça, 1945, p.11 e 88).

Para se obter fibra de qualidade, é importante que as sementeiras sejam densas, de maneira a maximizar o crescimento do caule, a colheita realiza-se quando os pés masculinos perderem as folhas da base, deixando cair algumas flores e mostrarem tendência para secar, nesta altura as sementes encontram-se ainda em maturação. Esta fase coincide com o momento em que, nas plantas femininas termina o crescimento, as folhas da base perdem coloração verde escura e ficam verde esbatido, e os frutos já começam a ficar perceptíveis, apesar de ainda se encontrarem em fase de desenvolvimento.

Nas culturas com a finalidade de produzir sementes, é necessário que cada planta tenha o seu espaço de forma a permitir a boa ramificação, sendo a colheita realizada quando os frutos estiverem bem maduros. Quando o objetivo é obter fibra e semente da mesma cultura, a fibra resultante da mesma é de menor qualidade, devido à demora da colheita que a torna mais áspera, grosseira e escura, e a produção de semente é menor devido às sementeiras serem bastante mais densas permitindo às plantas tornarem-se mais compridas, finas e com pouca ramificação. Aquando a sua colheita em época indicada, a planta masculina produz fibra de melhor qualidade e as plantas femininas produzem maior quantidade de sementes (Romão, 2003, p.61).

## IV.3 Utilização do cânhamo na construção

### IV.3.1 Aplicação das fibras de cânhamo no betão

A utilização das fibras de cânhamo na construção já vem de há muito tempo, estas eram utilizadas para reforçar os tijolos de argila. Atualmente, têm sido utilizadas para o reforço de materiais à base de cimento, tais como, betões, argamassas, blocos e placas (Eires et al., 2010, p.2). Este betão utiliza a celulose proveniente das fibras de cânhamo que se designa por betão de

cânhamo, é um bio-compósito feito a partir do núcleo lenhoso do cânhamo, em fragmentos, misturado com um aglutinante à base de cal. O núcleo lenhoso do cânhamo tem um elevado teor de sílica, o que permite que exista uma boa ligação com a cal (American Lime Technology, 2012), ativando as suas fibras na presença de cal e água, levando assim a um processo de petrificação (Eires et al., 2010, p.2).

Este tipo de material de construção tem sido estudado e aplicado em alguns países, como França, Reino Unido e Alemanha. São conhecidas distintas composições baseadas na utilização da cal, podendo ser aérea ou hidráulica e diferentes aditivos, adicionados em quantidades distintas. Estes aditivos podem ser o gesso, cimento, produtos pozolânicos, pó de pedra e areia.

O betão de cânhamo pode ser aplicado de diversas maneiras, como coberturas, paredes interiores e exteriores, substituindo assim a parede de tijolo convencional com o isolamento térmico ou acústico e revestimentos como o gesso cartonado (Eires et al., 2010, p.2). Existindo três maneiras de aplicação, por blocos pré-fabricados, por compactação e por pulverização (Bruijn, 2008, p.15).

#### Blocos pré-fabricados (*blocks*)

Os blocos pré-fabricados são feitos de betão de cânhamo, contendo medidas standardizadas (Hemp architecture, s.a) e é considerado como sendo um método seco de construção, pois os blocos são secos antes de irem para o local. Consistem em blocos semelhantes ao tijolo normal, suportados por uma estrutura de madeira e colocados sobre pregos, que encaixam em furações pré feitas nos blocos, que lhes fornece estabilidade necessária.

Na França, algumas casas foram construídas com este tipo de blocos pré-fabricados, entre outros, como em Paris, Perpignan e Sul Brittany (Bruijn, 2008, p.16).



Figura IV. 7 - Exemplo de blocos pré-fabricados de betão de cânhamo (Hemp architecture, s.a)

### Compactação (*Tamping*)

É um método no qual colocam estruturas de madeira como suporte de cargas e o seu interior é enchido com betão de cânhamo. Após o enchimento, com ajuda de cofragens, o betão de cânhamo é compactado à mão ou com maquinaria própria para o efeito, no entanto as fibras não podem ser compactadas excessivamente pois reduzem as propriedades térmicas das mesmas. Contudo, a compactação deve resultar num produto duro e sem espaços de ar. No final deste processo, as cofragens podem ser imediatamente removidas (Bruijn, 2008, p. 15).



Figura IV. 8 - Exemplo do método de compactação do betão de cânhamo (Phillips, 2010)

### Pulverização (*Spraying*)

Este método consiste na pulverização do betão de cânhamo nas estruturas de madeira, resultando numa maneira de aplicação semelhante ao comum betão projetado. Esta técnica é bastante rápida (a cerca 6 m<sup>3</sup> por hora para uma parede de cânhamo). É um método que necessita de pessoal técnico para a sua realização (Amziane e Arnaud, 2013, p.122).



Figura IV. 9 - Exemplo do método de pulverização do betão de cânhamo (Mukherjee, 2012, p. 32)

Também, as fibras de cânhamo podem ser aplicadas em pavimentos, no cobrimento ou na regularização de pisos, devido à sua leveza, como em acabamentos, é importante utilizar produtos que permitam a capacidade de passagem de vapor de água, pois é uma característica deste tipo de construção, sendo recomendado o uso da cal (Eires, 2008, p.44).

A construção em cânhamo quando comparada à convencional, para além do facto de ser biológica e de carácter ecológico tem a capacidade de permitir a respiração natural do edifício, prevenindo a ocorrência de condensações dado à sua capacidade de absorção e resistência à água, sem impermeabilização. O isolamento térmico e acústico que este tipo de construção apresenta é proporcionado pelo elevado teor em sílica e porosidade de todos o material. A sua flexibilidade e a capacidade de se ajustar aos movimentos, próprios de qualquer construção, evitam o surgimento de fissuras. É um material não inflamável e não liberta fumos tóxicos. Tem vantagens em relação a outras construções, nomeadamente construções em terra crua ou em fardos de palha, pois é resistente a insetos, fungos e bactérias (Eires, 2008, p.45).

### IV.3.2 Utilização de fibras de cânhamo como isolamento

Hoje em dia existem materiais de isolamento e soluções para proporcionar um elevado desempenho em torno de toda a estrutura de um edifício. Os materiais tradicionais de isolamento mais utilizados são as fibras de vidro, fibras cerâmicas e fibras de lã de rocha. No entanto, todos estes materiais envolvem a produção de bastante resíduos e têm uma elevada energia incorporada (Peev, 2012, p.30).

