

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Vítor Fernandes de Alencastro e Silva**

**CARACTERIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO EM CORDWOOD E  
EXPERIÊNCIAS COM A TÉCNICA**

Porto Alegre  
Maio, 2019

**VÍTOR FERNANDES DE ALENCASTRO E SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO EM CORDWOOD E  
EXPERIÊNCIAS COM A TÉCNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Prof. Miguel Aloysio Sattler**

Porto Alegre  
Maio, 2019

“Não somos os inteligentes, somos parte de um sistema inteligente”  
Ernst Götsch

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que me apoiaram e tiveram paciência neste momento tão delicado de minha formação. Agradeço especialmente ao professor Aloysio Sattler pela orientação e por me colocar em contato com conceitos e conhecimentos que mostram como a presença do ser humano pode ter um saldo positivo no planeta.

## RESUMO

Neste trabalho buscou-se caracterizar e contextualizar a construção em *cordwood*, que constitui-se, basicamente, no assentamento de tocos de madeira seca, dentro de uma realidade que urge por construções mais sustentáveis. Primeiramente descreveu-se o cordwood segundo a literatura, as possibilidades de aplicação, os materiais e métodos construtivos recomendados pela bibliografia. Em um segundo momento, contextualizando a técnica à realidade brasileira, foram apresentados dois casos em que a técnica foi aplicada. Foram apresentados os materiais, os procedimentos, as dificuldades e as patologias encontradas, fazendo um paralelo com os procedimentos recomendados pela literatura consultada. Ao final, foi feita uma comparação dos procedimentos e materiais utilizados nos casos estudados com atuais pressupostos de sustentabilidade. Concluiu-se que a alvenaria em cordwood é uma técnica construtiva viável e com potencial para ser utilizada na busca de construções mais sustentáveis, tanto por sua baixa energia embutida e desempenho térmico, quanto pela facilidade de execução. A madeira de *Pinus Elliotti*, abundante no sul do Brasil, mostrou-se adequada para a alvenaria em cordwood. Estudos e aplicações de argamassas em terra crua podem diminuir ainda mais o impacto ao meio ambiente associado à técnica.

**Palavras-chave:** Cordwood. Sustentabilidade. Edificação sustentável.

## ABSTRACT

This work characterizes and contextualizes the construction in cordwood, which is basically the laying up of dry wood, within a reality that urges for more sustainable constructions. Firstly, the cordwood was characterized: the possibilities of application, the materials and construction methods described and recommended by the bibliography. In a second moment, contextualizing the technique to the Brazilian reality, two case studies were presented in which the technique was applied. The materials, the procedures, the difficulties and the pathologies were presented, paralleled with the procedures recommended by the consulted literature. At the end, a comparison was made of the procedures and materials used in the cases studied with current sustainability assumptions. It is concluded that cordwood masonry is a viable constructive technique with potential to be used in the search for more sustainable constructions, due to its low embedded energy and high thermal performance, as well as its easy execution. *Pinus Elliotti* wood, abundant in southern Brazil, proved adequate for cordwood masonry. Studies and applications of raw earth based mortars may further reduce the impact on the environment associated with the technique.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Forte Raddush, na Alemanha. As toras foram assentadas com terra, areia e argila (ROY, 2018, p.1) .....	20
Figura 2: Uma antiga casa em Botkyra, Suécia, datada de 1860 (ROY, 2016, p.20). Se observa a construção em prateleiras. A argamassa é uma mistura de argila com 40% de serragem. ....	21
Figura 3: Uma casa construída na década de 1930 em Bialystok, Polônia (SZEWCZYK, 2007, p.6). A argamassa é à base de cal. ....	21
Figura 4: Isolamento térmico (serragem no caso) entre as linhas de argamassa (ROY, 2016, p. 40) .....	24
Figura 5: Estes pilares estão ancorados por chumbadores na laje de concreto (FLATAU, 2017, p.49) .....	25
Figura 6: Esquema mostrando duas linhas de assentamento subsequentes de uma parede com tocos de 16 polegadas de comprimento e pilares de 8 polegadas de largura (ROY, 2018, p.39). ....	25
Figura 7: É importante que as linhas de argamassa envolvam cada uma das guias (FLATAU, 2017) .....	26
Figura 8: Roy (2018, p.42) sugere a utilização de madeiras de diferentes comprimentos para evitar rachaduras por cisalhamento vertical na argamassa (ROY, 2018, p.42) ....	26
Figura 9: Esquina feita em fila dupla. Os frisos e as peças de amarração aumentam a fricção com a argamassa, não mostrada aqui. A cavidade interna é preenchida com material isolante térmico (ROY, 2016, p.14). ....	27
Figura 10: O mesmo esquema apresentado na figura 9. (ROY, 2016, p.15) .....	27
Figura 11: Os tocos em fila dupla e espaçados deixam espaço para o material isolante térmico (ROY, 2018, p.41). ....	28
Figura 12: Tocos em fila única. Diferentes comprimentos dos tocos ajudam a evitar rachaduras por cisalhamento vertical na argamassa (ROY, 2018, p.43) .....	28
Figura 13: Amarração no topo da quina (ROY, 2018) .....	29
Figura 14: Pode-se observar a parede coberta com lona ao fundo. ....	29
Figura 15: Um toco que apresenta rachaduras radiais (ROY, 2018, p.16) .....	30
Figura 16: Um toco que apresenta rachaduras radiais e tangenciais com conseqüente afastamento da argamassa (ROY, 2018, p.18) .....	31
Figura 17: Tocos cortados secando protegidos da chuva. Estão separados por diâmetro (ROY, 2016, p.155) .....	31

Figura 18: Tocos inteiros, divididos e uma mistura dos dois (ROY, 2016, p.29) .....	32
Figura 19: Tocos são levados à obra com equilíbrio na quantidade de cada diâmetro (ROY, 2016, p.155) .....	32
Figura 20: O equilíbrio se reflete na parede. Observa-se constância nas distâncias mínimas entre os tocos. (ROY, 2016, p. 161) .....	33
Figura 21: Palha sendo usada entre as linhas de cob fornece isolamento térmico e economizando trabalho (ROY, 2016, p.122). .....	34
Figura 22: Uma típica casa de solo coreana. Não há camada de isolamento térmico (ROY, 2016, p.121) .....	35
Figura 23: A bola de argamassa não se fragmenta quando arremessada ao ar (ROY, 2018, p.57). .....	36
Figura 24: A argamassa apresenta uma consistência firme (FLATAU, 2017, p. 88). .....	37
Figura 25: Tocos de Pinus assentados com argamassa de resíduo de papel e cimento (ROY, 2016, p.126 ) .....	38
Figura 26: Em paredes com menos de 40cm de espessura, as garrafas são cortadas (ROY, 2016, p.77) .....	39
Figura 27: Após serem lavadas e secas ao Sol, as garrafas são coladas com fita (ROY, 2016, p.78) .....	39
Figura 28: Paredes mais espessas permitem usar garrafas sem cortá-las (ROY, 2016, p87) .	40
Figura 29: fundos de garrafas envoltas em papel alumínio assentados na parede (FLATAU, 2017, p.101) .....	40
Figura 30: Com cada mão desenvolvendo uma linha se acelera o processo (ROY, 2018, p.60). .....	41
Figura 31: Para mãos menores ou argamassas mais espessas este método pode ser mais adequado. Note o balde de argamassa à mão (ROY, 2018, p.60). .....	42
Figura 32: O tocos, ao serem posicionados, empurraram o isolamento contra as camadas de argamassa (ROY, 2018, p.61). .....	42
Figura 33: Tocos de diferentes diâmetros são posicionados sobre as linhas de argamassa e serragem (ROY, 2018, p.62) .....	43
Figura 34: A argamassa e o isolamento acompanhando os tocos (ROY, 2018, p.62) .....	44
Figura 35: Os espaços então são preenchidos por tocos de tamanho adequado (ROY, 2018, p.63) .....	44
Figura 36: Ao raspar a argamassa com uma mão se recolhe com a outra e o excesso pode ser imediatamente reutilizado (ROY, 2018, p.67) .....	45



Figura 37: Uma faca com a ponta dobrada esta sendo usada para apontar a argamassa (ROY, 2018, p.68) .....	46
Figura 38: Uma escova de aço ou uma furadeira adaptada podem realizar o acabamento (FLATAU, 2017, p.95) .....	46
Figura 39: Interior e fachadas norte e sudoeste (Foto de arquivo pessoal) .....	50
Figura 40: As cavas sendo preenchidas e a fundação já cumprindo sua função (Foto de arquivo pessoal) .....	51
Figura 41: Fachada sul da edificação. Pode-se observar o andaime de taquara, usado apenas para apoiar materiais. (Foto de arquivo pessoal) .....	52
Figura 42: Fachada oeste. Observa-se o canto com tocos intertravados e a porção curva. (Foto de arquivo pessoal) .....	52
Figura 43: As paredes foram construídas quase integralmente com tocos rachados (Foto de arquivo pessoal) .....	53
Figura 44: A betoneira utilizada e, à direita, um voluntário apontando a argamassa exterior (Foto de arquivo pessoal) .....	54
Figura 45: Garrafas em pé à esquerda e deitadas à direita (foto de arquivo pessoal) .....	55
Figura 46: Dormentes serrados servem como verga para os nichos. No canto inferior esquerdo se observa o fundo sendo preenchido com garrafas e a mesma argamassa das paredes. (foto de arquivo pessoal) .....	55
Figura 47: Rubin executando o canto, a alvenaria sendo erguida à medida que o canto subia e um voluntário apontando a argamassa no exterior. (Foto de arquivo pessoal) ....	56
Figura 48: Observam-se as frestas deixadas pela madeira que retraiu (Foto de arquivo pessoal) .....	57
Figura 49: Uma seção que apresenta tocos rachados. As rachaduras não necessariamente são contínuas, até o outro lado da parede. (Foto de arquivo pessoal) .....	58
Figura 50: Exterior e interior do quarto. (Foto de arquivo pessoal) .....	59
Figura 51: Interior da cozinha. (Foto de arquivo pessoal) .....	60
Figura 52: Execução do alicerce e do contrapiso. À esquerda, na foto da direita, pode-se observar o banheiro preexistente. (Foto de arquivo pessoal) .....	61
Figura 53: O canto foi executado com peças de 40 cm e 50 cm. (Foto de arquivo pessoal) . .	61
Figura 54: Pode-se observar que a seção superior dos marcos são contínuos ao longo da parede, fornecendo contraventamento. (Foto de arquivo pessoal) .....	62
Figura 55: O cordwood foi executado principalmente com madeiras abandonadas. (Foto de arquivo pessoal) .....	63

Figura 56: Em poucas horas foi possível cortar toda a madeira. (Foto de arquivo pessoal) ..	64
Figura 57: Diferença de cor entre a argamassa com areia grossa (em baixo) e média (em cima). (Foto de arquivo pessoal) .....	64
Figura 58: Ao centro pode-se observar caixa onde a argamassa foi misturada. (Foto de arquivo pessoal) .....	65
Figura 59: À esquerda juntas espessas, à direita juntas estreitas. (Foto de arquivo pessoal) .	66
Figura 60: Deterioração causada por dois anos de abandono ao relento. (Foto de arquivo pessoal). .....	67
Figura 61: Madeira manchada por receber chuva após o corte. (Foto de arquivo pessoal) ...	67
Figura 62: Fresta entre o toco e a argamassa devido à retração da madeira. (Foto de arquivo pessoal) .....	68
Figura 63: Rachaduras em torno de um toco que expandiu. As fissuras foram cobertas com argamassa. (Foto de arquivo pessoal) .....	69
Figura 64: Mofo onde a parede recebe chuva não recebe insolação. (Foto de arquivo pessoal) .....	69
Figura 65: Água no interior das garrafas traz prejuízo estético e sanitário caso estejam destampadas. (Foto de arquivo pessoal) .....	70
Figura 66: Fresta que poderia ser evitada. (Foto de arquivo pessoal) .....	70
Figura 67: O exterior e o interior da mesma parede. Só um dos lados pode ficar alinhado. (Foto de arquivo pessoal) .....	71

## LISTA DE QUADROS

---

Quadro 1: Distância percorrida pelos materiais até a obra de Nova Petrópolis (elaborado pelo autor).....	75
Quadro 2: Distância percorrida pelos materiais até a obra de Eldorado do Sul (elaborado pelo autor).....	75
Quadro 3: Resultados da comparação em Nova Petrópolis (elaborado pelo autor).....	78
Quadro 4: Resultado da comparação em Eldorado do Sul (elaborado pelo autor).....	78

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	15
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA.....	15
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	15
2.2.1 Objetivo principal.....	15
2.2.2 Objetivo secundário.....	15
2.3 PRESSUPOSTO.....	15
2.4 PREMISSA.....	15
2.5 DELIMITAÇÃO.....	16
2.6 LIMITAÇÃO.....	16
2.7 DELINEAMENTO.....	16
2.7.1 Pesquisa bibliográfica.....	16
2.7.2 Análise de dados.....	17
2.7.3 Acompanhamento das obras.....	17
2.7.4 Descrição e análise da técnica construtiva e dos procedimentos utilizados.....	17
2.7.5 Comparação com objetivos sustentáveis e apresentação de proposta.....	17
2.7.6 Considerações finais e conclusões.....	17
3 SUSTENTABILIDADE E A CONSTRUÇÃO CIVIL.....	18
3.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, DIMENSÕES E NÍVEIS DA SUSTENTABILIDADE.....	18
3.2 EDIFICAÇÕES MAIS SUSTENTÁVEIS.....	19
4 CORDWOOD.....	20
4.1 USO APROPRIADO.....	22
4.2 CAPACIDADE TÉRMICA.....	23
4.3 TIPOS DE PAREDE.....	24
4.3.1 Entre uma estrutura de vigas e pilares.....	24
4.3.2 Paredes autoportantes com cantos de tocos empilhados autoportantes (stackwall).....	26
4.3.3 Cordwood como paredes curvas autoportantes.....	29
5 MATERIAIS UTILIZADOS NA ALVENARIA EM CORDWOOD.....	30
5.1 MADEIRA.....	30
5.2 ARGAMASSA.....	34

