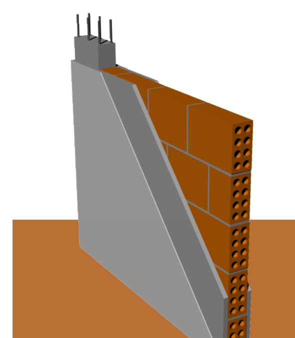


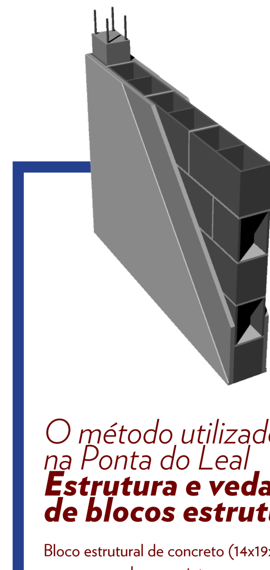
O método convencional
Estrutura de concreto e vedação cerâmica

Estrutura em concreto armado com vedação não portante de tijolos cerâmicos (9x19x19 cm), argamassa, reboco e pintura.

U=2,46 W/(m²K)
R=0,41 (m²K)/W
R'w=42 dB

A estrutura portante é responsável por cerca de 40% da energia incorporada e das emissões.

Os blocos cerâmicos cerâmicos são responsáveis por outros 28% da energia incorporada da parede e 24% das suas emissões, com o cimento das argamassas adicionando 12% da energia e 32% das emissões.

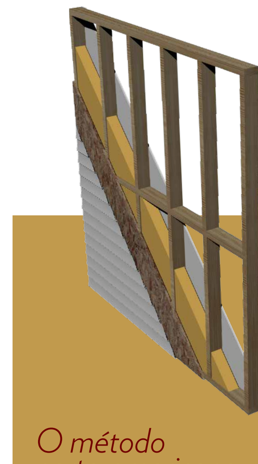


O método utilizado na Ponta do Leal
Estrutura e vedação de blocos estruturais

Bloco estrutural de concreto (14x19x39 cm), argamassa, reboco e pintura.

U=2,78 W/(m2K)
R=0,36 (m2K)/W
R'w=44 dB

Os blocos de concreto têm 42% da energia do sistema e geram 37% das emissões. O cimento das argamassas é responsável por 38% da energia incorporada e 49% das emissões.



O método norte-americano
Sistema Plataforma Light Wood Framing

Siding vinílico, OSB, lã de vidro e gesso acartonado num quadro de madeira serrada.

U=0,81 W/(m2K)
R=1,23 (m2K)/W
R'w=43 dB

A madeira serrada comporta 23% da energia incorporada no sistema e é responsável por 16% das emissões*. O OSB, por 25% da energia e 18% da poluição. O gesso, por 17 e 25%, o siding vinílico por 14 e 16% e a lã de vidro por 7 e 8%, respectivamente.

Para uma arquitetura um caminho mais eficiente, eficaz, efetiva.

Com esse trabalho tinha o objetivo de investigar e aprender um jeito possível de construir de forma mais sustentável hoje.

O desafio a que me propus foi o de avaliar o impacto de um projeto em construção e propor uma alternativa de menor impacto.

Trabalho de Conclusão de Curso
Bruno Wiethorn Rinaldi
Orientadora: ***Lisiane Librelotto***
Arquitetura & Urbanismo
Universidade Federal de Santa Catarina

Em resumo, um caminho para melhorar o jeito de construir:

As toneladas de cimento nos enormes volumes de concreto utilizados geram grandes quantidades de gás carbônico. Entre outras vantagens, **construir com estutura de madeira reflorestada de seções pequenas diminui consideravelmente as emissões.**

A vedação com tijolos queimados é um desperdício de energia. É uma parcela grande da construção e a mais fácil de substituir por uma alternativa de baixo impacto, que utilize materiais com poucos processos industriais envolvidos.

O fator produtivo é importante, uma das grandes razões da contínua utilização das técnicas convencionais. **A produção de paredes de argila-palha com formas permanentes de telas plásticas contribui para tornar essa alternativa viável.**

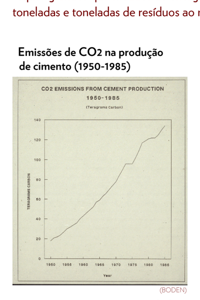
De maneira alguma quero sugerir que essa maneira é a mais sustentável. Mas sim, que é mais sustentável do que os jeitos usuais de construir.

Uma maneira de apurar o impacto ambiental

Impacto Ambiental da Construção Civil

A construção civil é responsável pelo consumo de 40% dos recursos materiais no mundo. A produção dos seus insumos requer grandes quantidades de energia e resulta na emissão de toneladas e toneladas de resíduos ao meio ambiente.