As fibras exteriores resultantes do caule do cânhamo são utilizadas como isolamento térmico e acústico nas construções (Kymalainen e Sjoberg, 2008, p.1). Apresenta um coeficiente térmico muito baixo, cerca de  $0,039 \text{ W/m}^\circ \text{ K}$ , o que o torna um bom material isolante (Natural insulations, 2010). Da aglomeração das fibras de cânhamo, ligeiramente comprimidas, resultam as placas flexíveis, sem necessitar de ligantes e estando somente sujeitas a um tratamento anti-fogo (Sousa, 2010, p.87). Estas podem ser usadas em paredes, pisos e coberturas (Peev, 2012, p.30). Aplicação do cânhamo como isolamento tem vindo a crescer, no entanto uma das razões que tem dificultado a utilização deste material é o seu preço, sendo mais elevado em comparação com a lã mineral. Contudo, a utilização do cânhamo é mais benéfico em termos ambientais e saúde humana, tendo uma baixa demanda na produção, poderá ser reciclado, tem efeitos positivos sobre o ar interior e tem uma menor energia incorporada em relação, por exemplo, a lã de rocha (Kymalainen e Sjoberg, 2008). O cânhamo apresenta uma energia incorporada de  $0,0014 \text{ MJ/Kg}$  (Rhydwen,s.a, p. 9) e a lã de rocha de  $16,80 \text{ MJ/Kg}$  (Greenspec, 2013).



Figura IV. 10 - Exemplo de isolamento em painel em fibra de cânhamo (Mclaren, 2006)



Figura IV. 11 - Exemplo de isolamento em rolo em fibra de cânhamo (Geiger, 2013)

A partir das fibras do cânhamo também é possível obter MDF (Médium Density Fiberboard), este tipo de material pode ser utilizado na construção como placas, vigas e produtos moldados como mobiliário (Hemp network, s.a). O processo de produção é feito recorrendo a sistemas de compressão e uma cura térmica a elevadas temperaturas, originando assim um produto bastante resistente (Eires, 2008, p.47). Também, através das fibras do cânhamo é possível adquirir bioplásticos, sendo um produto totalmente biodegradável, resistente a elevadas temperaturas em comparação com outros plásticos e apresenta uma ampla aplicação na construção (Peev, 2012, p.32).

Como é possível verificar, o cânhamo tem diversas utilidades na construção, sendo estas descritas em síntese no quadro seguinte.

Quadro IV. 1 – Utilização das diferentes partes do cânhamo na construção

		Descrição	Aplicação	Produtos
Cânhamo	Fibras	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matérias-primas renováveis;</li> <li>▪ Não tóxico;</li> <li>▪ Com baixas emissões CO<sub>2</sub>;</li> <li>▪ Com baixa energia incorporada;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Materiais de isolamentos: térmicos e acústicos de paredes, pavimentos e coberturas;</li> <li>▪ Placas (MDF).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Isolamento de cânhamo:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bom regulador de humidade;</li> <li>○ Elevada resistência térmica e acústica;</li> <li>○ <math>\lambda=0,038</math> W/m °C.</li> </ul> </li> </ul>
	Cerne lenhoso do interior da planta	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Paredes;</li> <li>▪ Pavimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Betão de cânhamo:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Material composto por cânhamo, cal e água;</li> <li>○ Absorve CO<sub>2</sub>;</li> <li>○ Boa resistência ao fogo;</li> <li>○ Boa permeabilidade;</li> <li>○ Elevada resistência térmica e acústica.</li> </ul> </li> </ul>

#### **IV.4 Avaliação do ciclo de vida**

Devido ao grande impacto ambiental da indústria da construção civil, a utilização de cânhamo como material de construção permite a diminuição da libertação de CO<sub>2</sub> para atmosfera, a diminuição do uso de materiais tóxicos, a diminuição de desperdícios e valoriza a utilização de materiais renováveis. Além disso, promove o crescimento da produção agrícola da planta, sendo uma alternativa à desflorestação.

A extração mineral passa a ser também reduzida pois não é necessário o uso de agregados convencionais, somente pequenas percentagens na utilização de aditivos. A energia utilizada para a plantação, colheita e extração da fibra é mínima e não necessita de tratamentos químicos bem como a energia e os custos associados ao transporte pois é um material de alta leveza.

Em caso de uma eventual demolição, devido à natureza orgânica da planta, esta permite a sua biodegradabilidade, diminuindo assim o impacto ambiental (Eires, 2008, p.46).

Como em todas as plantas, a planta do cânhamo ao realizar a fotossíntese absorve CO<sub>2</sub> da atmosfera, incorporando-o na sua composição estrutural, libertando oxigénio. No entanto, a aplicação do cânhamo na construção apresenta benefícios ambientais em relação a outros materiais convencionais, pois, é um material com baixa energia e carbono incorporado, reduzindo o impacto ambiental.

Assim, a utilização do cânhamo na construção traduz-se num processo de absorção de CO<sub>2</sub> da atmosfera e o seu aprisionamento na própria composição do edifício. Com isto, o carbono incorporado do cânhamo poderá ser considerado zero ou negativo, pois em 1m<sup>3</sup> de cânhamo podem ser aprisionados 108kg de CO<sub>2</sub> retirados da atmosfera (Hemp Architecture, s.a).

## **V. Caso prático**

### **V.1 Caracterização do objeto de estudo**

Uma vez que não existem casas construídas em cânhamo em Portugal, com estudos realizados o presente caso irá apoiar-se num projeto desenvolvido na Grã-Bretanha. O projeto foi destinado de forma a permitir a comparação entre casas realizadas em cânhamo e a construção convencional (Yates, 2002, p. 3).

A ideia da construção em cânhamo surgiu com a viagem realizada a França pelo Arquiteto Ralph Carpenter, onde viu variadas casas construídas em cânhamo, tendo levado a ideia para Suffolk. Assim, a utilização do cânhamo foi o principal material na construção das casas (Harbay, 2005).

O desenvolvimento do projeto deveu-se ao crescente interesse de inovação e de necessidade de construir de forma sustentável, tendo sido realizado pela Suffolk Housing Society e apoiado por várias entidades, tais como St. Edmundsbury Borough Council, Chenevotte Habitat (um produtor de cânhamo), HL2 (um produtor de cal hidráulica do Reino Unido), entre outros (Yates, 2002, p. 3). Estas financiaram a Building Research Establishment (BRE) para realizar estudos do desempenho das habitações (Yates, 2003, p. 5).

As casas em cânhamo foram construídas para Suffolk Housing Society como parte de uma zona de habitação social em desenvolvimento. Estão localizadas na cidade de Haverhill do concelho Suffolk em Inglaterra, sendo as primeiras construções em cânhamo na Grã-Bretanha.