5.2.1 Cob.....	34
5.2.2 Argamassas à base de cimento e cal.....	35
5.2.3 Argamassa de cal.....	37
5.2.4 Argamassa de resíduo da reciclagem do papel estabilizada com cimento.....	37
5.3 ISOLAMENTO TÉRMICO.....	38
5.4 GARRAFAS.....	39
6 PROCESSO CONSTRUTIVO.....	41
6.1 POSICIONANDO A ARGAMASSA.....	41
6.2 POSICIONANDO O ISOLAMENTO.....	42
6.3 POSICIONANDO OS TOCOS.....	43
6.4 APONTANDO A ARGAMASSA.....	44
6.5 LIMPANDO AS FACES DOS TOCOS APÓS O ASSENTAMENTO.....	46
6.7 FINALIZANDO O DIA DE TRABALHO.....	46
7. MANUTENÇÃO DO CORDWOOD.....	48
8. EDIFICAÇÕES ESTUDADAS.....	49
8.1 EM NOVA PETRÓPOLIS.....	49
8.1.1 Fundações.....	51
8.1.2 Estrutura.....	51
8.1.3 Preparo da madeira.....	53
8.1.4 Argamassa.....	54
8.1.5 Garrafas e nichos.....	55
8.1.6 Execução da alvenaria.....	56
8.1.7 Dificuldades e patologias.....	56
8.2 EM ELDORADO DO SUL.....	59
8.2.1 Fundações.....	60
8.2.2 Estrutura.....	61
8.2.3 Madeiras.....	62
8.2.4 Argamassa.....	64
8.2.5 Execução da alvenaria.....	65
8.2.6 Dificuldades e patologias.....	66
9 COMPARAÇÃO COM PRINCÍPIOS DE SUSTENTABILIDADE.....	72
9.1 COMPARAÇÃO COM PRINCÍPIOS DE SUSTENTABILIDADE.....	72
9.1.1 Gerenciamento racional dos recursos materiais.....	72

9.1.2 Redução de distâncias com transporte.....	72
9.1.3 Utilização de materiais, recursos e mão de obra locais.....	73
9.1.4 Redução de perdas.....	73
9.1.5 Utilização de produtos com baixo nível de industrialização.....	74
9.1.6 Redução do uso excessivo de produtos à base de cimento.....	74
9.1.7 Redução do uso excessivo de produtos a base de petróleo.....	74
9.1.8 Não utilização de materiais tóxicos para a manutenção da edificação.....	75
9.1.9 Resumo dos resultados obtidos.....	75
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	77

## 1 INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais associados à construção civil são muitos. Estima-se que 50% dos recursos materiais extraídos da natureza estão relacionados à atividade de construção. Este consumo se intensifica com a generalização de materiais e processos industrializados.

Como alternativa, métodos construtivos mais sustentáveis entram em pauta e fornecem uma metodologia viável para que pessoas e comunidades resolvam déficits habitacionais com reduzida dependência de sistemas externos. Uma destas metodologias construtivas é o cordwood, a execução de paredes com assentamento de tocos de madeira.

Para a execução deste trabalho, o aluno participou na execução de duas construções que empregaram a técnica. Será feita a análise e descrição dos processos empregados na execução da alvenaria de tocos nos dois casos, associando-os a pressupostos de sustentabilidade atuais. Serão relatadas patologias e dificuldades encontradas, buscando melhores práticas na bibliografia.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### **2.1 QUESTÃO DA PESQUISA**

Como a construção em cordwood pode ser aplicada utilizando princípios da sustentabilidade em edificações?

### **2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é a associação entre a técnica Cordwood e os atuais pressupostos de sustentabilidade com a apresentação de uma proposta de alvenaria visando construções mais eficientes e ambientalmente favoráveis.

#### **2.2.2 Objetivo secundário**

O objetivo secundário deste trabalho é a identificação, enumeração e descrição das etapas construtivas, dificuldades e patologias observadas nas edificações construídas com a técnica Cordwood.

### **2.3 PRESSUPOSTO**

É pressuposto deste trabalho que, quando técnicas adequadas são adotadas, a construção artesanal pode produzir resultados satisfatórios aos usuários finais especialmente em ambientes rurais e áreas marginalizadas.

### **2.4 PREMISSA**

É premissa deste trabalho que princípios de bioarquitetura e de sustentabilidade aplicados à construção civil podem levar a edificações eficientes e ambientalmente favoráveis.



## 2.5 DELIMITAÇÃO

O trabalho delimitou-se à caracterização da alvenaria em cordwood e de sua execução, não se aprofundando nas fundações, coberturas e instalações elétricas e hidráulicas.

## 2.6 LIMITAÇÃO

Os casos estudados por este trabalho se limitam à caracterização de duas estruturas construídas recentemente e com pouco tempo de uso. Possivelmente, a caracterização de estruturas com mais tempo de vida indicaria melhor a consequência de práticas inadequadas durante a construção e a ocupação. A inexistência de registro dos quantitativos dos materiais utilizados nos dois casos limita a aferição precisa tanto dos custos como dos impactos ambientais.

## 2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir:

- a) Pesquisa bibliográfica;
- b) Análise dos dados sobre as edificações estudadas;
- c) Acompanhamento das obras com a identificação das etapas construtivas e de problemas e dificuldades;
- d) Descrição e análise da técnica construtiva e dos procedimentos adotados;
- e) Comparação com objetivos sustentáveis;
- f) Considerações finais e conclusões.

### 2.7.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi realizada durante todo o desenvolvimento do presente trabalho, servindo de suporte e auxílio para a execução da técnica de acordo com as melhores

práticas, também embasando a solução de dúvidas e problemas que surgiram na elaboração do trabalho.

### **2.7.2 Análise de dados**

Nesta etapa foram realizadas a análise e levantamento de dados referentes às obras estudadas, com avaliação de seus levantamentos fotográficos que mostram suas etapas construtivas e patologias.

### **2.7.3 Acompanhamento das obras**

Com o acompanhamento das obras procurou-se obter uma aproximação e identificação das etapas e rotinas construtivas aplicadas para melhor compreender o processo como um todo.

### **2.7.4 Descrição e análise da técnica construtiva e dos procedimentos utilizados**

Associando os conhecimentos obtidos pela pesquisa bibliográfica e os dados obtidos com a experiência e a compreensão adquiridas praticando a técnica, realizou-se a descrição, análise e enumeração das etapas construtivas e dos procedimentos utilizados.

### **2.7.5 Comparação com objetivos sustentáveis e apresentação de proposta**

Com o resultado da descrição da técnica construtiva aplicada foi feita a comparação dos casos com os objetivos e pressupostos de sustentabilidade.

### **2.7.6 Considerações finais e conclusões**

Análise final de todos os resultados obtidos e conclusão sobre a técnica Cordwood, avaliando se ela tem potencial de aliar em sua técnica de execução atributos que aumentem e propiciem a sustentabilidade na construção.

### 3 SUSTENTABILIDADE E A CONSTRUÇÃO CIVIL

Neste capítulo serão abordadas definições de sustentabilidade e como eles se aplicam à construção civil.

#### 3.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, DIMENSÕES E NÍVEIS DA SUSTENTABILIDADE

O relatório de Brundtland (WORLD..., 1987) conceitua desenvolvimento sustentável como aquele que satisfaz as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprirem suas próprias necessidades. O documento ainda afirma que é necessária a promoção de valores que encorajem padrões de consumo dentro do limite ecologicamente possível e aos quais todos possam aspirar. Este desenvolvimento depende de planejamento e do reconhecimento de que os recursos são finitos.

No sentido de combater a banalização do termo, segundo CIB e UNEP-IETC (2002), a Agenda 21 da Construção Sustentável para Países em Desenvolvimento caracteriza a falsa e verdadeira sustentabilidade, baseada na quantidade de recursos que podemos consumir hoje e a que devemos reservar ao futuro. A falsa sustentabilidade pretende compensar pela oferta de manufatura a utilização massiva de recursos naturais, reservando nada ao futuro. A verdadeira admite que há funções exercidas pelo meio ambiente que não são duplicáveis pelos humanos e que são essenciais para a sobrevivência da espécie humana. Capital natural crítico, indispensável, por exemplo, a camada de ozônio e o ciclo do hidrogênio. Para melhor entender a sustentabilidade, pode-se avaliá-la em suas diversas dimensões (SACHS, 1993 apud SATTLER, 2007, p.22):

- a) Sustentabilidade social: preconiza uma civilização com maior equidade na distribuição de rendas e bens, reduzindo o distanciamento e as discrepâncias entre as camadas sociais;
- b) Sustentabilidade econômica: informa que a eficiência econômica deveria ser medida em termos macrossociais, não somente por meio de critérios macroeconômicos de rentabilidade empresarial;
- c) Sustentabilidade ecológica: deve ser buscada mediante a racionalização do aporte de recursos, com a limitação daqueles esgotáveis ou danosos ao meio ambiente; da redução do volume de resíduos e com práticas de reciclagem; da conservação de energia; através do empenho no desenvolvimento de pesquisas que façam uso de tecnologias ambientalmente mais adequadas e na implementação de políticas de proteção ambiental;
- d) Sustentabilidade geográfica ou espacial: propõe uma configuração rural/urbana mais

equilibrada, com a redução de concentrações urbanas e das atividades econômicas; considera, também, a proteção de ecossistemas frágeis, a criação de reservas para a proteção da biodiversidade e a prática da agricultura e da agrossilvicultura com técnicas regenerativas e em escalas menores;

- e) Sustentabilidade cultural: encontra-se associada à valorização das raízes endógenas, admitindo soluções que contemplem as especificidades locais do ecossistema, de forma que as transformações estejam em sintonia com um contexto que permita a continuidade cultural.

Mülfarth (2002, p.127) admite a existência de níveis de sustentabilidade. O primeiro concerne os aspectos das edificações, suas soluções construtivas e materiais empregados; o segundo diz respeito ao entorno da edificação, como a vegetação, a qualidade do ar, o transporte e a comunidade são afetados e, finalmente, como os aspectos anteriores refletem nos hábitos e na mentalidade, nos valores, da sociedade.

### 3.2 EDIFICAÇÕES MAIS SUSTENTÁVEIS

Para CIB e UNEP-IETC (2002) construção sustentável é aquela que aplica os princípios de desenvolvimento sustentável ao ciclo construtivo, da extração da matéria prima e seu beneficiamento, passando pelo planejamento, projeto, construção e ocupação, até a desconstrução e gerenciamento dos resíduos. Assim, para Gibbert (2002), é a construção que busca maximizar os efeitos sociais e econômicos benéficos, minimizando os impactos ambientais negativos.

Tendo em vista o caráter holístico da sustentabilidade Sattler (2007, p. 38) orienta estratégias específicas em relação ao conforto ambiental, ao aproveitamento e ao reúso de recursos, à escolha dos materiais e sistemas construtivos e aos aspectos econômicos e sociais. No que diz respeito a materiais de construção, as seguintes diretrizes são propostas:

- a) Dar preferência aos materiais de construção disponíveis no local onde a edificação será construída;
- b) Dar preferência ao uso de técnicas construtivas que empregam mão de obra local;
- c) Evitar o uso de materiais tóxicos para a conservação da edificação;
- d) Buscar utilizar materiais locais, que exijam o mínimo possível de manutenção e reposição e que sejam duráveis;
- e) Dar preferência aos materiais com baixo nível de industrialização.

## 4 CORDWOOD

Existem relatos de construções em cordwood que datam de milhares de anos, se distribuindo de forma bastante esparsa. Muitas variações da técnica surgiram, se adequando a realidade de cada local, sendo difícil precisar suas origens. As mais antigas construções em cordwood ainda de pé podem ser encontradas na Europa. Na Figura 1 pode-se observar um forte eslavo construído entre os séculos IX e X e reconstruído com as técnicas originais na década de 1990, na Alemanha (ROY,2018,p.1).



Figura 1: Forte Raddush, na Alemanha. As toras foram assentadas com terra, areia e argila (ROY, 2018, p.1)

Exemplares com aplicações análogas da técnica podem ser mais antigos, mas a construção em cordwood se tornou mais atrativa e popular após as primeiras serras manuais serem fabricadas em massa, por volta de 1840, e ainda mais com o surgimento de serras motorizadas, por volta de 1860 (ROY, 2016, p.22). Um grande número de habitações aplicando a técnica foi erguido em regiões da Europa e da América do Norte. Em muitos casos, o resíduo de madeiras que despontavam nestas regiões foi usado pelos próprios funcionários e moradores próximos para erguer suas residências, galpões e celeiros.

A figura 2 apresenta uma pequena casa em cordwood construída por volta de 1860 e deserta desde 1950. A figura 3 mostra uma casa no nordeste da Polônia (SZEWCZYK, 2007, p.4). Em ambos os casos as paredes eram originalmente cobertas por reboco.



Figura 2: Uma antiga casa em Botkyra, Suécia, datada de 1860 (ROY, 2016, p.20). Se observa a construção em prateleiras. A argamassa é uma mistura de argila com 40% de serragem.



Figura 3: Uma casa construída na década de 1930 em Bialystok, Polônia (SZEWCZYK, 2007, p.6). A argamassa é à base de cal.