Emissões de CO2 na produção de cimento (1950-1985)



(BODEN)

1 teragrama = 1.000.000 toneladas

Os dados do gráfico ao lado não incluem a bolha construtiva que tomou conta do mundo nas duas décadas passadas. Isso não é sustentável, claro. **Mas como comparar alternativas?**

Instrumento Análise de Ciclo de Vida

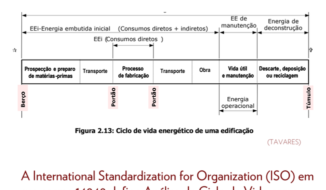


Figura 2.13: Ciclo de vida energético de uma edificação

(TAVARES)

A International Standardization for Organization (ISO) em sua norma 14040 define Análise de Ciclo de Vida como "compilação e avaliação de entradas e saídas (de matérias primas e recursos energéticos) e impactos ambientais potenciais de um produto através de seu ciclo de vida".

A energia embutida ou incorporada é a energia associada a todos os processos associados à construção de um edifício, da mineração aos processos industriais de manufatura. A energia operacional é aquela gasta durante a fase de uso, como na iluminação e aquecimento de ambientes.

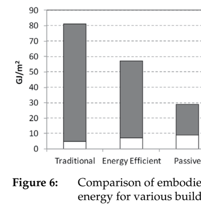
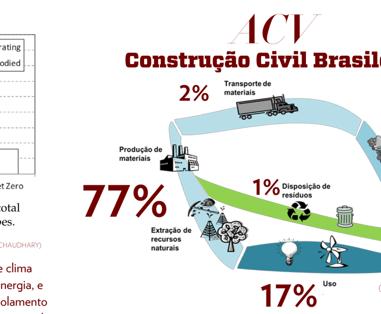


Figure 6: Comparison of embodied and total energy for various building types.

(CHAUDHARY)

A crise do petróleo dos anos 70 fez os países de clima temperado focar nas maneiras de economizar energia, e o principal jeito encontrado foi o aumento do isolamento térmico nas construções. Diminuir a energia operacional se tornou o principal foco da arquitetura eficiente.

ACV Construção Civil Brasileira



(INSTITUTO EKOS)

No Brasil, em grande parte pelo clima mais ameno que tem, a maior parte do impacto ambiental gerado pela construção civil se dá com a produção dos insumos utilizados.

Impacto Médio da Construção Civil Residencial Brasileira

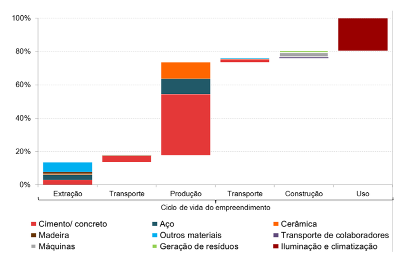
1 m² construído =
4,46GJ e 369kg CO_2e

= 1 lâmpada 20 w x 24 hrs x 7 dias x 52 semanas x 7 anos
= 1100 km rodados em um carro médio.

(TAVARES)

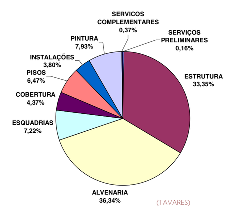
Por ano no Brasil são construídos 170.000.000 m2 residenciais.

Quais são as partes responsáveis pelos maiores impactos?



(INSTITUTO EKOS)

Distribuição percentual de Energia Incorporada por partes da edificação



(TAVARES)

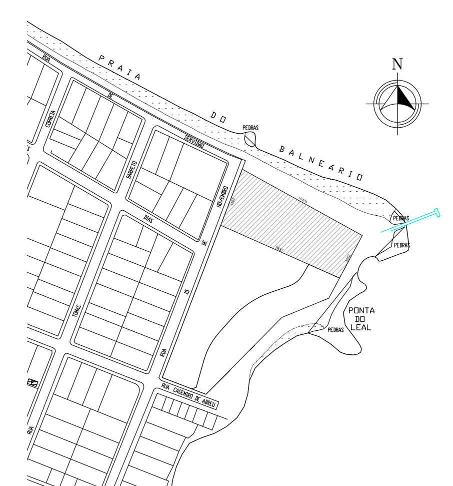
É claro que a sustentabilidade não pode ser reduzida somente a números, essa é mesmo uma das principais dificuldades que enfrenta.

Porém, mesmo que de forma simplificada, o cômputo das energias incorporadas e das emissões geradas na etapa berço-ao-portão (craddle-to-gate) **são boas referências para comparar os recursos utilizados e a poluição gerada pelos materiais e processos.**

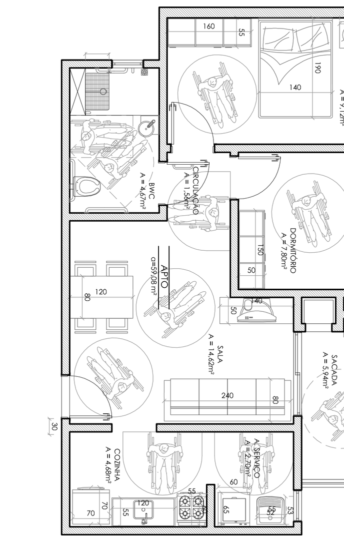
É claro que uma construção mais sustentável deve se extender à utilização de técnicas como ventilação cruzada, coleta de água da chuva, painel solar, etc. **Mas como *construir* espaços melhor?**

Projeto MCMV Ponta do Leal *em construção*

(PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS)

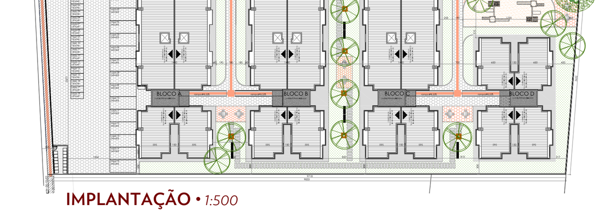


SITUAÇÃO • *1:2000*



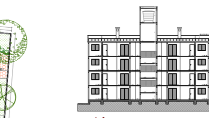
UNIDADE • *1:50*

O projeto Minha Casa Minha Vida (Faixa 1) da Ponta do Leal está atualmente em estágio final de obras.