O projeto envolveu a construção de 18 habitações, das quais 16 foram construídas utilizando sistemas de construção e materiais convencionais, e 2 foram construídas com cânhamo (Yates, 2002, p. 3).

### **V.2 Objetivo do projeto**

O projeto das casas em cânhamo tem como objetivo identificar as verdadeiras vantagens ambientais das mesmas, utilizando materiais ecológicos e altamente sustentáveis, bem como demonstrar que a construção em cânhamo e cal

poderá ser uma alternativa viável de baixa energia em relação à construção convencional.

Foi estudado também, as resistências mecânicas, o desempenho acústico e térmico, permeabilidade e durabilidade. Também foi tido em conta os resíduos gerados, o impacto ambiental e os respetivos custos das construções (Suffolk Housing Society – Homes from hemp, s.a, p. 3).

### **V.3 A construção**

Apesar do projeto envolver a construção de 18 habitações, o estudo centrou-se em 4 casas, duas construídas de forma convencional, de dois andares, com parede externa de alvenaria tradicional (tijolo) e parede interior, com lã de rocha e blocos de betão (Yates, 2002, p.30). As outras duas casas, construídas em cânhamo, tendo como nome comercial *Isochanvre*, cal hidráulica e com estrutura em madeira (Clarke, 2002, p. 8). Todas as casas encontram-se adjacentes umas às outras. (Yates, 2002, p. 6).

A construção das casas começou em Novembro de 2000, tendo sofrido muitos atrasos devido à extrema chuva da época, enchentes, neve e gelo. Inicialmente as fortes chuvas e as enchentes dificultaram os trabalhos no terreno, nomeadamente de escavação. Mais tarde, as geadas fizeram atrasar os trabalhos na construção das casas em cânhamos, devido ao limite de temperatura destas.

Durante a construção foi registada a quantidade de resíduos gerados e todo o processo construtivo foi monitorizado em tempo real no local e registos fotográficos foram mantidos.

A construção das casas em cânhamo foi realizada por uma equipa de trabalhadores que nunca tinha construído uma casa com este material pelo que não havia uma referência onde se basearem. Deste modo, a monitorização através de camaras fotográficas foi importante para o desenvolvimento e melhoria à medida que a construção evoluía (Yates, 2002, p. 8).

Ficou a cargo da BRE monitorizar as quantidades de resíduos gerados nas construções das duas casas em cânhamo e das duas casas tradicionais. No

entanto, não foi possível monitorizar em toda a construção, pois devido aos atrasos que esta sofreu por motivos de mau tempo, não houve financiamento suficiente para monitorizar toda a construção (Yates, 2002, p. 25).

Foram realizados também estudos relativamente ao desempenho térmico e acústico das casas em cânhamo e das casas convencionais. Em termos térmicos, foi efetuado um controlo durante 4 meses de forma a verificar a temperatura mantida dentro das casas. Em relação ao comportamento acústico foram realizados testes na sala de estar, cozinha e quartos. Foram concretizados também outros estudos no que diz respeito à resistência mecânica e à permeabilidade do betão de cânhamo.

Os testes à permeabilidade consistiram em determinar a penetração da água em paredes construídas a partir de cânhamo e cal hidráulica. Foram realizadas 4 amostras de 20 cm de espessura e foram colocadas em moldes para formar um muro de ensaio. De seguida, foram deixadas durante alguns meses e foi aplicado um revestimento de cal, deixando secar. As amostras foram depois colocadas em posição sobre o equipamento de pulverização de água para testar a resistência do material à penetração de água, a partir de vento impulsivo e chuva simulada (Yates, 2002, p. 28).

### V.3.1 Método de construção das casas em cânhamo

#### *Fundações*

As fundações das casas em cânhamo foram feitas com betão de cânhamo e tijolo face à vista (Suffolk Housing Society, s.a, p. 2).



Figura V. 1 – Colocação de tijolos e betão de cânhamo em camadas (Suffolk Housing Society, s.a)



Figura V. 2 – Colocação de tijolo para finalizar as fundações (Suffolk Housing Society, s.a)

### *Montagem da estrutura*

A estrutura de madeira foi montada no local da construção, colocada sobre os tijolos da fundação com ajuda de um guindaste (Yates, 2002, p. 9). Depois da estrutura erguida foram colocadas as treliças do telhado (Suffolk Housing Society, s.a, p. 5).



Figura V. 3 – Fabricação da estrutura de madeira (Suffolk Housing Society, s.a)



Figura V. 4 – Montagem da estrutura de madeira (Suffolk Housing Society, s.a)



Figura V. 5 – Colocação das treliças do telhado  
(Suffolk Housing Society, s.a)

### *Construção das paredes*

Após a estrutura montada as paredes foram enchidas com betão de cânhamo. A mistura dos materiais para originar o betão de cânhamo foi feita no local da construção. Os materiais utilizados foram o cerne lenhoso do interior da planta do cânhamo, cal hidráulica e água (Suffolk Housing Society, s.a, p. 6). O uso da cal forneceu também uma proteção à estrutura de madeira no que diz respeito à resistência à degradação desta (Yates, 2003, p.35).



Figura V. 6 – Colocação das cofragens para a construção da parede  
(Suffolk Housing Society, s.a)



Figura V. 7 – Mistura do cânhamo com cal para obtenção do betão de cânhamo  
(Suffolk Housing Society, s.a)

Com a montagem das paredes realizada, foram colocadas as cofragens para que fosse possível encher com betão de cânhamo. O processo de enchimento

foi realizado tanto com a mão como com a ajuda de ferramentas próprias para o efeito (Suffolk Housing Society, s.a, p. 7).



Figura V. 8 – Enchimento das cofragens com betão de cânhamo (Suffolk Housing Society, s.a)



Figura V. 9 – Processo de compactação do betão de cânhamo (Suffolk Housing Society, s.a)

Finalizado o enchimento, foram retiradas as cofragens e as paredes ficaram com o aspeto que demonstra a figura V.9. As paredes foram construídas em camadas (Suffolk Housing Society, s.a, p. 7).



Figura V. 10 – Primeira camada de betão de cânhamo (Suffolk Housing Society, s.a)



Figura V. 11 – Produto final após a remoção das cofragens (Suffolk Housing Society, s.a)

## *Pisos*

Os pisos foram construídos com betão de cânhamo sendo revestidos com uma camada de tijoleira, tendo sido colados com cal hidráulica e areia, tornando assim um pavimento respirável (Suffolk Housing Society, s.a, p. 8).



Figura V. 12 – Colocação da tijoleira sobre o betão de cânhamo e areia  
(Suffolk Housing Society, s.a)

O betão de cânhamo foi colocado também entre as vigotas de madeira de forma a melhorar o desempenho acústico (Suffolk Housing Society, s.a, p. 8).