Os dois exemplos demonstram o uso da alvenaria com tocos como alternativa mais acessível à moradia, tendo o reboco originalmente coberto o cordwood, com o intuito de proteger e disfarçar a técnica. O exemplo da Polônia é extraído de uma situação peculiar, em que o cordwood foi amplamente usado na arquitetura urbana, criando inclusive uma identidade local (SZEWCZYK, 2007, p.8).

Roy cita cinco vantagens em se construir com cordwood:

**1. Economia:** Alvenaria em cordwood é baixa em custo, particularmente quando o morador-construtor tem uma fonte local de madeira adequada. Caso haja argila prontamente disponível no local, “cobwood” é uma opção, economizando em cimento e cal. Areia e serragem não costumam ser caros, podendo ser nativos do local de construção.

**2. Eficiência energética:** Construído adequadamente, e com a espessura de parede adequada ao clima local, casas de cordwood são facilmente aquecidas no inverno e permanecem frescas no verão. O segredo está na justaposição de isolamento e massa térmica.

**3. Fácil de construir:** Crianças, avós e castores conseguem, todos, construir com alvenaria de cordwood. Nosso filho mais velho, Rohan, construiu sua primeira casa de brincar com cordwood aos sete anos e estava ensinando alvenaria em cordwood para jovens do interior de Chicago aos nove.

**4. Esteticamente agradável:** ‘Uma parede de cordwood combina o calor da madeira com o agradável alívio e interesse visual da alvenaria de pedra.’ Eu escrevi isto em 1992. Ainda é verdade, mas a qualidade está sempre melhorando. Muitos construtores levaram o cordwood a uma forma de arte nos últimos 10 anos.

**5. Ambientalmente amigável:** Alvenaria em cordwood faz uso de madeira que poderia de outra forma virar resíduo, até soterradas em aterros. Eu tenho usado descartes e peças de serrarias, construtores de cabines de toras e fabricantes de móveis (ROY, 2016, p.1, tradução nossa)

Mouterde et al (2011) resume que estruturas de cordwood tem sido usadas somente por alguns construtores independentes e o único desenvolvimento técnico até a data existiu na América do Norte. Também aponta que pela baixa energia embutida e pela capacidade de armazenar carbono pode ajudar a reduzir impactos ambientais, indicando a possibilidade de seu uso de forma razoável na habitação. Conclui que a pesquisa a respeito de agregados orgânicos na argamassa e do arranjo dos tocos pode elevar suas capacidades estruturais.

#### 4.1 USO APROPRIADO

Roy (2018, p.7) considera a alvenaria em cordwood adequada para a construção de casas pequenas ou grandes, edificações de apoio e paredes internas nas situações em que há madeira em abundância. Têm demonstrado eficiência em climas úmidos a secos. Em todos os casos, cuidado na seleção e no preparo da madeira, fundações que afastem o cordwood da umidade e abas que o protejam das intempéries são essenciais para o sucesso da técnica.

Roy (2016, p.22) diz que pela respirabilidade dos tocos na direção das fibras, eles não estão propensos à deterioração. Secando rapidamente, não promovem condições ideais para a proliferação de fungos nem de insetos. Ainda propõe cinco regras para prevenir apodrecimento em uma parede de cordwood:

- a) Mantenha a alvenaria em cordwood elevada ao menos 10 cm do chão, 30 cm para climas úmidos, em uma fundação de concreto ou de pedras;
- b) Beirais generosos, como 40 cm;
- c) Não permitir que um toco adjacente a outro se toquem, nem toquem a estrutura. A umidade pode ficar presa e promover crescimento de fungos. Deve haver uma camada de argamassa entre eles.
- d) Construir com madeira seca, sem sinais de apodrecimento nem deterioração;
- e) Remover a casca dos tocos o quanto antes. A camada entre a casca e a madeira promove condições para insetos deteriorarem a madeira.

Quanto à espessura das paredes, o autor sugere pelo menos 20 cm para edificações pequenas e pelo menos 40 cm para casas com mais de 55 m<sup>2</sup>, tanto para climas quentes como para climas frios. Em climas rigorosos paredes com 60 cm de espessura são recorrentes. O autor também aponta a resistência à combustão como característica do cordwood.

Flatau (2017, p.107) sugere que a amarração superior pode ser feita ancorando duas guias de pelo menos 2x4 polegadas com pinos ou parafusos sobre a última camada de argamassa.

## 4.2 CAPACIDADE TÉRMICA

Flatau e Stankevitz (2005) apud Roy (2018, p.9) testou uma parede de cordwood de 60 cm obtendo um valor R 35, ou 6,23 m<sup>2</sup>K/W. Para o cálculo do valor R, a resistência térmica, de uma parede que usa a técnica, Roy (2018, p.9) sugere considerar a capacidade de isolamento térmico da madeira na direção das fibras como dois terços do valor do isolamento térmico na direção perpendicular das fibras, o valor varia entre as espécies; da argamassa, o autor sugere R-1 (0,176m<sup>2</sup>K/W) por polegada e R-3 (0,528m<sup>2</sup>K/W) para a serragem, o isolamento entre as camadas de argamassa. Na figura 4 pode-se observar a camada de isolamento entre as de argamassa.





Figura 4: Isolamento térmico (serragem no caso) entre as linhas de argamassa (ROY, 2016, p. 40)

O autor ainda aponta a massa térmica, especialmente da argamassa, como característica positiva no conforto térmico. “As paredes massivas funcionam como capacitores térmicos e a temperatura muda muito devagar” (ROY, 2018, p.10)

### 4.3 TIPOS DE PAREDE

Roy (2016, p.7) caracteriza três formas de usar o cordwood: como vedação entre uma estrutura de vigas e pilares ou como paredes autoportantes, curvas ou com cantos empilhados. Estes serão descritos a seguir:

#### 4.3.1 Entre uma estrutura de vigas e pilares

Segundo Roy (2018, p.38) esta é a opção mais usada atualmente. A possibilidade de assentar a alvenaria, processo intensivo em trabalho, sob a proteção do telhado e a ausência de dados quanto a resistência à compressão do cordwood, apesar de inúmeros exemplos de alvenarias de tocos autoportantes, favorecem a escolha. Segundo Flatau (2017, p.49) duas pessoas trabalhando juntas em ritmo moderado podem assentar uma seção de 6 m<sup>2</sup> de cordwood entre pilares em dois dias. A figura 5 apresenta um exemplo de estrutura de vigas e pilares.



Figura 5: Estes pilares estão ancorados por chumbadores na laje de concreto (FLATAU, 2017, p.49)

Na figura 5 os pilares têm a mesma espessura que a parede a ser construída. Roy (2018, p.39) mostra como pode-se construir o cordwood envolvendo pilares menos espessos do que a parede, ampliando as opções de estrutura, esquematizado na figura 6.

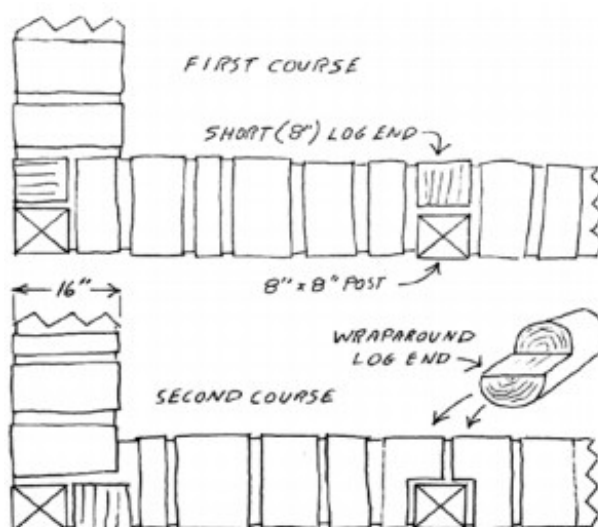


Figura 6: Esquema mostrando duas linhas de assentamento subsequentes de uma parede com tocos de 16 polegadas de comprimento e pilares de 8 polegadas de largura (ROY, 2018, p.39).

Flatau (2017, p.90) indica a presença de duas guias de uma polegada nos pilares e nos caixilhos das portas e janelas, de forma que sejam abraçados pelas linhas de argamassa. Além de amarrar a alvenaria à estrutura, esta prática reduz a infiltração de ar. Na figura 7 pode-se observar as guias nos pilares.



Figura 7: É importante que as linhas de argamassa envolvam cada uma das guias (FLATAU, 2017)

#### 4.3.2 Paredes autoportantes com cantos de tocos empilhados autoportantes (stackwall)

Neste método a madeira é assentada nas quinas em filas duplas ou simples, podendo se ajustar a qualquer espessura de parede. A figura 8 apresenta o esquema em filas duplas sem cavidade central.

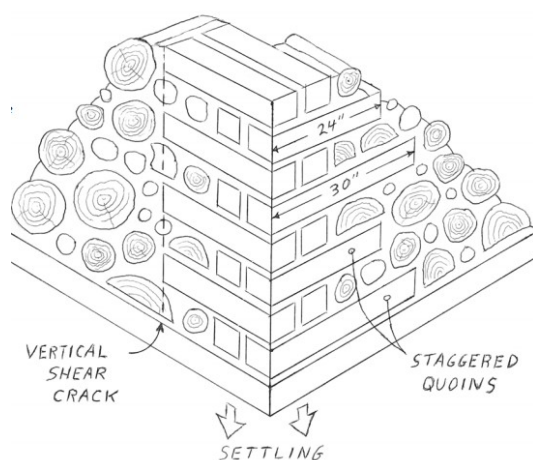


Figura 8: Roy (2018, p.42) sugere a utilização de madeiras de diferentes comprimentos para evitar rachaduras por cisalhamento vertical na argamassa (ROY, 2018, p.42)

Na figura 9 pode-se observar a disposição da madeira em filas duplas espaçadas, formando uma cavidade central a ser preenchida com isolante térmico.



Figura 9: Esquina feita em fila dupla. Os frisos e as peças de amarração aumentam a fricção com a argamassa, não mostrada aqui. A cavidade interna é preenchida com material isolante térmico (ROY, 2016, p.14).

Na figura 10 a mesma técnica sendo aplicada.



Figura 10: O mesmo esquema apresentado na figura 9. (ROY, 2016, p.15)

Uma desvantagem da utilização do sistema é a maior quantidade de madeira regular serrada. Esta questão pode ser contornada com o uso de tocos aplanados ao longo das fibras, como apresentado na figura 11 e na figura 12.

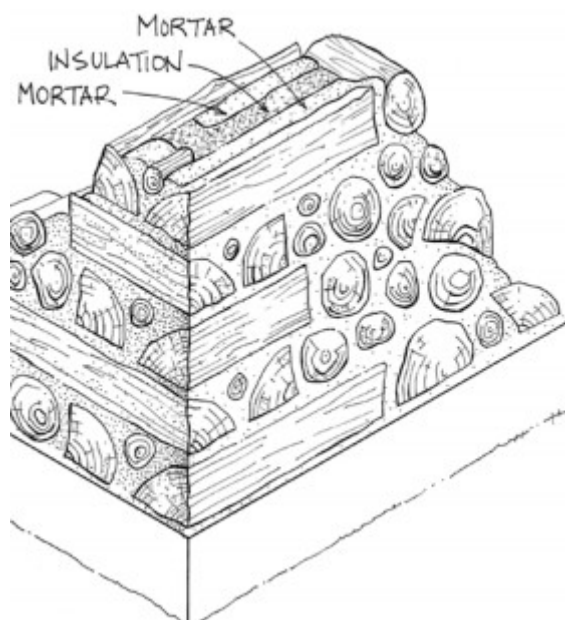


Figura 11: Os tocos em fila dupla e espaçados deixam espaço para o material isolante térmico (ROY, 2018, p.41).



Figura 12: Tocos em fila única. Diferentes comprimentos dos tocos ajudam a evitar rachaduras por cisalhamento vertical na argamassa (ROY, 2018, p.43)

Roy (2018, p.43) aponta que na direção em que é serrada, as madeiras usadas nas quinas estão mais propensas a absorver água ao longo das fibras e inchar, deslocando a estrutura. Para minimizar esta questão o autor salienta a importância de usar madeiras com baixos índices de dilatação e impermeabilizar as peças. Madeiras densas, em geral não são adequadas.



Como amarração na altura final dos cantos, Roy (2018, p.44) sugere um sistema de placas duplas de madeira parafusadas ou presas com pinos, como pode se observar na figura 13.

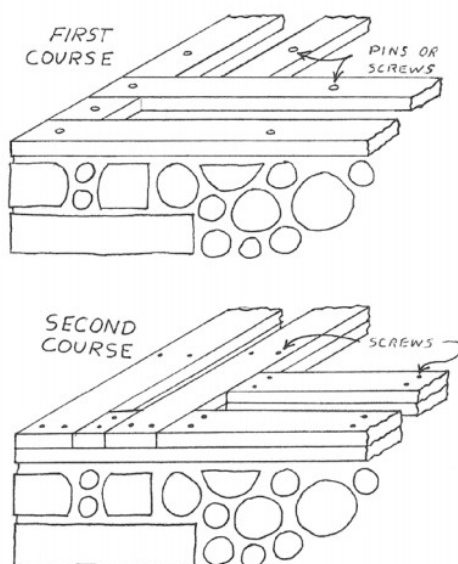


Figura 13: Amarração no topo da quina (ROY, 2018)

### 4.3.3 Cordwood como paredes curvas autoportantes

Outra possibilidade de uso da alvenaria de tocos é em paredes curvas autoportantes. Na figura 14 pode-se observar um exemplar em construção. Uma desvantagem desta abordagem é que durante o processo construtivo deve-se evitar chuva e sereno sobre a madeira e também o impacto direto do sol sobre a argamassa, protegendo a construção com lonas ou toldos.