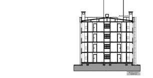


IMPLANTAÇÃO • *1:500*

S e N • *1:500*

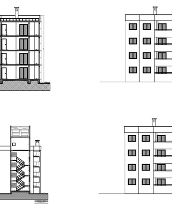


A' • *1:500*

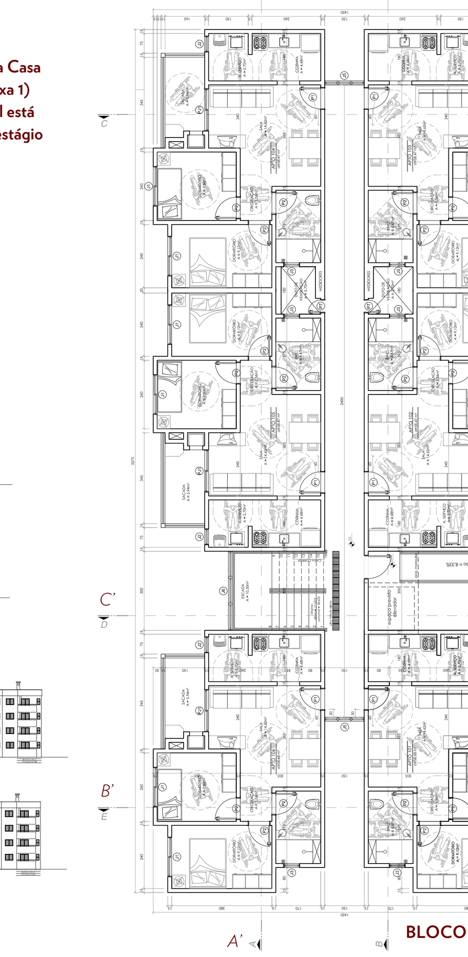


B' • *1:500*

C' • *1:500*



O e E • *1:500*



BLOCO • *1:100*

As Partes

O uso do sistema plataforma para a composição estrutural traz algumas grandes vantagens.

Pelo ponto de vista do impacto ambiental, permite a montagem de estruturas com o uso de peças de madeira de seção pequena, o que a torna muito prática para o uso de madeira de reflorestamento.

Além disso, é o sistema dominante nos EUA (estimativas apontam para o uso em mais de 90% das residências) e tem sido desenvolvido há algumas décadas. **De residências unifamiliares a prédios de até seis andares, muitos dos desafios já foram encontrados, superados e documentados.** Mesmo em Florianópolis é possível encontrar construtores equipados e educados para executar uma "casa americana".

A adaptação da parte estrutural à vedação com argila-palha traz benefícios: a madeira fica protegida da umidade pela argila e a argila-palha impede a propagação do fogo pelas paredes.

O tratamento do pinus com CCA, um componente bastante tóxico, é um aspecto a ser melhorado. Oferece, porém, durabilidade. As madeireiras locais oferecem garantia de 12, 15 anos; nos EUA chegou-se a oferecer garantia vitalícia. Em testes de campo, estacas de pinus foram fincada no chão. As não tratadas duraram dois anos enquanto as que foram imbuídas com CCA ou CCB passaram dos 30 anos.

+

A técnica chamada na Alemanha de *Leichtlehmbau* usa os mesmos ingredientes de receitas milenares: terra e palha, de uma maneira nova. É uma técnica difícil de ser enquadrada ou nomeada, razões que contribuem para sua relativa obscuridade até o momento.

É parente próximo da taipa de mão, no sentido de que depende de um sistema estrutural para a integridade da edificação. Como a taipa de pilão, porém, é feito com a ajuda de um sistema de formas (há também a possibilidade de fazer blocos). É um **sistema monolítico cuja integridade depende da coesão oferecida pela argila ajudada pelas fibras da palha.**

Com o uso da argila-palha não há a necessidade do saber fazer alvenaria, do esculpir da taipa de mão nem da compactação da taipa de pilão.

Sua produção fácil permite ganhos de eficiência e diminuição dos custos de mão-de-obra, que complementam os baixos custos de materiais envolvidos na construção com terra.

As duas grandes vantagens de construir com argila-palha são sua facilidade e rapidez. Isso se reflete no seu custo.

Além disso **tem boas propriedades térmicas e na sua elaboração permite que a densidade seja facilmente alterada, o que possibilita a parametrização das características de conforto das paredes.**

Além de agregar o material, a argila também contribui com sua propriedades higroscópicas. Tem uma umidade de equilíbrio mais baixa do que a palha ou a madeira. Assim, por capilaridade retira o vapor d'água desses materiais e libera para a atmosfera, ajudando a preservar os materiais orgânicos com que mantém contato. É essa propriedade que contribui para manter a integridade das estruturas enxaimel medievais. Mais, a argila não queima e torna o composto não-inflamável.