Figura V. 13 – Montagem da estrutura para posterior enchimento das vigotas  
(Suffolk Housing Society, s.a)

Em Dezembro de 2001, a construção finalizou e duas casas foram habitadas, uma casa em cânhamo e outra convencional. As outras duas permaneceram vazias durante 4 meses de forma a controlar o seu desempenho através da monitorização das mesmas. Foram estudados os desempenhos quanto ao comportamento térmico e acústico, humidade e consumo de energia. Todos

estes estudos foram realizados e analisados pela BRE (Suffolk Housing Society – Homes from hemp, s.a, p. 9).

## **V.4 Resultados obtidos**

### **V.4.1 Estrutura e durabilidade**

Quanto à estrutura e durabilidade, as casas em cânhamo apresentaram boa resistência, não se verificando afetação da estrutura. Segundo os estudos realizados pela BRE, o betão de cânhamo consegue suportar quaisquer condições climáticas mais intensas desde que externamente a parede seja revestida com cal e areia. Os testes de resistência de esmagamento realizados à parede de cânhamo permitiu concluir que as cargas verticais são suportadas pela estrutura de madeira. Quanto aos testes de resistência realizados ao pavimento concluiu-se que é mais rígido devido ao elevado teor de areia e ao revestimento deste com 30 mm de cal hidráulica. Seis meses após a finalização das construções, foram realizadas inspeções às casas em cânhamo e foi possível verificar que as mesmas continham algumas fissuras perto de uma janela, provavelmente, devido aos assentamentos e secagem das paredes, no entanto é de fácil resolução (Yates, 2002, p. 42). Em geral, foi concluído que a qualidade estrutural e a durabilidade das casas em cânhamo foram pelo menos iguais às de construção tradicional.

### **V.4.2 Desempenho mecânico**

A BRE realizou testes de resistência à compressão a blocos de betão de cânhamo. Estes foram produzidos em laboratório, não tendo sido uma amostra retirada na construção das casas (Yates, 2002, p. 26). Os resultados apresentaram valores de 0,458 MPa para as paredes e de 0,836 MPa para os pavimentos, tendo sido considerados satisfatórios, pois trata-se de um betão leve não estrutural, em que não é essencial uma elevada resistência à compressão. Neste teste as paredes sofreram uma deformação mais rápida do que o pavimento devido a este último conter na sua constituição um revestimento de areia o que lhe forneceu maior rigidez. É de salientar que o desconhecimento da orientação das fibras de cânhamo não facilitou o tipo de

testes, vertical ou horizontal, assumindo-se assim o resultado obtido como o valor real da resistência destes (Yates, 2002, p. 27).

#### V.4.3 Permeabilidade

Após a simulação da ação de uma pluviosidade de 210 ml/hr sobre uma secção de parede de 20cm de espessura verificou-se que após 24 horas, apenas tinha absorvido 2 a 4 cm, e passadas 96 horas apenas se registou 5 a 7 cm de absorção (Yates, 2002, p. 29). Estes resultados indicam que as paredes de cânhamo oferecem proteção completa contra a penetração de água (Suffolk Housing Society – Homes from hemp, s.a, p. 10).

#### V.4.4 Resíduos

O relatório de monitorização em relação aos resíduos gerados na construção das casas indica que o material escavado para as casas em cânhamo foi consideravelmente menor (cerca de 50%) do que o das casas tradicionais. Os resíduos das casas em cânhamo foram principalmente embalagens, e sobras de madeira resultantes da carpintaria efetuada para estrutura. Quanto às casas convencionais, os resíduos provenientes destes foram embalagens, retalhos de tijolos e de blocos de betão (Suffolk Housing Society – Homes from hemp, s.a, p. 11).

Em termos de quantidades de resíduos gerados, até ao ponto em que o estudo foi realizado, as casas de cânhamo geraram 22,1 m<sup>3</sup> de resíduos e as casas tradicionais 31, 8 m<sup>3</sup> (Yates, 2002, p. 26).

Assim, no que diz respeito à quantidade de geração de resíduos nos dois tipos de construção parece não existir grande diferença apesar que os resíduos gerados são de natureza diferentes o que torna os impactos ambientais também diferentes (Suffolk Housing Society – Homes from hemp, s.a, p.11).

#### V.4.5 Desempenho acústico

Os testes referentes ao comportamento acústico foram realizados antes das casas serem ocupadas. Em comparação entre as paredes de cânhamo e as

paredes das casas convencionais foi registado uma redução de 6 dB nas casas em cânhamo (Eires, 2008, p. 46).

O requisito é que o índice de isolamento sonoro entre compartimentos de um fogo (DnT, w) não deve ser inferior a 53 dB, tendo sido para casas em cânhamo o valor de 57,5 dB e para as casas convencionais de 63,5 dB (Yates, 2002, p. 32). Na tabela seguinte estão apresentados os resultados dos testes acústicos, as casas 1 e 2 correspondem às casas convencionais e as 3 e 4 às casas em cânhamo.

Quadro V. 1 - Resultados dos testes acústicos às casas (Adaptado de Yates, 2002, p. 32)

Local emissor	Local recetor	DnT, W (dB)
Construção convencional		
Sala de estar – casa 1	Cozinha – casa 2	63
Quarto – casa 2	Quarto – casa 1	64
Construção em cânhamo		
Sala de estar – casa 3	Cozinha – casa 4	58
Quarto – casa 4	Quarto – casa 3	57

Apesar das casas em cânhamo não terem um desempenho acústico tão favorável como as casas convencionais, as de cânhamo cumprem os requisitos (Suffolk Housing Society – Homes from hemp, s.a, p. 10).

#### V.4.6 Desempenho térmico

O estudo de monitorização em relação ao desempenho térmico nas casas, tanto nas de cânhamo como nas convencionais, durante um período de 4 meses, de Dezembro a Abril, verificaram que a temperatura mantida nas casas de cânhamo era de mais um ou dois graus acima em comparação com as casas de tijolo convencionais (Yates, 2002, p. 32).

Foram realizados estudos termográficos a uma das casas em cânhamo e a uma das casas de construção convencional que permitiu conhecer o fluxo térmico das casas. O estudo consistiu em capturar imagens por infravermelho da frente e das traseiras das casas de forma a detetar a localização de qualquer perda de calor através das paredes e das janelas (Yates, 2003, p. 5).

Estes testes foram realizados durante o inverno que é quando poderá existir uma grande diferença de temperatura entre o ar interior e o exterior. Os levantamentos termográficos foram feitos à noite, entre as 20:30 e as 10:30, e os moradores foram solicitados para ligar os aquecimentos a 20°C a partir das 5 horas para permitir aquecer durante 3 horas antes de se iniciar as medições (Yates, 2003, p. 7).