Figura 14: Pode-se observar a parede coberta com lona ao fundo.

## 5 MATERIAIS UTILIZADOS NA ALVENARIA EM CORDWOOD

### 5.1 MADEIRA

Roy (2018, p.13) indica que os tocos devem ser leves e porosos, para bom isolamento térmico, e terem baixas taxas de retração e de expansão. Estas características encontram-se especialmente em coníferas. A resistência ao apodrecimento não é o fator principal na escolha da madeira, o autor considera que o apodrecimento na madeira é causado por fungos que necessitam de umidade continuamente para se propagarem. Por estarem sempre respirando ao longo das fibras, a umidade não fica presa no cordwood. Roy (2016, p. 2) diz que em algumas estruturas centenárias de cordwood uma petrificação da madeira tende a ocorrer. Ainda assim o autor dá preferência a madeiras duráveis.

A retração e a expansão da madeira são questões importantes a se considerar. Ao secar, a retração da madeira pode criar rachaduras tangenciais e/ou radiais na face dos tocos, como também pode afastá-los da argamassa. A ocorrência desta retração é esperada nos primeiros dois anos da estrutura, mesmo que a madeira passe por uma secagem adequada. Roy (2018, p.13) considera mais crítico o fenômeno de expansão da madeira, comprometendo a estabilidade da parede. Para o autor, isto tende a ocorrer com madeiras densas excessivamente secas. Nas figuras 15 e 16 pode-se observar patologias comuns na madeira ao secar



Figura 15: Um toco que apresenta rachaduras radiais (ROY, 2018, p.16)



Figura 16: Um toco que apresenta rachaduras radiais e tangenciais com consequente afastamento da argamassa (ROY, 2018, p.18)

Para evitar, ou reduzir estas patologias, além de ser de uma espécie adequada, a madeira deve atingir a umidade de equilíbrio para o local onde será usada. Roy (2018, p.18) propõe secar os tocos sem casca ao ar já no tamanho final por, pelo menos, um ano para madeiras leves e favoráveis à construção em cordwood. Para madeiras densas o autor sugere que dois meses são o suficiente, um mês para tocos divididos. Secar excessivamente este tipo de madeira as deixa suscetíveis a incharem na parede quando expostas a umidade, deslocando a estrutura. Na figura 17 pode-se observar tocos de cedro (*Juniperus virginiana*) secando em condições ideais.



Figura 17: Tocos cortados secando protegidos da chuva. Estão separados por diâmetro (ROY, 2016, p.155)



Ainda segundo o autor, dividir os tocos permite que eles sequem mais rápido e reduz o tamanho das frestas com a argamassa, provenientes da retração da madeira. O tamanho menor também aumenta a quantidade de movimentos na construção e dificulta o acabamento. Tocos inteiros (redondos) tendem a apresentar uma rachadura principal que deve ser orientada para baixo, impedindo o acúmulo de água na fenda. A figura 18 apresenta diferentes arranjos com os formatos dos tocos.



Figura 18: Tocos inteiros, divididos e uma mistura dos dois (ROY, 2016, p.29)

Roy (2016, p.29) no aprimoramento de seu processo construtivo tem preferido o uso, quase exclusivo, de tocos inteiros de Cedro (uma madeira macia, de baixa retratibilidade, resistente à deterioração e aromática). Para o autor os tocos inteiros de diferentes diâmetros conferem uma boa aparência, facilidade no acabamento da argamassa entre as madeiras além de eliminar a etapa de dividi-los. A aparência agradável, neste caso, estaria ligada à distribuição aleatória de tocos de diferentes diâmetros. Na figura 19 se observa tocos pré selecionados com diferentes diâmetros para serem usados.



Figura 19: Tocos são levados à obra com equilíbrio na quantidade de cada diâmetro (ROY, 2016, p.155)

Na figura 20 se observa o resultado. Pode-se observar as rachaduras principais orientadas para baixo.



Figura 20: O equilíbrio se reflete na parede. Observa-se constância nas distâncias mínimas entre os tocos. (ROY, 2016, p. 161)

Dentro da realidade da silvicultura brasileira, as madeiras mais prontamente disponíveis são espécies de Pinus e de Eucaliptus. O censo de Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura de 2017 (IBGE, 2017) aponta 1.618,4 mil ha de área plantada com Eucalipto e de 1.780,0 mil ha plantados com Pinus na região Sul. Entre os dois gêneros, o Pinus apresenta a madeira mais leve e porosa e com mais baixos níveis de contrações radiais e tangenciais. Segundo Roy (2018, p.17) Eucaliptos tendem a desenvolver rachaduras inesperadas.

Quanto a tratamentos empregados na madeira, Flatau (2017, p. 60) diz que a maioria das construções em cordwood não recebem tratamento. Óleo de linhaça, vernizes, seladores e óleo queimado têm sido usados e, para o autor, não há consenso sobre o que funciona e o que não funciona. Complementa indicando que tratamentos que selam a madeira (não a deixam ‘respirar’) e o uso de substâncias tóxicas não é recomendável.

O autor finaliza recomendando a aplicação de uma solução aquosa de borato de sódio (aproximadamente 1:4) logo após o corte da madeira que funciona como preservativo, inseticida, fungicida e retardador de queima. O borato de sódio pode ser pulverizado na madeira, aplicado com pincel ou misturado em água quente, formando uma solução onde os tocos seriam mergulhados por 30 segundos na solução mantida quente. Propilenoglicol pode ser adicionado à mistura, facilitando a absorção pela madeira.

## 5.2 ARGAMASSA

Flatau (2017, p.72) considera crítica a escolha de uma argamassa firme, que seque e cure devagar. Estas características podem se expressar em diferentes misturas. Segundo Roy (2016, p. 23) a maioria das edificações em cordwood na América do Norte utiliza argamassas a base de cimento e cal, mas quando se tem acesso à argila de boa qualidade cob é uma opção (ROY, 2016, p.67). A seguir se descreverá algumas misturas expostas na bibliografia:

### 5.2.1 Cob

A utilização da terra como material construtivo se nota da pré-história até os dias modernos em uma grande variedade de tipologias. Ao solo reforçado com fibras e aplicado na construção em pequenas bolas se dá o nome de cob. Flatau (2017, p.83) exemplifica uma composição simples: solo (composto por 30% de argila e 70% de areia), palha (de preferência de gramíneas em pedaços não maiores do que 5 cm (ROY, 2018, p. 31)) e água. Roy (2016, p.117) considera que solos contendo entre 10 e 30 por cento de argila e baixos níveis de matéria orgânica formam cob de boa qualidade. Tradicionalmente a mistura é feita com os pés, amassando o barro de forma a empurrar as partículas de argila entre as de areia, adicionando água até atingir uma mistura plástica e, então, é adicionada a palha. Essa mistura também pode ser feita mecanicamente. O processo de mistura é trabalhoso e a adição de tocos de madeira em uma parede de cob reduz de 30 a 40 por cento a quantidade de cob a ser usado (ROY, 2016, p.116), ainda mais com a presença de uma camada de isolamento entre as linhas de cob, como pode-se observar na figura 21.



Figura 21: Palha sendo usada entre as linhas de cob fornece isolamento térmico e economizando trabalho (ROY, 2016, p.122).

Roy (2016, p.120) considera importante em climas rigorosos a presença da camada de isolamento, exceto em zonas sísmicas. Na zona rural da Coreia do Sul são comuns casas de solo e em muitas delas nota-se a presença de tocos visando a estabilidade estrutural. A figura 22 apresenta um exemplar.



Figura 22: Uma típica casa de solo coreana. Não há camada de isolamento térmico (ROY, 2016, p.121)

### 5.2.2 Argamassas à base de cimento e cal

Tanto Roy (2018, p.23) quanto Flatau (2017, p.72) consideram argamassa à base de cimento e cal as mais utilizadas em construções de cordwood na América do Norte, caracterizando-as como tradicionais. Roy (2018, p.32) propõe a seguinte proporção para o preparo da argamassa: 9 partes de areia, 3 partes de serragem encharcada, 3 partes de cal hidratada e 2 partes de cimento Portland. Flatau (2017, p.72) propõe duas proporções, a primeira para paredes não estruturais e a segunda para paredes estruturais: 3 partes de areia, 2 partes de serragem encharcada, uma parte de cimento Portland e uma parte de cal hidratada; 3 partes de areia, uma parte de serragem, uma parte de cimento Portland e uma parte de cal hidratada.

Ambos os autores indicam a utilização de areia fina ou média, o que confere uma argamassa mais trabalhável e com acabamento melhor. A função da serragem na argamassa é a de retardar a cura, reduzindo a retração durante a secagem e consequentes rachaduras na argamassa (ROY, 2016, p.31). Para tanto, a serragem usada deve ser mergulhada na água por pelo menos 24 horas e drenada



logo antes do uso (FLATAU, 2017, p.71), proveniente de madeiras macias curadas e em granulometria não excessivamente fina.

Serragem de madeiras duras não absorvem água tão bem quanto as de madeiras macias, formando uma argamassa farelenta, mais propensa a rachaduras e com acabamento rude (ROY, 2018, p.24). Caso a serragem adequada não esteja disponível, Roy (2018, p.26) sugere a utilização de retardadores de secagem e a seguinte proporção: 10 partes de areia, 2 partes de cimento Portland, 3 partes de cal hidratada. Para Flatau (2017, p.91) aditivos retardadores de secagem não são tão efetivos quanto a serragem encharcada.

A consistência ideal da argamassa para a execução do cordwood é mais firme do que a utilizada na alvenaria convencional. Flatau (2017, p.74) recomenda a execução do ‘teste da bola de neve’: Na consistência ideal, pode-se moldar uma bola com a argamassa e arremessá-la de 60 cm a 90 cm no ar sem que ela se fragmente. Caso se fragmente, a argamassa está muito seca; caso não seja possível moldar a bola, a argamassa está muito molhada. A mistura pode ser feita tanto manualmente quanto mecanicamente. Na figura 23 se observa a execução do teste proposto.



Figura 23: A bola de argamassa não se fragmenta quando arremessada ao ar (ROY, 2018, p.57).

Na figura 24 pode-se observar a argamassa aplicada (FLATAU, 2017, p. 88).



Figura 24: A argamassa apresenta uma consistência firme (FLATAU, 2017, p. 88).

### 5.2.3 Argamassa de cal

Em um esforço para substituir o cimento Portland e sua inerente energia embutida, argamassas a base de cal tem sido usadas em construções de cordwood. (FLATAU, 2017, p. 75). Roy (2016, p.107) lista como vantagens a simplicidade da mistura, a cor clara da argamassa resultante, a maior janela de tempo para fazer acabamentos, a durabilidade, a trabalhabilidade, a cura lenta e a contínua calcificação reduzirem a incidência de rachaduras e a facilidade no reúso da argamassa caída no chão, caso este esteja limpo. Mesmo que necessite de temperaturas de queima mais baixas do que o cimento Portland e absorva carbono da atmosfera em seu processo de cura, a fabricação de cal ainda gera impactos ambientais consideráveis.

Roy (2016, p.109) indica a preparação da argamassa na proporção de 5 partes de areia para duas partes de pasta de cal hidratada. A pasta de cal constitui-se de cal hidratada misturada com água e repousada por ao menos três dias, idealmente, 5 dias. O autor considera importante minimizar as variáveis na preparação da pasta de cal e sugere adicionar 3 litros de água para cada 4 kg de cal hidratada. A consistência final da argamassa deve ser como a descrita acima, no item 5.2.2.

### 5.2.4 Argamassa de resíduo da reciclagem do papel estabilizada com cimento

Roy (2016, p.125) apresenta a possibilidade da utilização do resíduo da reciclagem do papel, composto por microfibras de celulose, água e cargas minerais (IBEIRO, 2007, p.21). Considerando que uma argamassa única e homogênea, sem a camada de isolamento entre duas linhas de argamassa, simplificaria a construção e buscando um isolamento térmico comparável, a argamassa de resí-

duo de reciclagem do papel aparece como opção. A mistura é composta de 80% de resíduo e 20% de cimento e aplicada em uma camada única, como pode ser observado na figura 25.



Figura 25: Tocos de Pinus assentados com argamassa de resíduo de papel e cimento (ROY, 2016, p.126 )

A mistura pode ser feita mecanicamente com muita agilidade obtendo uma argamassa leve com valor R entre 3 ( $0,528\text{m}^2\text{K/W}$ ) e 4 ( $0,704\text{m}^2\text{K/W}$ ) por polegada, com baixa incidência de rachaduras e que adere bem aos tocos (ROY, 2016. p.131). O autor aponta que são necessários testes para certificar a capacidade estrutural desta alvenaria e indica a utilização apenas como vedação.

### 5.3 ISOLAMENTO TÉRMICO

O desempenho térmico de uma parede de cordwood é beneficiado por uma camada de isolamento entre as camadas de argamassa. Existem diversas opções para cumprir este papel como isopor granulado, vermiculita, fibra de vidro, celulose, espuma de poliuretano e serragem (FLATAU, 2017, p.85).

Serragem é a opção mais usada (FLATAU, 2017, p.85). Barata, geralmente um resíduo, tem uma resistência térmica de aproximadamente  $R-3$  ( $0,528\text{m}^2\text{K/W}$ ) por polegada. Roy (2016, p.35) recomenda adicionar cal em uma proporção de 1 parte de cal para 12 partes de serragem, como preservativo. O autor também considera que serragem de madeiras leves é mais adequada do que serragem de madeiras densas, o que não impede o uso da última ao custo de uma resistência térmica mais baixa.