A palha dá volume à mistura da parede. Com os vazios criados por sua presença, é responsável pelo maior isolamento térmico desta técnica em relação às outras técnicas tradicionais de construção com terra.

É um material considerado resíduo agrícola, e seria destinado ao lixo. Em vez disso, é reutilizada com energia de processo quase nula (transporte). Em vez disso, é depositada como um sumidouro de carbono.

+

A argila-palha é usualmente produzida com pranchas como formas, fixadas a estrutura temporariamente. Essas podem ser retiradas depois de algumas horas quando a parede já tem coesão; e devem ser retiradas 24hrs depois para evitar a formação de mofo e permitir a secagem da parede.

Em climas mais frios em que paredes mais espessas são necessárias para maior resistência térmica, o tempo de secagem é talvez a maior desvantagem do método, requerindo até 2 ou 3 meses para uma parede de 30-35 cm secar. Isso deve acontecer antes da parede receber reboco. Este evita o alojamento de insetos na parede e garante a vedação do envelope.

O processo de fazer argila-palha é rápido e fácil, mas um dos gargalos de produtividade é o de colocar e tirar formas das seções de parede. Como a argila-palha precisa secar, uma forma perdida que possa aumentar a produtividade precisa permitir isso. As duas maneiras registradas tem contra si o custo: a primeira, fixação de ripas levemente espaçadas, pela mão de obra envolvida; a segunda, esteiras de junco, pelo custo do material. Apesar do custo, essas são ocasionalmente **utilizadas porque aumentam a produtividade da etapa de enformação.**

O uso de telas de plástico como forma permanente permite fazer isso de forma acessível.

Além disso, tem dois outros benefícios:

A argila-palha oferece boa adesão a rebocos de terra, mas a madeira da estrutura não oferece o mesmo. Usualmente, depois de preencher as paredes e tirar as formas, são adicionadas pontes de reboco sobre a madeira, na forma de telas plásticas ou metálicas, o que não se faz necessário quando toda a parede já está coberta pela tela plástica da forma.

O uso da tela também impede que a argila-palha deslize entre a estrutura. É comum usar ripas horizontais entre a estrutura no meio da parede para dar resistência mecânica. Não fazê-lo pode acelerar o processo do enquadramento estrutural e também o de enformação da argila-palha.

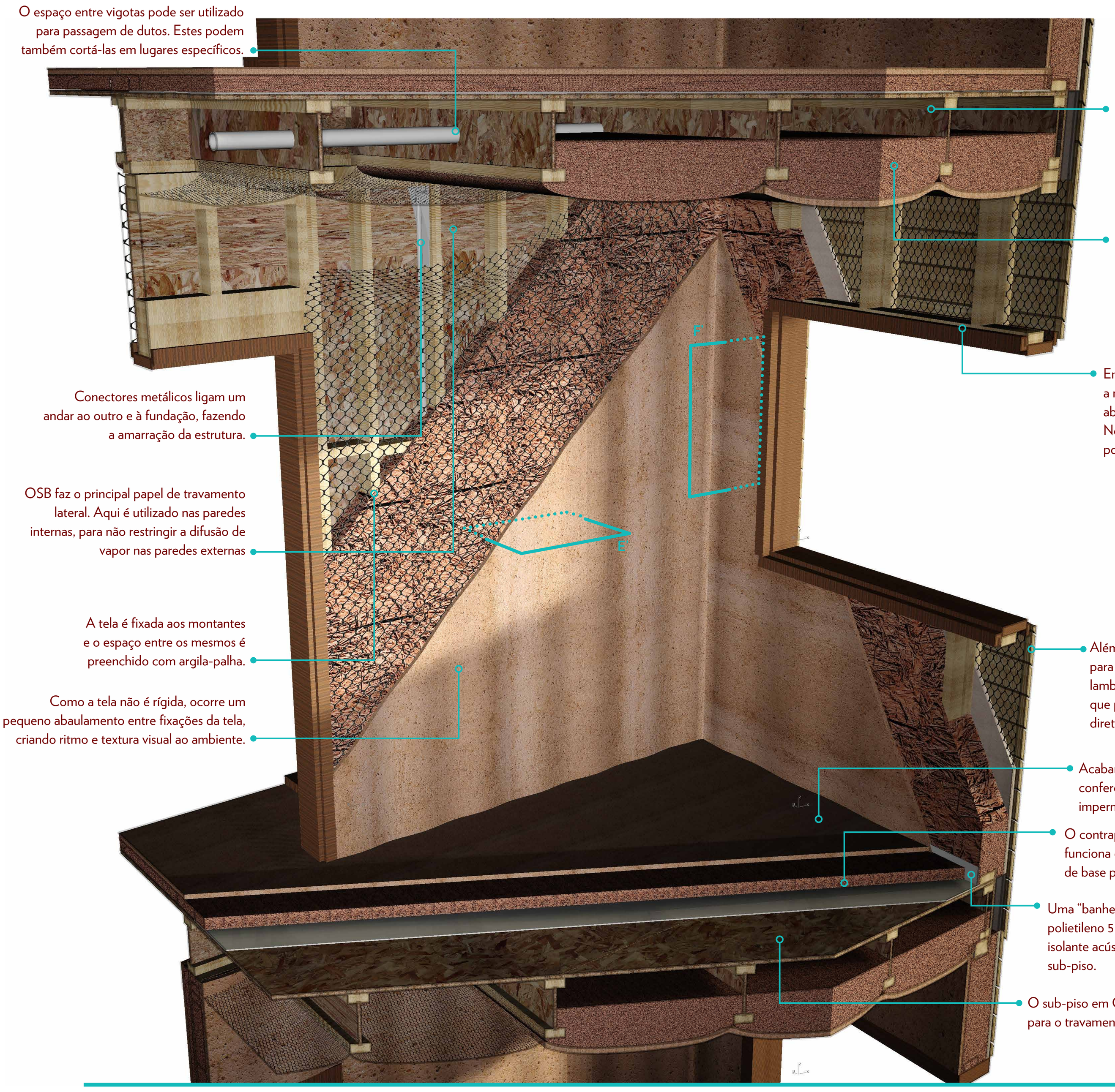
A não ser que sejam tomadas outras medidas, naturalmente, a tela tende a abaular com o preenchimento da argila-palha. Além de ser uma expressão direta da técnica construtiva e parte intrínseca desta, dá textura e detalhe à superfície gerada.