Figura V. 14 – Vista frontal da habitação convencional (Yates, 2003, p. 12)



Figura V. 15 – Vista frontal da habitação em cânhamo (Yates, 2003, p. 14)

Os resultados obtidos indicaram que houve uma quantidade considerável de perda de calor através das paredes externas e janelas da casa convencional em comparação com o que ocorre na casa construída em cânhamo.

Isto pode ser observado pelas imagens termográficas obtidas do exterior das casas em que se verifica que as paredes externas das casas convencionais estão a uma temperatura mais elevada, a cerca de 4°C a 6°C, que as paredes externas das casas em cânhamo pelo que se pode concluir que nas casas convencionais existiu maior perda de calor (Yates, 2003, p. 9).



Figura V. 16 – Imagem termográfica da construção convencional (Yates, 2003, p. 12)



Figura V. 17 – Imagem termográfica da construção em cânhamo (Yates, 2003, p. 14)

Chegando à conclusão que as paredes externas construídas em betão de cânhamo são capazes de reter mais calor do que as casas convencionais (Yates, 2003, p. 10). Isto deve-se também à sua inércia térmica, que lhe confere funções de regulador climático, podendo absorver o calor durante os períodos mais quentes e liberta-lo gradualmente para o interior nos períodos mais frios (Rhydwen, s.a, p. 4). A perda de calor significativa das casas de construção convencional tem um maior gasto energético para manter o seu interior a uma temperatura adequada (Yates, 2003, p. 10).

#### V.4.7 Resistência ao fogo

Testes realizados ao betão de cânhamo afirmaram que este é resistente ao fogo, tendo sido verificado que não houve degradação do material até 4 horas de exposição a temperaturas superiores a 1800 °C (Yates, 2002, p. 42).

#### V.4.8 Custos de construção

O preço da proposta para a construção de cada casa em cânhamo foi aproximadamente 64.000€ em relação a 40.000 € para cada casa construída tradicionalmente. Porém, este poderá não ser o valor real da construção pois o empreiteiro que realizou este orçamento não tinha experiência na construção de casas em cânhamo pelo que não sustinha qualquer base de apoio.

Após o término da obra, conclui-se que o número de horas de trabalho para a construção das casas em cânhamo foi cerca de 60% maior comparando com a construção das casas convencionais no entanto, os custos totais aumentaram apenas 10% devido à poupança realizada na utilização de materiais de construção de baixo custo aplicados na construção em cânhamo. Assim, prevê-se que com a familiaridade dos métodos utilizados na construção em cânhamo, seria possível acelerar o processo de construção e reduzir custos (Busbridge, 2009, p. 33).

No entanto, o tempo de construção da segunda casa em cânhamo foi consideravelmente menor do que para a primeira, isto devido à experiência já adquirida. Estima-se que o custo real da construção em cânhamo era de 613€ por m<sup>2</sup> em comparação com 557€ por m<sup>2</sup> para a construção tradicional, embora

deve-se salientar que estes são valores estimados (Suffolk Housing Society – Homes from Hemp, s.a, p. 11).

### Quadro síntese - Desempenho do cânhamo na construção

Em seguida é apresentado um quadro síntese que representa o desempenho do cânhamo com estudos elaborados durante avaliação prática.

Quadro V. 2 – Desempenho do cânhamo na construção

	Descrição	Resultados/Valores
Desempenho mecânico	- Compressão de blocos de betão de cânhamo em laboratório.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Valores satisfatórios para betão leve não estrutural;                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 0,458 MPa para as paredes;</li> <li>○ 0,836 MPa para os pavimentos.</li> </ul> </li> </ul>
Permeabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 Amostras de secção de parede de 20 cm de espessura;</li> <li>- Pluviosidade de 210 ml/hr;</li> <li>- Durante 96 horas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Oferece proteção de 100% contra a penetração de água;</li> <li>▪ Parede respirável;</li> <li>▪ Menos condensações;</li> <li>▪ Boa qualidade do ar interior.</li> </ul>
Produção de resíduos	- Monitorização da geração de resíduos durante as construções.	▪ Baixa quantidade de resíduos gerados na construção em cânhamo (embalagens e sobras de madeira).
Desempenho acústico	- Controlo acústico na sala de estar, cozinha e quartos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Requisito legal (DNT, <math>w &gt; 53</math> dB);</li> <li>▪ Cumpriu os requisitos (DNT, <math>w = 57,5</math> dB).</li> </ul>
Desempenho térmico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Controlo térmico de duração de 4 meses dos dois tipos de construção;</li> <li>- Conhecer o fluxo térmico das construções.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Temperatura mais equilibrada nas casas em cânhamo;</li> <li>▪ Maior capacidade das paredes de betão de cânhamo reterem calor, boa inércia térmica;</li> <li>▪ Casas em cânhamo com redução de custos energéticos entre 10% a 20%.</li> </ul>
Resistência ao fogo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Até 4 horas de exposição ao fogo;</li> <li>- Temperaturas superiores a 1800 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Resistente ao fogo;</li> <li>▪ Não houve degradação do material.</li> </ul>

## VI. Conclusão

Numa era de procura de respostas para a sustentabilidade do Planeta, entende-se que a indústria da construção é responsável por uma parte considerável da degradação ambiental, quer no que diz respeito aos níveis de emissões de poluentes quer no que se refere ao consumo de recursos naturais. Muitas destas respostas residem na introdução de novas técnicas de construção, passando pela utilização de materiais ecológicos, com menor nível de consumo energético, menor energia incorporada, menor geração de resíduos, melhor desempenho acústico e outras propriedades que permitam pelo menos igualar os materiais tradicionais mas de forma sustentável.

Assim, a utilização do cânhamo na construção poderá ser uma via alternativa aos materiais usados tradicionalmente, sendo mostrado no quadro seguinte as principais vantagens e desvantagens da utilização do cânhamo na construção.