## 5.4 GARRAFAS

É recorrente o uso de garrafas em edificações mais sustentáveis. Roy (2016, p.85) estima que 90% das construções em cordwood usam garrafas como diferencial estético e para aumentar a entrada de luminosidade. As garrafas podem ser usadas inteiras, com o gargalo orientado para o lado de fora ou agregando dois fundos de garrafas em direções opostas. Roy (2016, p.76) recomenda expor apenas os fundos das garrafas, pois os gargalos expostos podem facilmente serem quebrados. Para tanto pode-se cortar as garrafas e unir os fundos com fita isolante ou simplesmente ligar os gargalos com um tubo quando a parede for espessa o bastante, como pode se observar nas figuras 26, 27 e 28.



Figura 26: Em paredes com menos de 40cm de espessura, as garrafas são cortadas (ROY, 2016, p.77)



Figura 27: Após serem lavadas e secas ao Sol, as garrafas são coladas com fita (ROY, 2016, p.78)





Figura 28: Paredes mais espessas permitem usar garrafas sem cortá-las (ROY, 2016, p87)

Roy (2016, p.88) sugere dar preferência a garrafas claras na metade exterior, deixando as cores mais vibrantes voltadas ao interior, o que aumenta a entrada de luminosidade. As garrafas são assentadas na parede como os tocos. Flatau (2017, p.101) sugere envolver a lateral das garrafas com papel-alumínio o que ajuda a transmitir a luz, como se observa na figura 29.



Figura 29: fundos de garrafas envoltas em papel alumínio assentados na parede (FLATAU, 2017, p.101)

Roy (2016, p.88) recomenda limpar os fundos das garrafas no mesmo dia em que forem assentadas, o que pode ser feito com um pano seco. Isto vale para argamassas com cimento, depois de secas é muito mais dispendioso limpar as garrafas sujas.

## 6 PROCESSO CONSTRUTIVO

Neste capítulo será descrito o processo construtivo sugerido pela bibliografia consultada. Para Roy (2018, p.59), a ordem dos eventos básicos na alvenaria em cordwood é sempre a mesma: argamassa, isolamento e madeira. Segundo o autor, seguindo esta ordem a parede “se constrói sozinha”, no sentido de que fica evidente qual peça de madeira é adequada para cada espaço. A alteração desta ordem levaria a desperdício de tempo. Sendo a alvenaria em cordwood um processo relativamente lento e intensivo em trabalho, a objetividade é crucial.

### 6.1 POSICIONANDO A ARGAMASSA

Roy (2018, p.60) sugere aplicar a argamassa com uma polegada de altura manualmente, aos punhados, diretamente de um balde ou carrinho de mão próximo. Pode-se com cada mão desenvolver uma linha, ou com ambas desenvolvê-las separadamente. Uma régua marcando a espessura das camadas de argamassa e de isolamento ajuda a manter a uniformidade. As figuras 30 e 31 ilustram este processo.



Figura 30: Com cada mão desenvolvendo uma linha se acelera o processo (ROY, 2018, p.60).



Figura 31: Para mãos menores ou argamassas mais espessas este método pode ser mais adequado. Note o balde de argamassa à mão (ROY, 2018, p.60).

O autor ainda indica que não se deve buscar o acabamento da argamassa nesta etapa. Adiantar este processo traz a água da argamassa à sua superfície, aumentando a incidência de rachaduras na argamassa. É importante não posicionar mais argamassa do que pode-se confortavelmente cobrir com os tocos antes que essa comece a endurecer.

## 6.2 POSICIONANDO O ISOLAMENTO

Roy (2018, p.60) sugere, após as linhas internas e externas de argamassa estarem posicionadas, despejar o isolamento escolhido com um balde, deixando uma leve protuberância no centro, como na figura 32. É importante não cobrir nem sujar a argamassa com o isolamento, caso ocorra, remover o máximo possível e aplicar um pouco mais de argamassa para garantir a continuidade da junta.

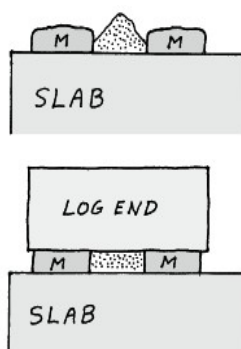


Figura 32: O tocos, ao serem posicionados, empurraram o isolamento contra as camadas de argamassa (ROY, 2018, p.61).

### 6.3 POSICIONANDO OS TOCOS

Roy (2018, p.61) indica analisar o toco selecionado, direcionando o lado melhor condicionado para dentro, direcionando a rachadura principal (caso haja) para baixo e deixando uma polegada de distância de qualquer outro toco ou estrutura. Para obter uma aparência agradável, o autor sugere variar de forma aleatória os tocos, quanto ao seu tamanho. Ao posicionar o toco um leve movimento vibratório para frente e para trás cria uma ligação por sucção e conforma a argamassa ao redor do toco. A figura 33 apresenta a sequência deste processo.



Figura 33: Tocos de diferentes diâmetros são posicionados sobre as linhas de argamassa e serragem (ROY, 2018, p.62)

Roy (2018, p.61), estando a primeira fileira posicionada, indica posicionar a argamassa mantendo a espessura inicial e mantendo a altura de uma polegada seguindo os “picos e vales” criados pelos tocos de diferentes tamanhos. Em seguida, despejar o isolamento entre as camadas de argamassa, tomando cuidado para que não fiquem vazios entre os tocos. Uma ferramenta comprida e fina ajuda a garantir isto.

A junta de argamassa formará “vales” de diversos tamanhos. Este é o momento de selecionar os tocos de tamanho apropriado para preenchê-los. Fica evidente a vantagem de se ter a disposição tocos com diâmetros variados. Nas figuras 34 e 35 pode-se observar a sequência de eventos descritos.



Figura 34: A argamassa e o isolamento acompanhando os tocos (ROY, 2018, p.62)



Figura 35: Os espaços então são preenchidos por tocos de tamanho adequado (ROY, 2018, p.63)

Caso a parede esteja tomando o padrão com tocos de tamanhos similares, o autor indica deliberadamente quebrar o padrão, adicionando um toco maior ou menor. Caso contrário, se perderá o padrão aleatório e a tendência é esgotar um certo diâmetro de toco.

Para Roy (2018, p.65) pode-se manter o prumo “no olho” quando a parede está entre dois pilares, ou isso pode ser feito esticando uma linha. Também pode se usar um nível de bolha. É esperado que haja variações no comprimento dos tocos, neste caso há duas opções: fazer uma média, ou escolher um dos lados da parede para manter o prumo (normalmente o interno).

#### 6.4 APONTANDO A ARGAMASSA

Segundo Roy (2018, p.67) apontar a argamassa, ou seja, dar acabamento às juntas com a argamassa ainda trabalhável, é uma etapa crucial da alvenaria em cordwood, atendendo a vários propósitos:

- a) O processo aumenta a fricção entre a argamassa e a madeira, especialmente relevante uma vez que não há ligação química entre os dois;

- b) Melhora da qualidade visual da parede. Negligenciar esta etapa pode dar uma aparência tosca à parede;
- c) Alisa a argamassa, melhor repelindo a água no exterior e reduzindo a poeira solta no interior;
- d) Se, ao apontar a argamassa, esta ficar recuada em relação aos tocos, no caso dos tocos secarem e encolherem, fica mais fácil reparar a lacuna entre a madeira e a argamassa. O autor sugere entre meio centímetro e um centímetro de desnível.

Para executar esta etapa o autor sugere começar removendo a argamassa em excesso com uma mão, recolhendo com a outra. Em seguida reutilizar a argamassa removida para preencher falhas nos pontos onde falta argamassa, como pode-se observar na figura 36.



Figura 36: Ao raspar a argamassa com uma mão se recolhe com a outra e o excesso pode ser imediatamente reutilizado (ROY, 2018, p.67)

Realizado este emparelhamento inicial, com uma ferramenta adequada (o autor sugere o uso de uma faca sem ponta com os últimos centímetros dobrados ou uma colher) pressionar firmemente a argamassa ao longo das juntas em um movimento contínuo, buscando um acabamento suave. Não se deve exagerar nessa etapa, o autor lembra que pressionar a argamassa no mesmo ponto diversas vezes tende a trazer a água da argamassa à superfície, interferindo na cura e aumentando a incidência de rachaduras. Na figura 37 se observa a argamassa sendo apontada.



Figura 37: Uma faca com a ponta dobrada esta sendo usada para apontar a argamassa (ROY, 2018, p.68)

## 6.5 LIMPANDO AS FACES DOS TOCOS APÓS O ASSENTAMENTO

Flatau (2017, p.95) destaca a importância de remover a argamassa residual nas faces dos tocos, estruturas e caixilhos de janelas para um melhor acabamento. Antes de completamente seca a argamassa pode ser facilmente limpa, caso contrário é necessário escová-la ou lixá-la. A figura 38 mostra estas duas possibilidades.



Figura 38: Uma escova de aço ou uma furadeira adaptada podem realizar o acabamento (FLATAU, 2017, p.95)

## 6.7 FINALIZANDO O DIA DE TRABALHO

Além de recomendações que valem para qualquer obra, como manter o canteiro de obras organizado e limpo e os materiais protegidos de intempéries, Roy (2018, p.71) ressalta que ao finalizar um dia de trabalho é importante cobrir o topo da alvenaria com uma lona. Além de isolar a cavidade de isolamento térmico de precipitações, a lona também retarda a cura da argamassa, reduzindo a incidência de rachaduras.

Caso esteja sendo utilizada serragem encharcada na argamassa, verificar se há o suficiente para o próximo dia de trabalho. A serragem pode ser preparada com até 4 semanas de antecedência, mantida saturada até antes de fermentar.



## 7. MANUTENÇÃO DO CORDWOOD

Há algumas manutenções que são esperadas em uma construção em cordwood. Flatau (2017, p. 98) sugere uma rotina de inspeção anual buscando no exterior e no interior da edificação as seguintes patologias:

- a) Retração de tocos ou da argamassa e rachaduras contínuas nos tocos;
- b) Rachaduras na argamassa;
- c) Descoloração dos tocos;
- d) Presença de insetos ou danos causados por estes.

Segundo o autor é esperado que após a primeira temporada de calor alguns tocos encolham e rachem deixando pequenas frestas, tanto neles próprios, como entre a argamassa. Há diversas formas de preencher estas falhas. Flatau cita fibra de vidro, silicone e massas de calafetagem para madeira como opções.

Quanto à descoloração dos tocos o autor oferece três opções: deixá-los com a aparência envelhecida, aplicar bloqueadores de raios UV ou algum verniz (desde que não impermeabilizem a madeira, impedindo sua respiração) ou lixá-los.

Quanto à presença inconveniente de insetos, o autor sugere a aplicação de borato de sódio. Não é recomendado a utilização de produtos tóxicos para a preservação da madeira.

## 8. EDIFICAÇÕES ESTUDADAS

Para a execução deste trabalho, permitindo melhor entendimento da técnica, o aluno participou ativamente na execução de duas construções em cordwood. A primeira foi executada durante o estágio obrigatório do aluno, no município de Nova Petrópolis; a segunda no município de Eldorado do Sul, em um assentamento da reforma agrária. A seguir serão descritas em detalhes:

### 8.1 EM NOVA PETRÓPOLIS

Situada em Nova Petrópolis, a 3km do centro, a fazenda Finca La Pata conta com 10 hectares, sendo pouco mais de 1 hectare efetivamente ocupado por moradias, oficina, hortas, estufa e sistemas agroflorestais. A terra foi adquirida por Sanderson Beschorner, após anos de atuação na construção civil, em grandes obras de infraestrutura, e na gastronomia, como chef, professor e dono de restaurante.

Fruto da experiência trabalhando como voluntário em fazendas de permacultura na Inglaterra, Sanderson e sua família começaram a receber voluntários em meados de 2015, quando iniciaram a construção de sua casa, no sistema *strawbale* (tipo de vedação feita com fardos de palha). Mais de 50 voluntários passaram pela fazenda desde então, na maior parte dos casos, motivados pelos conhecimentos práticos em bioconstrução e agroecologia e unidos pelos ideais da permacultura. Além dos trabalhadores voluntários, reside no sítio, desde 2016, o trabalhador assalariado Rubin Feliciano. Rubín tem experiência na construção civil como mestre de obras e marceneiro, sendo para os voluntários uma referência na oficina e nas obras.

Logo que começou a trabalhar com a ideia de receber voluntários no sítio, Sanderson adquiriu três contêineres marítimos usados. Um deles foi adaptado para acomodar os voluntários a serem recebidos, contando com banheiro, cozinha e dois quartos; outros dois foram estruturados um sobre o outro, descontraídos. O de baixo funcionou como depósito e oficina e o de cima, onde mora Rubín, foi montado baseado no conceito *tiny house* (movimento arquitetônico e social que advoga a vida simples em casas pequenas) com móveis sob medida construídos no local.

Com o objetivo de fornecer melhores condições aos voluntários, que conviviam com problemas de umidade, ventilação e isolamento térmico no contêiner, além de melhorar o acesso à residência de Rubín, foi projetada uma estrutura que conecta a oficina (que passou a ser o dormitório dos voluntários) e área abaixo do contêiner de cima (que passou a ser uma cozinha comunitária) à área acima.

Para a construção da estrutura de sua casa, vedada com paredes de feno, Sanderson adquiriu postes de luz e dormentes de trilho de trem usados. Muitos sobraram e o excedente entulhava o sítio. O projeto da obra visou utilizar materiais já disponíveis no local e, dentro do contexto, a técnica construtiva cordwood pareceu a mais adequada à situação.

A edificação foi construída entre Março e Agosto de 2017 pelos voluntários que residiram no sítio no período, orientados por Sanderson e Rubin. No total são cerca 170 m<sup>2</sup> de área, incluindo a dos contêineres. A maior parte dos materiais utilizados na parede e na estrutura estava disponível no local, naturalmente (pedras) ou como resíduo de construções anteriores (postes, dormentes e areia). Na figura 39 pode-se observar a obra já finalizada.