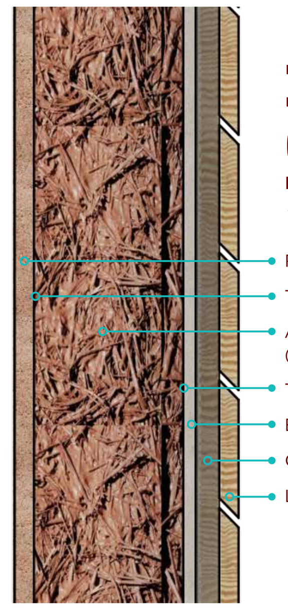
Como fazer uma parede com argila-palha

O processo de confecção da argila-palha pode ser sumarizado nos seguintes passos:

1. misturar a terra argilosa (>50% argila) com água à consistência adequada;
2. embeber a palha com o caldo argiloso, misturando para cobrir toda a palha com argila;
3. enformar a palha umedecida, pressionando para preenchimento uniforme;
4. rebocar

Esquema construtivo D' - SEÇÃO • *Perspectiva ~ 1:10*



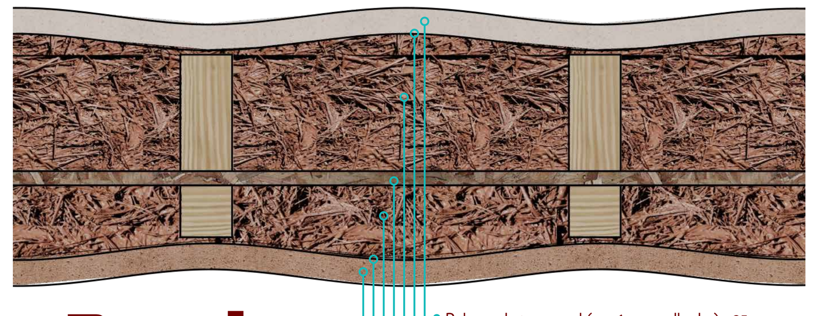


Parede externa
F' - CORTE • *1:2*

Vedação, não-portante.

- Reboco de terra - 25 mm
- Tela Plástica de PEAD - 5 mm
- Argila-Palha entre montantes - 130 mm (densidade: 300 kg/m3)
- Tela Plástica de PEAD - 5 mm
- Emboço de cal e terra - 10 mm
- Camada Ventilada - 20 mm
- Lambris de pinus tratado - 15 mm