Quadro VI. 1 – As principais vantagens e desvantagens do cânhamo na construção

Material	Vantagens	Desvantagens
Cânhamo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matéria-prima renovável;</li> <li>▪ Elevadas propriedades térmicas;</li> <li>▪ Boa inércia térmica;</li> <li>▪ Baixas emissões de CO<sub>2</sub>;</li> <li>▪ Baixa energia incorporada;</li> <li>▪ Boa sinergia com outros materiais naturais;</li> <li>▪ Reciclável/reutilizável.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adquirir a matéria-prima (importação);</li> <li>▪ Necessidade de mão-de-obra especializada;</li> <li>▪ Necessidade de uma temperatura superior a 5°C, não sendo conveniente construir no Inverno;</li> <li>▪ Resistências mecânicas baixas (Aprox. 0,48 MPa à compressão e 0,836 MPa à Flexão), não é utilizado como elemento estrutural;</li> <li>▪ Tempo de secagem lento devido ao uso de cal;</li> <li>▪ Custo.</li> </ul>

O que lhe permite ser considerado material ecológico e uma alternativa aos materiais convencionais é a sua proveniência de origem natural, o não conter químicos nocivos na sua constituição, a sua alta qualidade de isolamento, os baixos níveis de energia incorporada, assim como o facto de ser considerado material reciclável. Todas estas características permitem ao cânhamo ter-lhe

associadas vantagens de saúde ambiental e humana, principalmente no que está relacionado com o consumo energético e emissões de gases poluentes.

Este material tem vindo a ser cada vez mais utilizado na Europa, multiplicando-se os estudos sobre este, que comprovam a sua viabilidade e utilidade enquanto material de construção. Também em Portugal, outrora, a utilização do cânhamo esteve bem presente, não no setor da construção civil, mas na produção de cordas e velas de embarcações. O cânhamo utilizado era proveniente de cultivos nacionais espalhados por todo país, tendo maior expressividade nas regiões de Vale da Vilarica, Vales do Mondego e Tejo.

Atualmente o cânhamo tem ganho de novo importância no nosso país, onde há poucos anos foi criada a empresa “Cânhamo de Portugal, Lda”, que tinha como principal objetivo implementar de novo a utilização de cânhamo e promover desta vez, também a sua utilização no setor construção. Em Portugal há conhecimento de apenas uma construção realizada com este material, situada na freguesia de Recarei, Concelho de Paredes, Distrito do Porto. A inexistência de material científico a cerca desta construção impossibilitou a realização de um estudo sobre a mesma. Como é possível verificar, esta habitação situa-se no interior do distrito do Porto, afastado do Litoral.

A construção em cânhamo adapta-se em qualquer região do país, uma vez que este material pode ser cultivado em qualquer sítio. No entanto, as regiões desertificadas do interior são naturalmente os melhores locais para se poder aplicar o cultivo de cânhamo bem como a sua utilização como material de construção. Assim, o ideal seria proceder à construção recorrendo à utilização de cânhamo nas zonas rurais, afastado da agitação e poluição das grandes cidades o que permitiria o repovoamento das zonas “esquecidas”. A produção de cânhamo nestas zonas iria promover a exportação deste material, uma vez que há a vantagem de estarem próximas das fronteiras facilitando a conquista do mercado europeu, bem como a economia local.

Um dos grandes problemas das regiões interiores do nosso país passa pela desertificação destas áreas, na procura de melhor condições de vida junto ao litoral, o que resultou no abandono de terrenos outrora utilizados como zonas de cultivo. Este abandono e a falta de manutenção destes originou áreas

suscetíveis à propagação de incêndios. Assim, a reutilização dos campos de cultivo para produção de cânhamo contribuiria para a limpeza e manutenção dos mesmos, reduzindo este risco.

Assim, entende-se que a utilização do cânhamo promove a construção sustentável que assenta em 3 vertentes, sustentabilidade ambiental, sustentabilidade económica e sustentabilidade sócio-cultural. O repovoamento das regiões interiores e o regresso ao cultivo do cânhamo nestas zonas irá promover a vertente socio-cultural que um material ecológico compreende. Devido ao cultivo de cânhamo ser realizado nas zonas interiores, próximo às fronteiras, a exportação deste seria facilitada o que promoveria a sustentabilidade económica. A sustentabilidade ambiental seria também garantida pois a utilização do cânhamo invés da utilização de outros materiais não sustentáveis reduziria/eliminará o consumo de recursos naturais que estão muitas das vezes associados à extração, processamento e transportes destes materiais. Com isto, as gerações futuras e os ecossistemas seriam respeitados garantindo a sustentabilidade que a junção destas três vertentes têm como objetivo. Conclui-se então, que o conceito de edifício sustentável, definido em 1994, no Concelho Internacional da Construção - CIB seria implementado no nosso país caso o cultivo de cânhamo voltasse a ser realizado em Portugal.

A utilização de cânhamo na construção tem encontrado diversas dificuldades que impossibilitam a sua solidificação no mercado dos materiais de construção. Estas dificuldades passam pela atual mentalidade da sociedade em querer realizar um investimento e obter um retorno em curto prazo, optando por materiais não sustentáveis, não tendo em conta todos os outros custos indiretos associados, como os impactos ambientais. Assim, criou-se uma barreira à introdução de novos materiais no mercado, como o cânhamo, que apresenta um tempo de cultivo associado e um retorno a longo prazo facilitando uma ideia de um mau investimento.

No entanto, as preocupações ambientais têm sido cada vez mais consideradas o que forçará numa adaptação desta mentalidade a uma nova realidade. Com isto, a procura de materiais de construção sustentáveis tornar-se-á pertinente e

indispensável para a obtenção do bem-estar do homem e do ambiente, tendo em conta as gerações vindouras.

Assim, o cânhamo é considerado um material de construção com características que o permite ser denominado material ecológico que possivelmente será implementado no mercado da construção. Esta conquista do mercado e a sua implementação bem como de outros materiais ecológicos está dependente da opção da indústria da construção em decidir o que será de maior importância, o lado financeiro ou ambiental. Também a melhoria da eficiência da técnica de construção com cânhamo será um ponto crucial à sua implementação permitindo que este se torne mais viável.

## Bibliografia

### A

Álvares, M. (2009). *A Agenda 21 Local Nos Municípios Portugueses*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho

American Lime Technology (2012). What is hempcrete. [Em linha] Disponível em <http://www.americanlimetechnology.com/what-is-hempcrete/>. [Consultado em 24/06/2013].

Amziane, S. e Arnaud, L. (2013). *Bio-aggregate-based Building Materials: Applications to Hemp Concretes*.

Ângulo, S. et al. (2001). *Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil*. [Em linha]. Disponível em [http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/artigo%20iv\\_ct206\\_2001.pdf](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/artigo%20iv_ct206_2001.pdf). [Consultado em 03/06/2013].

### B

Bragança, L. e Mateus, R. (2004). *Avaliação da sustentabilidade da construção: desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação a sustentabilidade de soluções construtivas*. [Em linha]. Disponível em <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/7333>. [Consultado em 06/05/2013].

Bragança, L. et al. (2012). *Utilização do Método LCA no Projeto de Edifícios Sustentáveis*. Coimbra, 4º congresso Nacional da Construção.