Figura 39: Interior e fachadas norte e sudoeste (Foto de arquivo pessoal)

Nas seções seguintes serão descritos etapas, processos e materiais utilizados.

### 8.1.1 Fundações

As fundações foram confeccionadas com pedra basáltica que ocorre no local. Recolhidas da própria propriedade e levadas de carrinho de mão até o local as pedras foram cuidadosamente encaixadas sem argamassa, formando um alicerce de aproximadamente 70 cm de largura e 50 cm de altura. Sobre as pedras foram posicionados dormentes como vigas baldrame. A figura 40 ilustra o processo e o resultado final.



Figura 40: As cavas sendo preenchidas e a fundação já cumprindo sua função (Foto de arquivo pessoal)

### 8.1.2 Estrutura

A construção foi feita mesclando os três estilos de cordwood descritos na seção 4.3. No sudeste da edificação, a porção mais alta, a alvenaria foi erguida entre uma estrutura de pilares (postes de luz) e vigas de contraventamento (dormentes) fixadas com encaixes e pinos (figura 41). No canto sudoeste a opção foi estruturar o canto com tocos empilhados, ou seja, pedaços de dormente cortados com 40 cm a 50 cm de comprimento (figura 42). No oeste há um apêndice formado por uma parede curva autoportante (figura 42). A fachada norte também é uma parede de vedação entre pilares e o contêiner, pode ser observada na figura 39.



Figura 41: Fachada sul da edificação. Pode-se observar o andaime de taquara, usado apenas para apoiar materiais. (Foto de arquivo pessoal)



Figura 42: Fachada oeste. Observa-se o canto com tocos intertravados e a porção curva. (Foto de arquivo pessoal)



### 8.1.3 Preparo da madeira

Como dito anteriormente, toda a madeira utilizada na alvenaria e na estrutura já estava presente no local como resíduo de construções anteriores. Para a alvenaria foram utilizados postes de luz antigos, constituídos de toras de eucaliptos. Antes do início da obra foi iniciado o corte em pedaços de 21 cm de comprimento, a largura da viga baldrame (dormentes). O corte foi realizado com uma motosserra de pequeno porte e se estendeu até o final da obra.

Diferente do que é recomendado pela literatura, o corte foi realizado com a madeira já extremamente seca, dificultando e prolongando em muito o processo. Além de remover rapidamente o fio e desgastar até o rompimento duas correias o motor também precisou de manutenção duas vezes.

Uma característica do eucalipto é que sua madeira desenvolve rachaduras que fogem do padrão de rachaduras radiais e tangenciais descritas no item 5.1. Sendo uma madeira dura, não é a mais indicada para a construção em cordwood, apresentando variabilidade volumétrica elevada. Para minimizar esta questão, após o corte, a madeira foi rachada nos pontos onde já apresentava fissura, formando peças menores, desta forma reduzindo o valor absoluto da retração. Na figura 43 pode-se observar a característica do cordwood resultante.

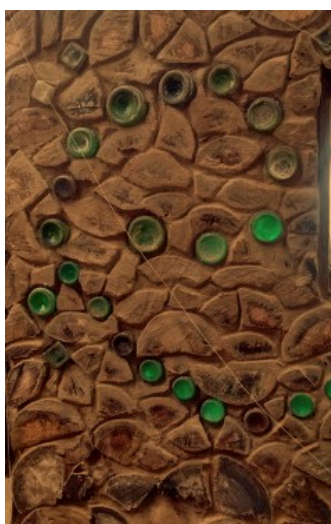


Figura 43: As paredes foram construídas quase integralmente com tocos rachados (Foto de arquivo pessoal)

A medida que iam sendo cortados e rachados os tocos eram armazenados no interior da edificação, sob o contêiner. Alguns tocos apresentavam partes apodrecidas, estas eram removidas ou os tocos eram descartados.

#### 8.1.4 Argamassa

Foi escolhida uma mistura composta por 3 partes de areia fina, 2 partes de cal hidráulica e 2 partes de serragem encharcada (dentro de um tonel). Em experiências anteriores no sítio, uma mistura a base de areia, cimento e cal, sem serragem, foi usada para assentar um pequeno painel de cordwood, sendo observada fissuração excessiva da argamassa.

A mistura foi feita com o auxílio de uma betoneira, primeiramente misturando a serragem encharcada (de molho na água por pelo menos 24h) com a cal hidráulica seguida da areia, até a obtenção de uma massa homogênea. Dependendo da umidade da areia, sequer era necessário adicionar água. Foi obtida uma argamassa com altíssima trabalhabilidade e tempo de cura superior a uma semana, o que promoveu uma janela ampla para realizar o apontamento da argamassa e reutilizar a argamassa caída no chão. A cura lenta garantida pela serragem encharcada é essencial para o sucesso da técnica, não se observou rachaduras na argamassa depois de seca. Na figura 44 pode-se observar a betoneira utilizada.



Figura 44: A betoneira utilizada e, à direita, um voluntário apontando a argamassa exterior (Foto de arquivo pessoal)

### 8.1.5 Garrafas e nichos

Foram adicionadas às paredes centenas de garrafas recolhidas de bares e restaurantes de Nova Petrópolis. Os rótulos foram removidos, as garrafas lavadas e assentadas deitadas com uma leve inclinação para cima, ou em pé aumentando a entrada de luminosidade e formando desenhos criativos, como pode-se observar na figura 45. Diferentemente do que é proposto na literatura, os gargalos das garrafas foram mantidos.



Figura 45: Garrafas em pé à esquerda e deitadas à direita (foto de arquivo pessoal)

Cordwood é uma técnica construtiva muito amigável a construtores sem experiência. Sua versatilidade fica evidente na construção de nichos e prateleiras embutidas, que podem ser observadas na figura 46. Para sua execução a alvenaria é assentada normalmente em torno de moldes que são posteriormente retirados.

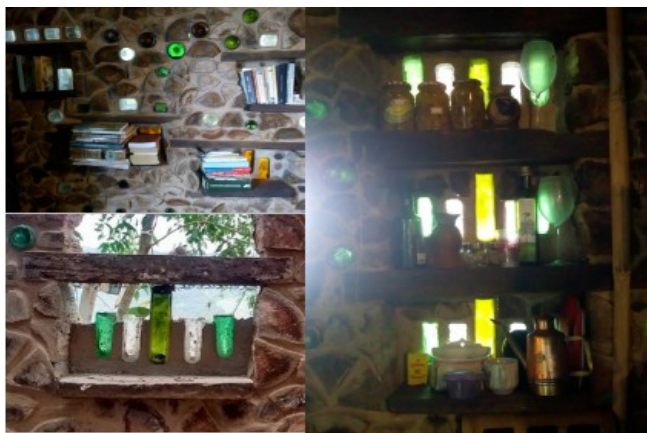


Figura 46: Dormentes serrados servem como verga para os nichos. No canto inferior esquerdo se observa o fundo sendo preenchido com garrafas e a mesma argamassa das paredes. (foto de arquivo pessoal)



### 8.1.6 Execução da alvenaria

Toda a alvenaria, com exceção do canto de tocos empilhados (executada por Rubin), foi assentada pelos voluntários que passaram pelo sítio. Na maior parte do tempo foram 5 voluntários, dois no turno da manhã, dois no turno da tarde e um em tempo integral. Em geral, em cada turno um dos voluntários era responsável pelo assentamento dos tocos e outro pela mistura da argamassa e por manter o primeiro abastecido com tocos, argamassa e isolamento (serragem), o voluntário em tempo integral era responsável por apontar a argamassa e preencher falhas. Na figura 47 pode-se observar o processo descrito. O prumo foi mantido com linhas esticadas ao longo da parede onde esta é reta e com um nível de bolha comprido na seção curva. Pode-se observar na imagem a lona que protegeu a construção das intempéries.



Figura 47: Rubin executando o canto, a alvenaria sendo erguida à medida que o canto subia e um voluntário apontando a argamassa no exterior. (Foto de arquivo pessoal)

### 8.1.7 Dificuldades e patologias

Como já mencionado, a maior dificuldade foi o corte da madeira. Esta já estava seca a mais de dez anos e o processo se estendeu ao longo de toda a obra, em alguns casos um corte podia levar até 5 minutos. Também vale ressaltar que a madeira foi tratada para seu uso original, como postes

de luz. É um tratamento bastante agressivo e certamente ainda está presente na madeira. A literatura não recomenda o uso de substâncias tóxicas para a preservação do cordwood.

Como é esperado em toda a construção de cordwood, a madeira secou e retraiu após a primeira temporada de calor, deixando frestas entre a madeira e a argamassa, pode-se observar na figura 48. Como a madeira estava armazenada ao relento e a argamassa de cal com serragem encharcada teve uma cura excepcionalmente prolongada, umedecendo a madeira, esta não estava excessivamente seca e, portanto, não expandiu após a argamassa secar. Ter rachado os tocos garantiu que, mesmo que deixem frestas, não fiquem soltos na parede, peças inteiras estão mais sujeitas a esse extremo.



Figura 48: Observam-se as frestas deixadas pela madeira que retraiu (Foto de arquivo pessoal)

Vale lembrar que a expansão da madeira é a patologia mais crítica, deslocando a estrutura e rachando a argamassa. Acontece, especialmente, com madeiras densas, como o eucalipto, excessi-

vamente secas. No caso, se a madeira, dura e já há muito tempo seca, estivesse bem-acondicionada, longe da chuva e da umidade, teria mais chances de estar demasiadamente seca e de expandir-se na parede, comprometendo a estrutura.

Rachar a madeira onde ela já apresentava fissuras também reduziu a incidência de rachaduras nos próprios tocos, mas estas não deixaram de ocorrer. A figura 49 apresenta esta patologia.

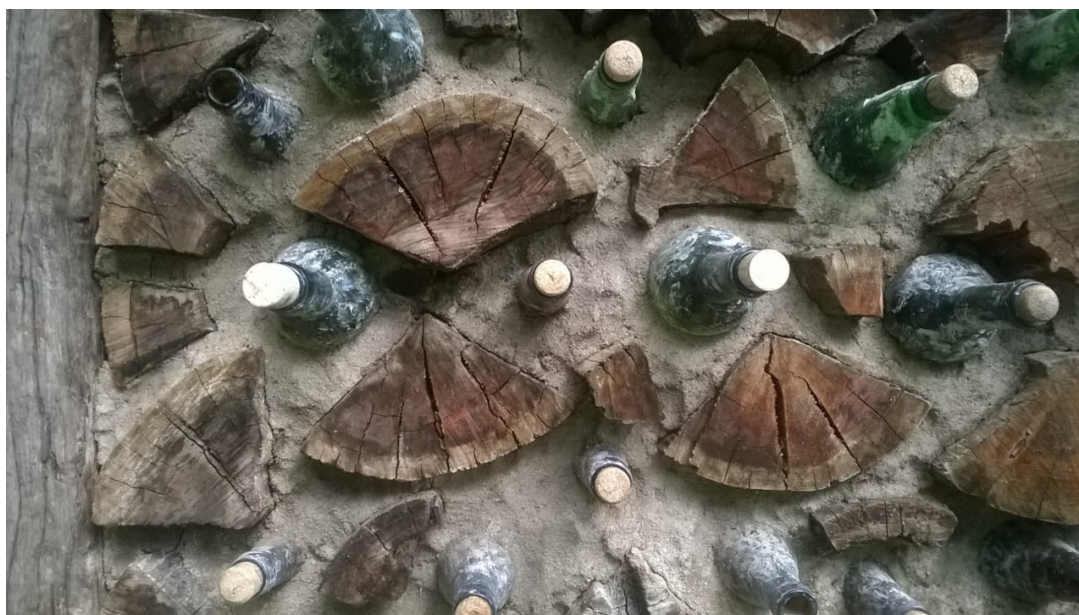


Figura 49: Uma seção que apresenta tocos rachados. As rachaduras não necessariamente são contínuas, até o outro lado da parede. (Foto de arquivo pessoal)

Também na figura 49, no canto superior esquerdo, pode-se observar uma garrafa sem tampa. Tomou-se o cuidado de fechar todas as centenas de garrafas para evitar a criação de um ambiente propício a insetos, mas com os gargalos expostos esta situação fica sujeita a ocorrer.

A literatura recomenda manter uma espessura constante da linha de argamassa, tanto pela estética quanto para facilitar o apontamento da argamassa. Essa recomendação não foi seguida, em alguns pontos os tocos chegam a se tocar. Isso ocorreu por descuido dos voluntários e, principalmente, pelo excesso de água na argamassa em algumas massadas, rendendo uma argamassa mole demais para manter uma linha espessa. A consequência disso foi trabalho extra no apontamento e no preenchimento de falhas, especialmente no exterior. Lembrando que, por todos os tocos serem rachados, formando peças pequenas, a quantidade de juntas a apontar foi elevada. Não seria esperado que um voluntário se dedicasse exclusivamente a esta função de acabamento se não fosse por essa somatória de fatores.



## 8.2 EM ELDORADO DO SUL

A experiência em Eldorado do Sul é consequência do estágio do aluno em Nova Petrópolis. O trabalho foi realizado na residência de um assentado da reforma agrária no Assentamento Apolônio de Carvalho. O assentamento se destaca na produção de arroz orgânico, sendo cerca de 600ha plantados em cooperativa, participando da maior safra de arroz orgânico da América Latina.

Apesar do sucesso do arroz, muitos assentados têm condições precárias de moradia. Era o caso de Dirceu Bordin. Em sua propriedade foi encontrado terreno fértil para desenvolver as estratégias de permacultura adquiridas em Nova Petrópolis.