U=0,66 W/(m²K)
R=1,51 (m²K)/W
R'w=40 dB

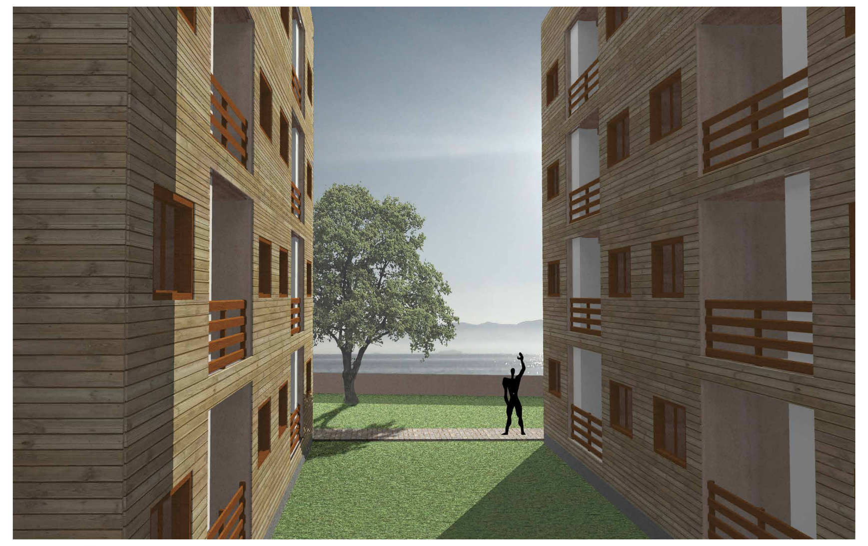


Parede interna
E' - PLANTA • *1:2*

Divisória interna, portante, travamento lateral

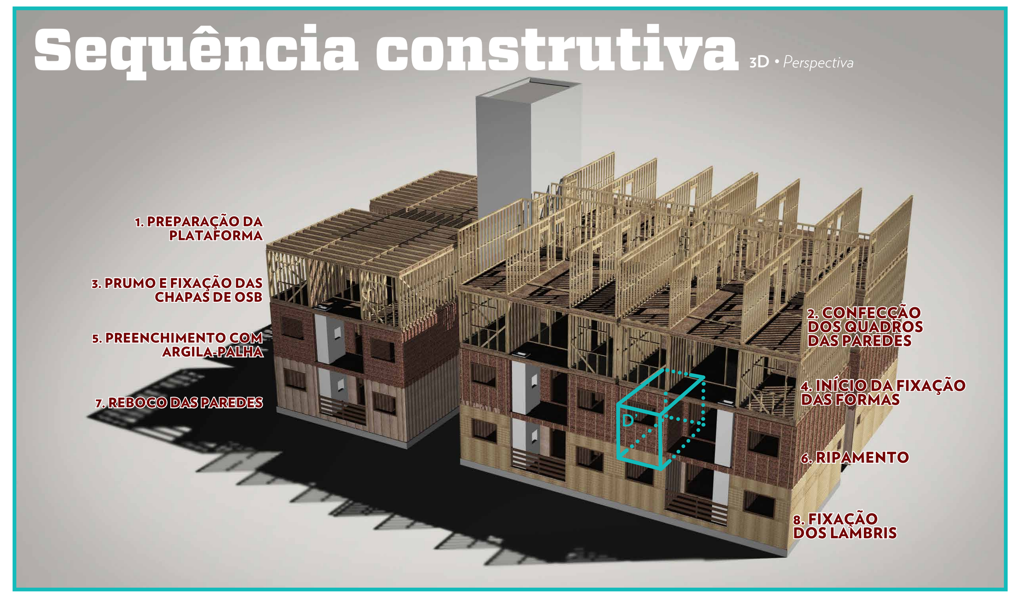
R'w = 46 dB

- Reboco de terra e cal (em áreas molhadas) - 25 mm
- Tela Plástica de PEAD - 5 mm
- Argila-Palha entre montantes - 90 mm (densidade: 1000 kg/m3)
- OSB - 17 mm
- Argila-Palha entre ripas - 40 mm (densidade: 1000 kg/m3)
- Tela Plástica de PEAD - 5 mm
- Reboco de terra - 25 mm



Vista externa 3D • *Perspectiva*
Vista interna 3D • *Perspectiva*

Sequência construtiva 3D • *Perspectiva*



Outras razões para aprender essa técnica construtiva:

- é bem mais leve que a estrutura de concreto convencional, diminuindo as cargas sobre as fundações e permitindo o uso de fundações de menores custo e impacto.
- essas menores cargas sobre o terreno tornam esse sistema uma boa alternativa para ocupações de encosta.
- como as paredes se comportam de maneira bem similar aos substratos tradicionais, a argila-palha é uma ótima técnica para restauração de patrimônio.

Normalização

Na Alemanha, o país com maior número de edificações com argila-palha (algumas centenas), a construção com argila-palha foi inclusa na norma *Lehmbau Regeln*, codificada em 1998 e revisada em 2008.

Nos Estados Unidos, o *International Code Council* incluiu um apêndice sobre a construção com argila-palha na última revisão do *International Residential Code*, de 2015.

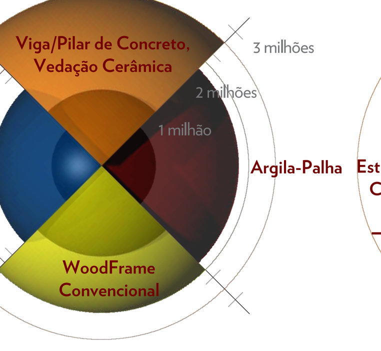
No Brasil, o Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT) publicou em 2011 a Diretriz No. 5, sobre "Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Wood Framing")". Essa cobre apenas construções térreas mas a expectativa é de que uma revisão contemple também edificações multi-pavimentos.

Comparações R$, E, CO_2

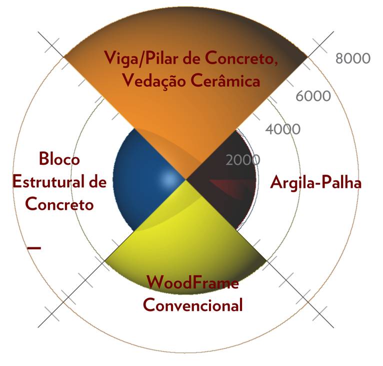
Estrutura + Vedações (Projeto Ponta do Leal)
não inclui o sistema de pisos/lajes

Para comparação, foram avaliados os sistemas portante e de vedação. Foram quantificados os materiais utilizados e seus impactos e a mão de obra requerida através de índices de produtividade de composições unitárias do TCPO e CraftsMan (equivalente americano); para a argila-palha, índices de produtividade da literatura da técnica. O banco de dados do Inventory of Carbon & Energy foi utilizado para os impactos.