Baptista, V. (2010). *A Relação entre o Consumo e a Escassez dos Recursos Naturais: Uma Abordagem Histórica*. [Em linha]. Disponível em [http://www.academia.edu/1261008/A\\_RELACAO\\_ENTRE\\_O\\_CONSUMO\\_EA\\_ESCASSEZ\\_DOS\\_RECURSOS\\_NATURAIS\\_UMA\\_ABORDAGEM\\_HISTORICA](http://www.academia.edu/1261008/A_RELACAO_ENTRE_O_CONSUMO_EA_ESCASSEZ_DOS_RECURSOS_NATURAIS_UMA_ABORDAGEM_HISTORICA). [Consultado em 09/07/2013].

Barroso, L. (2010). *Construção Sustentável – Soluções Comparativas para o Uso Eficiente da Água nos Edifícios de Habitação*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Berge, B. (2009). *The Ecology of Building Materials*, Second edition. [Em linha]. Disponível em [http://ecobooks.greenharmonyhome.com/wp-content/uploads/ecobooks/Ecology\\_of\\_Building\\_Materials\\_Second\\_Edition.pdf](http://ecobooks.greenharmonyhome.com/wp-content/uploads/ecobooks/Ecology_of_Building_Materials_Second_Edition.pdf). [Consultado em 03/06/2013].

Bica, S. et al. (2009). *What Characteristics Define Ecological Building Materials*. [Em linha]. Disponível em <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2009/moscow/HTE/HTE24.pdf>. [Consultado em 07/07/2013].

Bioplastic magazine (2010). *Hemp – A Sustainable Raw Material for Bio-based Composites*. [Em linha]. Disponível em <http://www.bioplasticsmagazine.com>

/bioplasticsmagazine-wAssets/docs/complete\_issues/bioplastics1003.pdf.  
[Consultado em 15/06/2013].

Bruijn, P. (2008). Hemp Concretes. [Em linha]. Disponível em [http://pub.epsilon.slu.se/1913/1/Lic\\_kappan\\_PdB.pdf](http://pub.epsilon.slu.se/1913/1/Lic_kappan_PdB.pdf). [Consultado em 26/06/2013].

Busbridge, R. (2009). Hemp-Clay: an initial investigation into the thermal, structural and environmental credentials of monolithic clay and hemp walls. [Em linha]. Disponível em [http://issuu.com/ruthbusbridge/docs/ruth\\_busbridge\\_msc\\_aees\\_thesis](http://issuu.com/ruthbusbridge/docs/ruth_busbridge_msc_aees_thesis). [Consultado em 15/08/2013].

## C

Carmody, J. e Trusty, W. (2005). *Implications (vol.05 Issue 03) – Life Cycle Assessment Tools*. [Em linha]. Disponível em [http://www.informedesign.org/\\_news/mar\\_v05r-p.pdf](http://www.informedesign.org/_news/mar_v05r-p.pdf). [Consultado em 30/05/2013].

Carus, M. et al. (2013). *The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs and seeds*. [Em linha]. Disponível em <http://www.eiha.org/attach/8/13-03%20European%20Hemp%20Industry.pdf>. [Consultado em 20/06/2013].

Colaço, L. (2008). *A Evolução da Sustentabilidade no Ambiente Construído – Projeto e Materiais dos Edifícios*. Tese de Doutoramento, Universidade Portucalense Infante D. Henrique.

Costa, M. (2010). *Novos Produtos para a Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

## D

Ding, G. (2008). Sustainable construction – The role of environmental assessment tool. [Em linha]. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479706004270>. [Consultado em 08/05/2013].

Drzal, T. et al. (2004). *Biobased Structural Composite Materials for Housing and Infrastructure Applications: Opportunities and Challenges*. [Em linha]. Disponível em <http://www.pathnet.org/si.asp?id=1076%E2%80%8E>. [Consultado em 03/06/2013].

## E

Eires, R. (2006). *Materiais não convencionais para uma construção sustentável utilizando cânhamo industrial, pasta de papel e cortiça*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.

Eires, R. et al. (2010). *Novos Compósitos Eco-eficientes para Aplicações não Estruturais na Construção*.

## F

Faria, L. (2006). *Arquitetura e Cidade – O Paradigma Ecológico no Contexto Urbano do Século XXI*. Tese de Doutoramento, Universidade Lusíada de Lisboa.

Fernandes, F. (2010). *Especificações para a Reabilitação Sustentável de Edifícios*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.

Fernandes, T. (2008). *Preparação e caracterização de novos materiais compósitos baseados em fibras de celulose*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.

Fold (2013). Cânhamo. [Em linha]. Disponível em <http://www.fold.pt/shop/canhamo/>. [Consultado em 20/06/2013].

Fowler, P. et al. (2006). Biocomposites: technology, environmental - credentials and market forces. [Em linha]. Disponível em [http://bic-innovation.com/static/bic/knowledge\\_base/documents/T145013.pdf](http://bic-innovation.com/static/bic/knowledge_base/documents/T145013.pdf). [Consultado em 09/07/2013].

Fontoura, A. et al. (2004). *Emoção, Contrato Natural e Ecodesenvolvimento: Parâmetros do Paradigma Emergente*. [Em linha]. Disponível em <http://www.seer.furg.br/remea/article/download/2726/1565>. [Consultado em 10/06/2013].

## G

Geiger, O. (2013). Thermo Hemp Insulation. [Em linha]. Disponível em <http://www.naturalbuildingblog.com/thermo-hemp-insulation/>. [Consultado em 04/07/2013].

Graça, C. (1945). *A Cultura do Cânhamo*. Lisboa, Livraria Sá da Costa.

## H

Harbay (2005). Hemp Houses. [Em linha]. Disponível em <http://www.harbay.net/fibre/hemphouses.html>. [Consultado em 06/08/2013].

Hemp network (s.a). Hemp for Building Materials. [Em linha]. Disponível em <http://www.hempnetworkamerica.com/hemp-for-building-materials>. [Consultado em 04/07/2013].

Hemp architecture (s.a). Hemp Lime. [Em linha]. Disponível em <http://www.hemparchitecture.com/hemp-lime/>. [Consultado em 26/06/2013].

## **K**

Kentucky of Agriculture Department (2013). Industrial Hemp. [Em linha]. Disponível em <http://www.kyagr.com/marketing/industrial-hemp.html>. [Consultado em 16/06/2013].

Kibert, C. (2012). *Sustainable Construction – Green Building Design and Delivery*. Third edition. Canada, John Wiley & Sons, Inc.

Kim, J. e Rigdon, B. (1998). *Qualities, Use and Examples of Sustainable Building Materials*. Michigan, The University of Michigan.

Kymalainen, H. e Sjoberg, A. (2008). *Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations*. [Em linha]. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132307001102>. [Consultado em 03/07/2013].