Em Março de 2018, após uma forte tempestade, a residência que já era precária ficou inabitável. Foi o impulso necessário para aplicar também a construção em cordwood para reestruturar a residência. Nos meses de janeiro e fevereiro de 2019 foi executado o quarto apresentado na figura 50 e de maio a agosto de 2018 a cozinha apresentada na figura 51.



Figura 50: Exterior e interior do quarto. (Foto de arquivo pessoal)



Figura 51: Interior da cozinha. (Foto de arquivo pessoal)

Nas seções seguintes serão descritos etapas, processos e materiais utilizados.

### 8.2.1 Fundações

As fundações foram executadas em pedra grês (arenito) assentadas sobre solo firme com argamassa de cimento, formando alicerces de 30 cm de altura e 20 cm de largura. Em seguida foi realizado um contrapiso de cimento. Na figura 52 pode-se observar o processo na execução da cozinha. O quarto foi feito usando o mesmo procedimento.



Figura 52: Execução do alicerce e do contrapiso. À esquerda, na foto da direita, pode-se observar o banheiro preexistente. (Foto de arquivo pessoal)

### 8.2.2 Estrutura

Na figura 52 também pode-se observar a estrutura que suporta o telhado e ao redor da qual o cordwood foi executado. Na execução da cozinha o cordwood tem função de vedação de uma estrutura de vigas e pilares de eucalipto construída previamente.

O quarto foi construído com paredes autoportantes com cantos de tocos empilhados. Estes foram empilhados em filas duplas, conforme apresentado na figura 11. Na figura 53 pode-se observar esta estrutura em construção.



Figura 53: O canto foi executado com peças de 40 cm e 50 cm. (Foto de arquivo pessoal)

Não foram executadas vigas baldrame sobre os alicerces de pedra. Os próprios marcos das janelas e das portas se estendem por toda a parede, funcionando como contraventamento. Pode-se categorizar esta prática como construção em prateleiras. A execução da alvenaria por seções facilita manter o prumo da parede. Estas características podem ser observadas na figura 54.



Figura 54: Pode-se observar que a seção superior dos marcos são contínuos ao longo da parede, fornecendo contraventamento. (Foto de arquivo pessoal)

### 8.2.3 Madeiras

As madeiras da estrutura da cozinha são de eucaliptos adquiridos de vizinhos. As madeiras que compõem os marcos das portas são tábuas de eucaliptos que anteriormente eram um chiqueiro e tábuas de pinus compradas. A estrutura do telhado é de madeira serrada regular de eucalipto.

Para o cordwood foram coletados Pinus Elliotti nas redondezas. Alguns já estavam derrubados e amontoados, removidos para a execução de um canal de arroz em uma fazenda vizinha; outros estavam abandonados nas proximidades da cidade de Guaíba. Estes podem ser observados na figura 55. Apenas uma árvore precisou ser derrubada e esta já estava morta. Portanto, não foi necessário comprar nenhuma das peças de madeira que compõe a alvenaria.





Figura 55: O cordwood foi executado principalmente com madeiras abandonadas. (Foto de arquivo pessoal)

Após o transporte até o local, a madeira foi descascada, serrada com 20 cm de comprimento e seca ao sol por ao menos um mês, tanto na obra da cozinha como na do quarto. Destaca-se aqui a facilidade de cortar a madeira de Pinus em relação à experiência em Nova Petrópolis. Em apenas dois dias se cortou toda a madeira para a cozinha e em apenas um dia a do quarto. Além da maciez ser característica do Pinus a madeira estava secando por um curto período de tempo, de um a dois anos. A figura 56 mostra a madeira sendo serrada e ao fundo como foi disposta para secar.





Figura 56: Em poucas horas foi possível cortar toda a madeira. (Foto de arquivo pessoal)

Foi interessante notar uma característica muito positiva do cordwood. Tocos de todos os diâmetros podem ser usados, podendo assim aproveitar a árvore por inteiro, do tronco aos galhos mais finos. Diferente dos eucaliptos usados em Nova Petrópolis, que rachavam sozinhos ao serem cortados, o Pinus manteve-se inteiro e sem rachaduras. O cordwood neste caso se caracterizou, predominantemente, por peças redondas.

#### 8.2.4 Argamassa

A mistura de argamassa foi a mesma desenvolvida em Nova Petrópolis: 3 partes de areia, 2 de serragem encharcada (em sacos mergulhados em açudes) e 2 de cal hidráulica. Na cozinha foi utilizada areia grossa, exceto na última porção, e no quarto foi utilizada areia média. Não se notou diferença muito significativa na textura ou na trabalhabilidade, apenas na cor, como pode-se observar na figura 57.



Figura 57: Diferença de cor entre a argamassa com areia grossa (em baixo) e média (em cima). (Foto de arquivo pessoal)

Neste caso a mistura não foi feita com o auxílio de uma betoneira. A argamassa foi misturada em caixa, com enxadas. Além de ser mais cansativo, a homogeneidade da mistura fica mais sujeita a variações. Uma vantagem é o maior controle sobre a quantidade de água e ponto da argamassa, essencial para o sucesso da técnica. Na figura 58 pode-se observar a caixa utilizada.



Figura 58: Ao centro pode-se observar caixa onde a argamassa foi misturada. (Foto de arquivo pessoal)

### 8.2.5 Execução da alvenaria

Executada a fundação e a cobertura, no caso da cozinha, e estando as madeiras cortadas e secas, iniciou-se o assentamento dos tocos. Os tocos foram assentados sobre linhas duplas de 7 cm de argamassa e 6 cm de serragem seca entre estas. A serragem, além de economizar argamassa e servir como isolante térmico, no momento do assentamento dos tocos, especialmente as peças grandes, impede que a madeira esmague a argamassa ainda mole.

A alvenaria foi executada por apenas duas pessoas nos dois casos. O processo que foi se desenvolvendo e sendo aperfeiçoado ao longo da obra acabou sendo o seguinte: após a argamassa ser misturada pelas duas pessoas, uma foi desenvolvendo as linhas de argamassa e serragem e outra vai encaixando os tocos. Ao final do dia de trabalho ambos apontam a argamassa.

Outra característica que foi se desenvolvendo ao longo da obra foi a de manter uma altura constante da linha de argamassa, até como consequência do arranjo descrito no parágrafo anterior. A linha de argamassa mais espessa e constante facilita o apontamento e praticamente elimina falhas a preencher entre os tocos. Manter uma linha constante e espessa também melhora a higiene da parede, pois não se criam juntas inacessíveis entre os tocos. Na figura 59 pode-se observar a diferença entre a primeira parede executada, sem o cuidado de manter a espessura das juntas, e outra, onde foi tomado esse cuidado.



Figura 59: À esquerda juntas espessas, à direita juntas estreitas. (Foto de arquivo pessoal)

### 8.2.6 Dificuldades e patologias

A ausência de uma betoneira para misturar a argamassa foi um dos pontos negativos. O fato da madeira estar abandonada ao relento de um a dois anos antes do início da obra teve como consequência o apodrecimento de algumas delas, que foram removidas e usadas como adubo. Apesar desta seleção, foram usados alguns tocos que não apresentavam condições ideais de preservação, como pode ser observado na figura 60.



Figura 60: Deterioração causada por dois anos de abandono ao relento. (Foto de arquivo pessoal).

Após o corte a madeira foi empilhada para secar sob a cobertura de uma lona. Em um temporal a lona voou e os tocos receberam a precipitação, desenvolvendo manchas que podem ser observadas na figura 61. Apesar das manchas a madeira se manteve íntegra. A baixa resistência ao apodrecimento é uma característica da madeira de Pinus e o acondicionamento para a secagem e não foi o ideal.



Figura 61: Madeira manchada por receber chuva após o corte. (Foto de arquivo pessoal)



Como é esperado na construção em cordwood, e agravado pelo fato de, após o corte, a madeira ter ficado secando por apenas um mês (a literatura recomenda ao menos um ano para madeiras verdes após serem serradas na dimensão final), foi observado retração de alguns tocos após o primeiro verão. Na figura 62 pode-se observar a fresta entre a argamassa e a madeira, consequência da retração desta. Em alguns tocos a retração foi o suficiente para deixá-los frouxos dentro da argamassa. Manter os tocos redondos aumentou o risco de ocorrência desta patologia.



Figura 62: Fresta entre o toco e a argamassa devido à retração da madeira.  
(Foto de arquivo pessoal)

Considerando o diâmetro elevado dos tocos, o fato deles terem sido mantidos inteiros, o acondicionamento precário e o tempo de secagem insuficiente, a madeira de Pinus se comportou muito bem. A incidência de frestas entre a madeira e a argamassa foi menor do que em Nova Petrópolis, onde pode-se observar frestas em quase todos os tocos. Não a toa a literatura recomenda o uso de madeiras macias.

A expansão da madeira é uma patologia esperada quando se usa uma madeira densa e excessivamente seca. Pode-se observar na figura 63 um toco de eucalipto que expandiu, rachando a argamassa. Esse toco é uma madeira que já estava na propriedade há mais de 5 anos, portanto bastante seco. Felizmente é um caso isolado.



Figura 63: Rachaduras em torno de um toco que expandiu. As fissuras foram cobertas com argamassa. (Foto de arquivo pessoal)

Não foi utilizado nenhum produto para a preservar a madeira. Na figura 64 podem-se observar fungos que apareceram na madeira. Este mofo apareceu apenas neste ponto. Trata-se da parte de baixo de uma parede com orientação sul e cujo beiral que a protege tem apenas 10 cm (a literatura recomenda 40 cm). Sempre que chove, esta seção molha.



Figura 64: Mofo onde a parede recebe chuva não recebe insolação. (Foto de arquivo pessoal)

Outra situação fruto de falta de planejamento pode ser observada na figura 65. São garrafas que foram colocadas sem tampa na parede e acumularam água em seu interior. Posteriormente foram tampadas, mas a água ainda está ali. Mesmo com rolhas a água pode percolar ao interior das garrafas. Uma solução simples é encher as garrafas até o fim.



Figura 65: Água no interior das garrafas traz prejuízo estético e sanitário caso estejam destampadas. (Foto de arquivo pessoal)

Foram utilizados quadros para as janelas e portas de apenas 2,5 cm a 3 cm de espessura. Estes foram reforçados com guias centrais que foram envoltas pela argamassa, essas podem ser observados nas figuras 58 e 53. Com as guias evitou-se frestas entre os quadros e a argamassa. Na figura 66 pode-se observar a única janela cujo quadro não foi reforçado. A consequência é o aparecimento de uma fresta ao menor deslocamento do quadro.



Figura 66: Fresta que poderia ser evitada.  
(Foto de arquivo pessoal)

Os tocos só podem ficar com as faces alinhadas em um dos lados caso os tocos não sejam cortados perfeitamente. Com tocos tão grandes como os utilizados essa diferença fica evidente, como pode-se observar na figura 67. Apesar das protuberâncias a estabilidade é mantida pela argamassa, que é assentada mantendo o prumo.



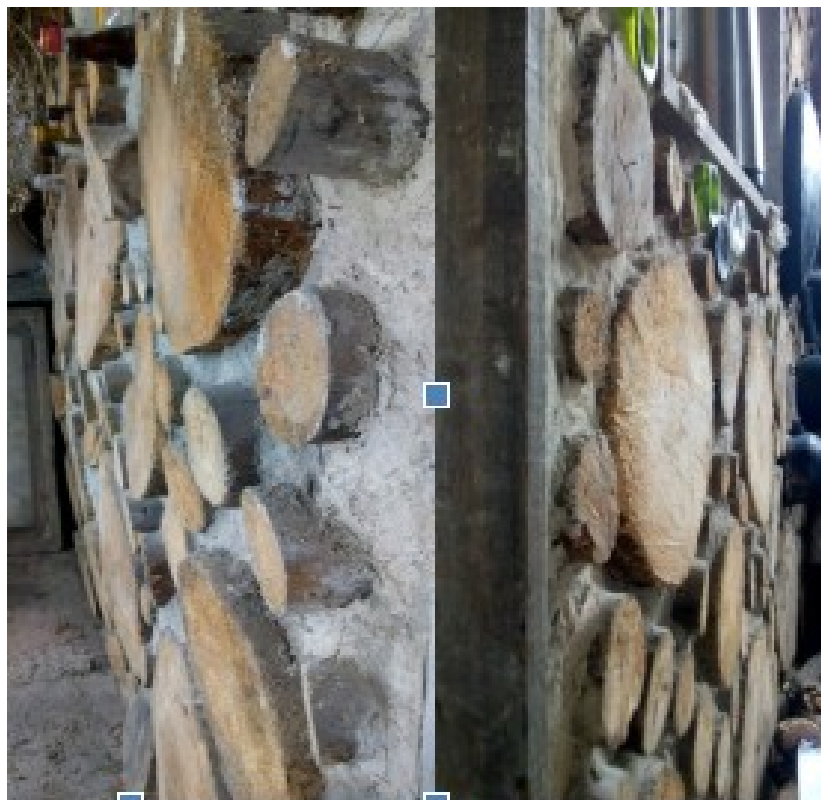


Figura 67: O exterior e o interior da mesma parede. Só um dos lados pode ficar alinhado. (Foto de arquivo pessoal)

## 9 COMPARAÇÃO COM PRINCÍPIOS DE SUSTENTABILIDADE

Neste capítulo será feita uma comparação dos princípios de sustentabilidade com aquilo que foi realizado e apresentado nas obras acompanhadas. O foco desta comparação será apenas a alvenaria em cordwood. Fundações, coberturas e todo o resto da edificação não serão analisados. Com base no resultado das comparações será apresentada uma proposta de cordwood que atenda de forma mais ampla e integral esses requisitos.