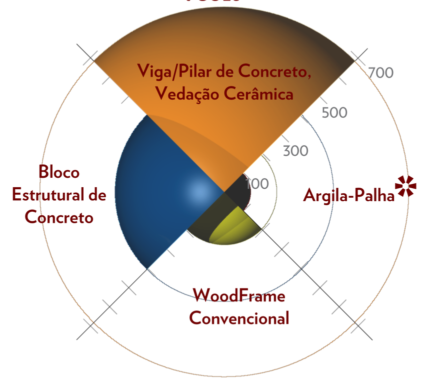
Custo
R$



Energia Incorporada
GJ



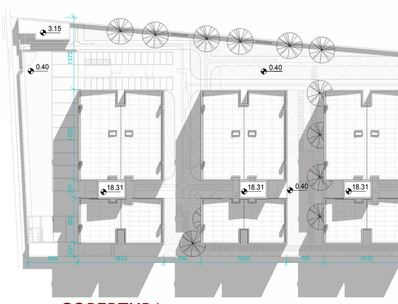
Emissões
t CO2e



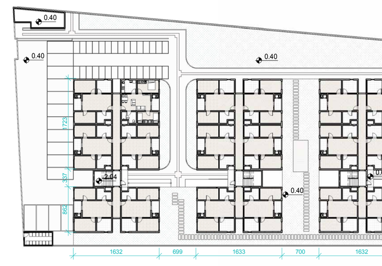
* As emissões ao lado são as envolvidas nos processos de produção dos materiais. Caso seja incluso a **reserva de carbono que acontece com o uso de material vegetal na estrutura e vedação (1,8 kg CO2 para cada kg de palha ou madeira utilizada)**, as emissões do WoodFrame são neutralizadas e o sistema proposto com **argila-palha se torna um sumidouro para 940 toneladas de dióxido de carbono.**

Nesse sistema plataforma com argila-palha, a madeira serrada é responsável por 47% da energia incorporada e 38% das emissões*. O OSB por 24% da energia e 21% da poluição. O polietileno tem 11 e 9%, respectivamente, enquanto a cal utilizada tem 3 e 11%.

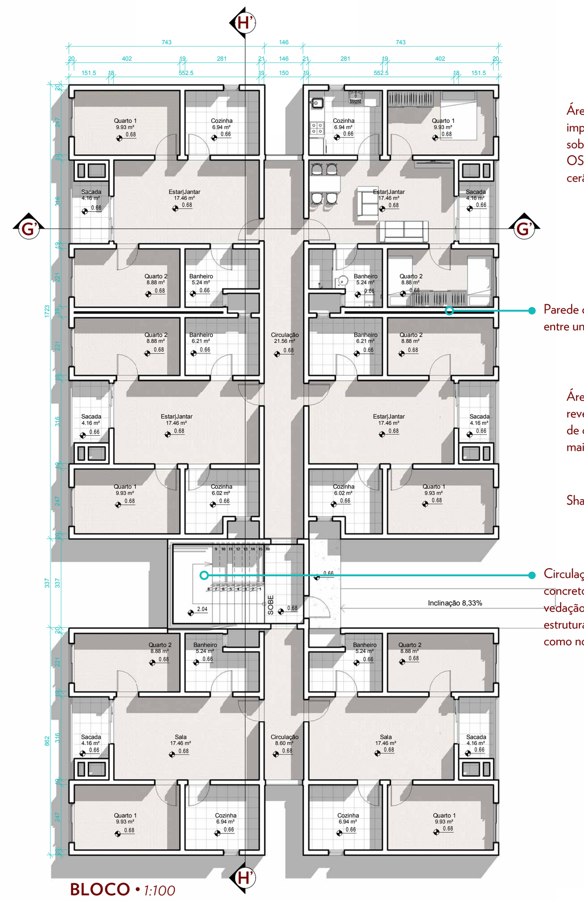
Projeto MCMV Ponta do Leal *versão menor impacto*