## **L**

Lucas, S. (2008). *Critérios Ambientais na Utilização de Materiais de Construção*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.

## **M**

Mália, M. (2010). *Indicadores de Resíduos de Construção e Demolição*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa.

Mateus, R. (2004). *Novas Tecnologias Construtivas com vista à Sustentabilidade da Construção, Parte I*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.

Mateus, R. (2009). *Avaliação da sustentabilidade na construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho.

Mateus, S. (2012). *Construção Sustentável – Materiais eco-eficientes para a melhoria do desempenho de edifícios*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Miranda, M. (2012). Sistemas de certificação na eficiência hídrica. [Em linha]. Disponível em [http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier\\_art](http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_art)

igo/19102012\_marcomiranda\_350320592509a34543eccd.pdf. [Consultado em 07/08/2013].

Mclaren, W. (2006). HempFlax Insulation. [Em linha]. Disponível em <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/hempflax-insulation.html>. [Consultado 04/07/2013].

Mukherjee, A. (2012). Structural Benefits of hempcrete infill in timber stud walls. [Em linha] Disponível em [http://qspace.library.queensu.ca/bitstream/1974/6986/1/Mukherjee\\_Agnita\\_201201\\_MASC.pdf](http://qspace.library.queensu.ca/bitstream/1974/6986/1/Mukherjee_Agnita_201201_MASC.pdf). [Consultado em 28/06/2013].

## **N**

Natural insulations (2010). Hemp Insulation – warmer, safer, smarter. [Em linha]. Disponível em [http://www.naturalinsulations.co.uk/hemp\\_insulation\\_brochure.pdf](http://www.naturalinsulations.co.uk/hemp_insulation_brochure.pdf). [Consultado em 02/07/2013].

nPlantas (2013). Cânhamo, história. [Em linha]. Disponível em <http://nplantas.com/canhamo-historia/>. [Consultado em 21/06/2013].

## **P**

Parâmetros Curriculares Nacionais. (s.a). Meio ambiente. [Em linha]. Disponível em [ftp://ftp.fnnde.gov.br/web/pcn/05\\_08\\_meio\\_ambiente.pdf](ftp://ftp.fnnde.gov.br/web/pcn/05_08_meio_ambiente.pdf). [Consultado em 08/06/2013].

Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 (2010). *Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação)*. Estrasburgo, Jornal Oficial da União Europeia.

Peev, P. (2012). Is industrial hemp a sustainable construction material. [Em linha]. Disponível em [https://www.ucviden.dk/student-portal/files/11211172/Report\\_on\\_Hemp.pdf](https://www.ucviden.dk/student-portal/files/11211172/Report_on_Hemp.pdf). [Consultado em 02/07/2013].

Pelajo, M. (2012). *Cannabis Anonymous*. [Em linha]. Disponível em <http://issuu.com/mmpelajo/docs/cannabisanonymous>. [Consultado em 20/06/2013].

Pereira, P. (2009). *Construção Sustentável: o desafio*. Tese de Mestrado, Universidade Fernando Pessoa.

Pinheiro, M. (2006). *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora, Instituto do Ambiente.

Pinheiro, M. (2009). *Liderar pelo ambiente na procura da sustentabilidade*. [Em linha]. Disponível em [http://www.lidera.info/resources/LiderA\\_V2\\_00b.pdf](http://www.lidera.info/resources/LiderA_V2_00b.pdf). [Consultado em 09/05/2013].

Phillips, T. (2010). Hemp House: Eco-Design Reaches a New High. [Em linha]. Disponível em <http://ecolutionist.com/hemp-house-eco-design-reaches-a-new-high/>. [Consultado em 26/06/2013].

## **R**

Rhydwen, R. (s.a). Building with Hemp and Lime. [Em linha]. Disponível em [http://gse.cat.org.uk/public\\_downloads/research/hemp/building\\_with\\_hemp\\_and\\_lime.pdf](http://gse.cat.org.uk/public_downloads/research/hemp/building_with_hemp_and_lime.pdf). [Consultado em 08/08/2013].\_and

Robinson, R. (1999). *O Grande Livro da Cannabis*. Rio de Janeiro, Jorge Zahar.

Romão, C. (2003). *Estudo do Comportamento Mecânico de Materiais Compósitos de Matriz Polimérica Reforçados com Fibras Naturais*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

## **S**

Sousa, F. (2010). *Otimização de métodos de escolha de materiais com base no desempenho sustentável*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Sousa, G. et al. (s.a). *Seleção de Materiais, Componentes e Sistemas*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia e Construção Civil.

Suffolk Housing Society. (s.a). Homes from Hemp. [Em linha]. Disponível em [http://www.suffolkhousing.org/documents/developments/hemp\\_homes\\_summary.pdf](http://www.suffolkhousing.org/documents/developments/hemp_homes_summary.pdf). [Consultado em 06/08/2013].

Suffolk Housing Society. (s.a). The construction of the hemp homes. [Em linha]. Disponível em [http://www.suffolkhousing.org/documents/developments/the\\_construction\\_of\\_hemp\\_homes.pdf](http://www.suffolkhousing.org/documents/developments/the_construction_of_hemp_homes.pdf). [Consultado em 08/08/2013].

## **T**

Tian-yan, W. e Min, C. (2012). *Research on Low-carbon Building Development Based on Whole Life Cycle Analysis*. [Em linha]. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029612002836>. [Consultado em 09/07/2013].

Torgal, F. e Jalali, S. (2008). *Tendências para a Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. [Em linha]. Disponível em [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/8830/1/Torgal\\_RN\\_1\\_2008.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/8830/1/Torgal_RN_1_2008.pdf). [Consultado em 03/06/2013].

Torgal, F. e Jalali, S. (2010). *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. TecMinho, Edição de Autor.

The ultimate cannabis. Botanical basics. (s.a). [Em linha]. Disponível em [http://issuu.com/freethinker247/docs/the\\_ultimate\\_cannabis\\_indoor\\_cultiv](http://issuu.com/freethinker247/docs/the_ultimate_cannabis_indoor_cultiv). [Consultado em 15/07/2013].

## V

Victoria University of Wellington (2007). Embodied Energy Coefficients – Alphabetical. [Em linha]. Disponível em <http://www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-coefficients.pdf>. [Consultado em 10/07/2013].

## Y

Yates, T. (2003). Thermographic Inspection of the Masonry and Hemp Houses – Haverhill, Suffolk. Building Research Establishment, report 212020.

Yates, T. (2002). Final Report on the Construction of the Hemp Houses at Haverhill, Suffolk. Building Research Establishment, Watford, report 209-717 Rev1.