### 9.1 COMPARAÇÃO COM PRINCÍPIOS DE SUSTENTABILIDADE

A seguir serão apresentados os princípios de sustentabilidade escolhidos como parâmetros desta comparação e como eles foram aplicados no processo de concepção e execução da alvenaria em cordwood. A alvenaria em cordwood pode ser dividida em madeira, argamassa e isolamento.

#### 9.1.1 Gerenciamento racional dos recursos materiais

Quanto às madeiras, em Nova Petrópolis estas são de reuso; as utilizadas em Eldorado Sul são madeiras que haviam sido descartadas. A serragem utilizada como isolamento e que também

compõe a argamassa é um resíduo proveniente de serrarias em ambos os casos. Os elementos restantes da argamassa, cal hidráulica e areia, foram comprados regularmente em lojas de materiais de construção. Portanto, devido aos últimos dois itens, pode-se dizer que ambas as obras apenas conseguiram parcialmente realizar um gerenciamento racional dos recursos materiais

### 9.1.2 Redução de distâncias com transporte

A necessidade de reduzir as distâncias com transporte vêm da importância em se reduzir o consumo de energia e a poluição gerada pelos veículos que realizam esse serviço e também pelo saturamento da malha rodoviária brasileira. Nos quadros 1 e 2 são apresentadas as distâncias percorridas pelos materiais que compõe a alvenaria em ambos os casos. As distâncias percorridas pela areia e a cal hidráulica são a partir de seu local de fabricação, não dos pontos de venda. A distância percorrida pelos postes reutilizados em Nova Petrópolis é a partir de onde foram adquiridos e estavam estocados. As distâncias foram aferidas utilizando o Google Maps.

<b>DISTÂNCIA PERCORRIDA ATÉ NOVA PETRÓPOLIS</b>		
<b>MATERIAL</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>DISTÂNCIA (km)</b>
Madeira (postes)	Porto Alegre	85
Serragem	Nova Petrópolis	2
Areia	Porto Alegre	85
Cal Hidráulica	Caçapava do Sul	345

Quadro 1: Distância percorrida pelos materiais até a obra de Nova Petrópolis (elaborado pelo autor)

<b>DISTÂNCIA PERCORRIDA ATÉ ELDORADO DO SUL</b>		
<b>MATERIAL</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>DISTÂNCIA (km)</b>
Madeira abandonadas (50%)	Guaíba	21
Madeiras abandonadas (30%)	Eldorado do Sul	2,5
Pinheiro morto	Eldorado do Sul	2
Serragem	Eldorado do Sul	21
Areia	Porto Alegre	31
Cal Hidráulica	Caçapava do Sul	230

Quadro 2: Distância percorrida pelos materiais até a obra de Eldorado do Sul (elaborado pelo autor)

No primeiro quadro pode-se observar que todos os materiais, com exceção da serragem, percorreram uma distância longa até o local da obra, especialmente a cal hidráulica. Apesar de a madei-

ra ser de reuso, esta teve de percorrer uma longa distância até o local da obra. Este item não foi atendido neste caso

A situação em Eldorado do Sul foi um pouco melhor, mas, novamente, a longa distância percorrida pela cal hidráulica impede que este item seja integralmente atendido. No caso o item foi parcialmente atendido.

### **9.1.3 Utilização de materiais, recursos e mão de obra locais**

O uso de materiais, recursos e mão de obra locais colabora com a redução de distâncias e com o desenvolvimento da economia local e da região em que a obra se insere.

A obra de Nova Petrópolis foi desenvolvida por voluntários que vieram de diversas regiões do Brasil, porém o único trabalhador assalariado mora no próprio sítio. Quanto aos materiais, como visto anteriormente, a maioria deles percorreu uma longa distância. Logo, este item não foi atendido.

A obra desenvolvida em Eldorado do Sul usou mão de obra dos próprios moradores. A obra utilizou recursos locais, exceto pela cal hidráulica. Para este caso o item foi parcialmente atendido.

### **9.1.4 Redução de perdas**

O gerenciamento dos materiais e dos procedimentos que resulte em menos desperdício é um dos mais básicos conceitos de sustentabilidade.

Em ambos os casos as madeiras obtidas para as obras são de reuso. No caso de Eldorado do Sul a madeira que não pode ser utilizada foi aproveitada como cobertura de solo para os cultivos da propriedade. Em Nova Petrópolis isso não foi possível devido ao tratamento que os postes receberam para seu uso original. A serragem e as garrafas também são resíduos que foram reaproveitados nas obras

A argamassa utilizada em ambas as obras apresenta uma cura bastante lenta, portanto, com o piso mantido limpo, toda a argamassa caída pode ser reutilizada. Este foi um procedimento adotado.

Pode-se dizer que este item foi atendido em ambos os casos.

### **9.1.5 Utilização de produtos com baixo nível de industrialização**

A premissa que baseia este conceito é a de que produtos muito industrializados vão agregando fatores, valores e agentes de complexo controlem sua cadeia produtiva.

As obras não utilizaram materiais altamente industrializados em suas alvenarias. A cal hidráulica e a areia são provenientes de processos com baixo nível de industrialização e são bastante baratos. A madeira utilizada em Eldorado do Sul teve apenas o custo do transporte e a utilizada em Nova Petrópolis foi comprada em um lote por um valor acessível. Pode-se dizer que este item foi cumprido em ambos os casos.

### **9.1.6 Redução do uso excessivo de produtos à base de cimento**

O cimento vem sendo amplamente utilizado em todo o tipo de obra executada no país. O uso de forma irrestrita pode ocasionar exageros na aplicação deste material com alta energia embutida. Este conceito não nega as excepcionais propriedades do cimento, mas busca garantir que ele seja utilizado de forma responsável.

Não foi utilizado cimento nas alvenarias estudadas, mas, sim cal hidráulica, que tem propriedades e impactos ambientais associados similares. A cal hidráulica foi utilizada em quantidade significativa em ambos os casos, portanto esse item não foi cumprido.

### **9.1.7 Redução do uso excessivo de produtos a base de petróleo**

Além da geração de compostos voláteis e subprodutos químicos nocivos ao meio ambiente e às pessoas, existe uma discussão ampla sobre até quando as reservas deste bem vão durar e se a utilização desta matriz energética não trazem mais danos do que benefícios à população.

No caso de Eldorado do Sul não foram utilizados produtos provenientes do petróleo. Em Nova Petrópolis foi executado um box de banho entre as paredes de cordwood. Para isto a parede foi rebocada com a mesma argamassa de assentamento e foi aplicado um impermeabilizante, produto a base de petróleo. Este item foi parcialmente cumprido neste caso.

### **9.1.8 Não utilização de materiais tóxicos para a manutenção da edificação**

Este conceito visa preservar a saúde das pessoas, tanto a de operários no período de construção quanto a de moradores durante a ocupação.

Em ambos os casos não foi aplicado nenhum produto para a preservação da alvenaria, porém no caso de Nova Petrópolis a madeira foi tratada para seu uso original como postes de luz. Este é um tratamento muito agressivo e que não foi planejado para integrar o interior de uma edificação. Neste caso o item não foi cumprido.

### 9.1.9 Resumo dos resultados obtidos

As tabelas 3 e 4 apresentam os resultados obtidos das comparações realizadas para ambos os casos.

RESULTADOS DA COMPARAÇÃO COM PRESSUPOSTOS SUSTENTÁVEIS			
	NOVA PETRÓPOLIS		
	SIM	PARCIALMENTE	NÃO
GERENCIAMENTO RACIONAL DOS RECURSOS NATURAIS			
REDUÇÃO DE DISTÂNCIAS PERCORRIDAS COM TRANSPORTE			
UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS, RECURSOS E MÃO DE OBRA LOCAIS			
REDUÇÃO DE PERDAS			
UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS COM BAIXO CUSTO E NÍVEL DE INDUSTRIALIZAÇÃO			
REDUÇÃO DO USO EXCESSIVO DE PRODUTOS A BASE DE CIMENTO			
REDUÇÃO DO USO EXCESSIVO DE PRODUTOS A BASE DE PETRÓLEO			
NÃO UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS TÓXICOS PARA A CONSERVAÇÃO DA EDIFICAÇÃO			

Quadro 3: Resultados da comparação em Nova Petrópolis (elaborado pelo autor)

RESULTADOS DA COMPARAÇÃO COM PRESSUPOSTOS SUSTENTÁVEIS			
	ELDORADO DO SUL		
	SIM	PARCIALMENTE	NÃO
GERENCIAMENTO RACIONAL DOS RECURSOS NATURAIS			
REDUÇÃO DE DISTÂNCIAS PERCORRIDAS COM TRANSPORTE			
UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS, RECURSOS E MÃO DE OBRA LOCAIS			
REDUÇÃO DE PERDAS			
UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS COM BAIXO CUSTO E NÍVEL DE INDUSTRIALIZAÇÃO			
REDUÇÃO DO USO EXCESSIVO DE PRODUTOS A BASE DE CIMENTO			
REDUÇÃO DO USO EXCESSIVO DE PRODUTOS A BASE DE PETRÓLEO			
NÃO UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS TÓXICOS PARA A CONSERVAÇÃO DA EDIFICAÇÃO			

Quadro 4: Resultado da comparação em Eldorado do Sul (elaborado pelo autor)

Vale ressaltar que a utilização de uma argamassa estabilizada com cal hidráulica foi uma característica decisiva para o não cumprimento de alguns pressupostos sustentáveis. A escolha se justificou pela praticidade na obtenção de uma argamassa de preparo fácil e rápido e que se comportou de forma adequada. A técnica resultaria em um melhor desempenho ambiental se utilizasse uma argamassa de cob, porém esta escolha exigiria experiência com a técnica e mais trabalho para a confecção.

## 10 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O presente trabalho abordou o histórico do uso da técnica cordwood, citando os materiais e métodos recomendados pela bibliografia escrita por construtores experientes. Foi feita uma revisão a cerca de princípios de sustentabilidade e como eles podem se traduzir em objetivos aplicáveis à construção civil. Buscando contextualizar o cordwood ao contexto local, descreveram-se duas obras onde a técnica foi aplicada, explicitando os materiais aplicados, as práticas adotadas e as patologias encontradas. Finalmente comparou-se estes materiais e técnicas aos objetivos sustentáveis aplicáveis.

As patologias encontradas e descritas nos estudos de caso são de simples solução e foram todas consequência da não observância de procedimentos recomendados pela literatura, como o acondicionamento inadequado e tempo de secagem insuficiente da madeira e utilização de madeira dura e com altos índices de variação dimensional. Ainda que tenham sido negligenciados estes aspectos o resultado foi satisfatório e as manutenções a serem feitas não são diferentes das esperadas, mesmo em condições ideais.

A argamassa desenvolvida e aplicada nos dois casos estudados se comportou de forma muito satisfatória e foi de execução simples, composta por materiais facilmente disponíveis. As madeiras utilizadas nos dois casos são as com maior área plantada na silvicultura brasileira, estando também facilmente disponível no mercado. A madeira de Pinus mostrou comportamento superior à de Eucalipto, o que era esperado, por se tratar de uma madeira macia.

Assim, a alvenaria em cordwood se mostrou uma alternativa viável e acessível. Especialmente quando usada como vedação de estruturas, construída sob uma cobertura já instalada. O principal obstáculo para a difusão da técnica parece ser a necessidade de secagem dos tocos, o que requer tempo e um espaço adequado.

Quanto ao aspecto ambiental, a caracterização do cordwood como técnica mais sustentável depende da situação em que se insere. A origem da madeira e o tipo de argamassa utilizada definem este aspecto. Em ambos os casos de estudo foi utilizada uma argamassa estabilizada com cal hidráulica, material com elevada energia embutida e grandes impactos ambientais associados. A aplicação de argamassas de terra crua tem muito a somar para evolução deste aspecto. Para isto é necessário que os profissionais da construção civil a tenham em lugar-comum e que se desenvolvam tecnologias que tornem sua aplicação tão prática quanto as soluções mais difundidas.

## REFERÊNCIAS

- CIB e UNEP-IETC. Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: a discussion document. 2002. Pretoria, África do Sul: CSIR Building and Construction Technology
- FLATAU, R.; Stankevitz, A. **Cordwood and the Code: a Building Permit Guide**, 2005
- FLATAU, R. **Cordwood Construction Best Practices**, Cordwood Construction Resources, Estados Unidos, 2017
- GIBBERD, J. The sustainable building assessment tool: assessing how buildings can support sustainability in developing countries, **Built Environment Professions Convention**. 2002, p.11-14
- IBEIRO, L.S., **Caracterização de Resíduo da Indústria de Papel para Utilização como Material Geotécnico**, UFRGS, 2007
- IBGE, Diretoria de Pesquisas e Coordenação de Agropecuária, **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2017**, Brasil, 2017
- MOUTERD, R.; Morel, J. C.; Martinet, V.; Sallet, F., The mechanical performance of cordwood. **Biosystems Engineering**, Alemanha, v.108, p.237, 2011
- MÜLFARTH, R. C. K, **Arquitetura de Baixo Impacto Humano e Ambiental**, USP, São Paulo, 2002
- ROY, R, **Essential Cordwood Building-the complete step-by-step-guide**, New Society Publishers, Canadá, 2018
- ROY, R, **Cordwood Building, A Comprehensive guide to the State of the Art**, New society Publishers, Canadá, 2016
- SACHS, I, **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Studio Nobel, Fundação do Desenvolvimento Administrativo, 1993.
- SATTLER, M. A. **Habitação de baixo custo mais sustentáveis: a Casa Alvorada e o Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis**. Porto Alegre: ANTAC, 2007. Coleção Habitare, 8.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT-WCED, **Our Common Future**, 1987