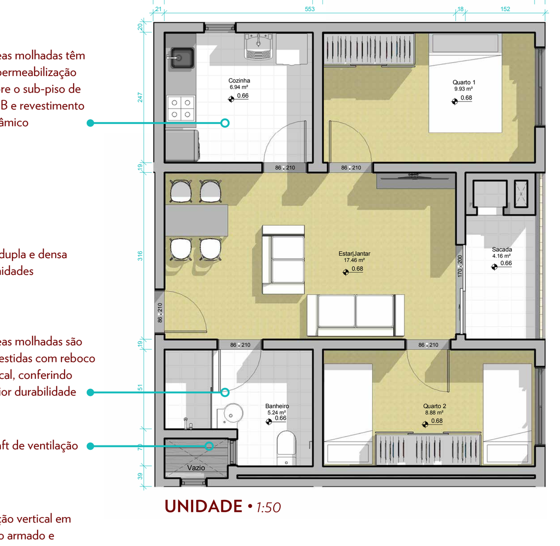
COBERTURA • *1:500*



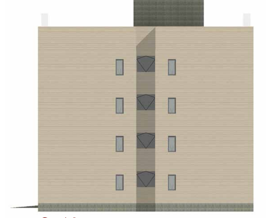
IMPLANTAÇÃO • *1:500*



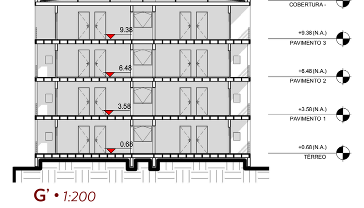
BLOCO • *1:100*



UNIDADE • *1:50*



S e N • *1:200*



G' • *1:200*

O e E • *1:200*

H' • *1:200*

Referências

ANGER, Romain, FONTAINE, Laetitia. **Grains de Bâtisseurs**.Grenoble: CRATerre-EAG.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2008.

_______. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

BARILLARI, C.T. **Durabilidade de Madeira do Gênero Pinus Tratada com Preservantes**: Avaliação em Campo de Apodrecimento. 2002. 68 p. – Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BODEN, T.A., G. Marland. **Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions**. Carbon Dioxide Information Analysis Center, U.S. Department of Energy, 2013

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil** (Sinapi): Preços de Referência para Insumos em Santa Catarina - Não Desonerado. Março/2016.

CHAUDHARY, M. T. A; PIRACHA, A. **Examining the role of structural engineers in green building ratings and sustainable development**. Australian Journal of Structural Engineering, Vol. 14, No. 3, pp. 217-228, 2013.

CONSTRUCTION MARKET DATA. **Rough Carpentry Cost Estimating Tips**. www.cmdgroup.com/smartbuildingindex/rough-carpentry/costs/, acesado em 17/maio/2016.

CUNHA, Viviane. **Madeira e sustentabilidade, como vai esta relação?** Revista Vitruvius 129.05 ano 11, fev. 2011.

DESIGN COALITION. **Engineering Report of Light Clay Specimens**. Madison: Forest Products Lab, 2004.

EKOS BRASIL. **Mudanças climáticas e Construção civil**. Palestra ministrada no Encontro de Sustentabilidade (ENSUS-Universidade Federal de Santa Catarina) em 18/abril/2016.

GAIA ARCHITECTS. **Light Earth Construction**: Draft Report for Milestone 5. Edinburgo, 2003.

HABITAT - United Nations Centre for Human Settlements. **Energy for Building - Improving Energy Efficiency in Construction and in the Production of Building Materials in Developing Countries**. Nairobi: ONU, 1991.

HAMMOND, Geoff; JONES, Greg. **Inventory of Carbon & Energy** Version 2.0. Bath: University of Bath, 2011.

HOUBEN, Hugo; GUILLAUD, Hubert. **Earth Construction**: A comprehensive guide. Grenoble: CRATerre-EAG/Practical Action Publishing, 1989.

INTERNATIONAL CODE COUNCIL. **Appendix R - Light Straw-Clay Construction**. Chicago, 2015.

LAPORTE, Paula-Baker; LAPORTE, Robert. **The Econest Home**. New Society Publishers, 2015.

LAWRENCE, M., SHEA, A., WALKER, P. and DE WILDE, P. **Hygrothermal performance of bio-based insulation materials**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Construction Materials, 166. p. 257-263, 2013.

LAWSON, Bill. **The NSW Good Wood Guide**. http://www.rainforestinfo.org.au/good_wood/contents.htm#anchor507935

MINISTÉRIO DAS CIDADES – SECRETARIA NACIONAL DE HABITAÇÃO - SNH. **Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos - DIRETRIZ SINAT No 005**: Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo "Light Wood Framing"). Brasília, 2011.

MINKE, Gernot. **Building with Earth**. Basiléia: Birkhauser, 2006.

PILTINGSRUD, Doug. **2011 Energy Fair: Light Straw/Clay Construction**. www.youtube.com/watch?v=5IVoSRskLyc, acessado em 9/dezembro/2015.

PRAY, Richard. **2013 National Construction Estimator**. Craftsman Book Company, 2012.

PREFEITURA DE FLORIANÓPOLIS - Secretaria Municipal de Habitação e Saneamento Ambiental. **Projeto Arquitetônico Conjunto Habitacional Multifamiliar: Residencial Ponta do Leal**. Florianópolis, 2014.

RIVERSTONE STUDIOS. **Riverstone Studios Straw Light Clay Building How to**. www.youtube.com/watch?v=lhZypnoeWyU, acesado em 2/dezembro/2015.

SOUZA, Rodrigo Vargas. **Aspectos ambientais e de custo de produção do Sistema Plataforma em madeira para habitação de interesse social**: estudo de caso em Florianópolis. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

TCPO, **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos**. - 13. ed. - São Paulo: Pini, 2008.

TÉCHNE. **Light wood frame - construções com estrutura leve de madeira**. http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/140/artigo287602-1.aspx, acesso em 27/março/2016.

VITA Construtora, **Orçamento Obra Residencial Ponta do Leal**. Floriaópolis, 2014.

VOLHARD, Franz. **Light Earth Building**: A Handbook for Building with Wood and Earth. Basiléia: Birkhauser, 2016.