

ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS DE PROJETOS PARA MELHORES DESEMPENHOS AMBIENTAIS EM UNIVERSIDADES NO SUL BAIANO

BIOCLIMATIC STRATEGIES OF PROJECTS FOR BETTER ENVIRONMENTAL PERFORMANCE IN UNIVERSITIES IN THE SOUTH OF BAHIA STATE

Cristiane Rabelo Santos 

Mestranda em Ciências e
Tecnologias Ambientais pela
Universidade Federal do Sul da
Bahia – Porto Seguro (BA), Brasil.

Endereço para correspondência:

Cristiane Rabelo Santos – Avenida
Beira Mar, 13.425, apto. 8, Praia
do Mutá – CEP 45810-000 –
Porto Seguro (BA), Brasil – E-mail:
cristianerabeloarq@gmail.com

Recebido em: 24/09/2019

Aceito em: 11/12/2019

RESUMO

Esta investigação visa apontar alternativas para melhor desempenho ambiental de instituições de ensino, baseadas nos princípios da ecologia industrial, da infraestrutura verde e da arquitetura bioclimática. Com base na Revisão de literatura técnica e em visitas de campo, foram elaboradas propostas voltadas às necessidades levantadas no diagnóstico sistêmico do campus Sosígenes Costa da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), em Porto Seguro. O objetivo deste trabalho é recomendar soluções para projetos que proporcionem melhor eficiência energética das edificações, alternando as fontes convencionais de energia elétrica para as fontes de energia mais limpa para reduzir os custos operacionais do campus, com base em sistemas de ventilação naturais e de soluções arquitetônicas desenvolvidas segundo a bioclimatologia local e os parâmetros de conforto ambiental, os quais são focados na melhoria da capacidade de aprendizagem nos ambientes de ensino. Ações foram propostas com o objetivo de contribuir para a redução de impactos e de custos nas instituições de ensino e tornar suas sedes exemplos que aproximam as pessoas da sustentabilidade.

Palavras-chave: conforto ambiental; *ecodesign*; ecoeficiência; infraestrutura verde.

ABSTRACT

This research aims to point out alternatives of better environmental performance for educational institutions based on the principles of industrial ecology, green infrastructure and bioclimatic architecture. Based on the Technical Literature Review and field visits, proposals were prepared to address the needs raised in the systemic diagnosis of the UFSB Sosígenes Costa campus in Porto Seguro. The aim of this paper is to recommend design solutions that provide better building energy efficiency by switching from conventional to cleaner energy sources to reduce campus operating costs, from natural ventilation systems and architectural solutions developed from local bioclimatology and environmental comfort parameters focused on improving learning capacity in teaching environments. Actions were proposed with the objective of contributing to the reduction of impacts and costs in educational institutions, making their headquarters into examples that bring people closer to sustainability.

Keywords: environmental comfort; *ecodesign*; ecoefficiency; green infrastructure.

INTRODUÇÃO

Nos processos construtivos, as emissões de GEE estão associadas à especificação dos materiais e equipamentos utilizados na construção, à extração das matérias-primas, aos processos de fabricação dos materiais, à energia utilizada durante o ciclo de vida da obra, à operação e à manutenção das edificações e às disposições finais dos descartes e dos transportes dos materiais (BESSA, 2010).

Construções agravam a emissão de GEE provocando danos à saúde humana e ao meio ambiente, por utilizarem processos de produção, desde a fase de projetos até a operação das edificações, que priorizam o uso de equipamentos poluentes, emissores de GEE, como por exemplo, compostos de carbono, cloro e flúor (CFC's), liberados por equipamentos de ar condicionado, além dos processos e atividades que liberam o gás metano (CH₄), decorrentes dos descartes realizados durante a obra e a operação do edifício. As intervenções humanas que geram grandes impactos negativos estão baseadas na extração de matérias-primas que esgotam a natureza sem renová-la, nas impermeabilizações do solo natural em larga escala, na gestão de materiais que não evita emissão de GEE, na especificação de equipamentos poluentes e na geração de desperdícios e descartes tóxicos.

A abordagem da bioclimatologia aplicada à arquitetura na publicação *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism* (OLGYAY, 1973) define princípios da arquitetura bioclimática que foram aprofundados por diversos autores nas décadas seguintes, estendendo o entendimento sobre conforto térmico humano e criando a expressão "Projeto Bioclimático". No fim da década de 1960, foi publicada a Carta Bioclimática "Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines" (GIVONI, 1992), que retrata graficamente a zona de conforto térmico, segundo o método de Givoni (1992), por meio de uma carta psicométrica resultante de desdobramento conceitual do diagrama idealizado por Olgyay. As cartas bioclimáticas tornaram-se instrumentos para realização de projetos.

No Brasil, o grau de desperdícios é elevado, tanto em relação a materiais quanto a mão de obra, pois são calculadas perdas financeiras em materiais que representam 8% do valor da construção, e as perdas alcançam até 30% quando são contabilizados os custos com

retrabalhos realizados na execução dos serviços (USP, 2018). Os desperdícios associados ao modo de usar e de operar o edifício com baixos índices de eficiência energética e os usos ineficientes da água têm provocado impactos ambientais e econômicos em diversas instituições, comprometendo a saúde e a qualidade de vida das pessoas. Ao analisar o contexto brasileiro, constata-se que aparelhos de ar-condicionado são instalados na maioria das edificações construídas em cidades quentes, de maneira independente da localização oferecer ou não condições favoráveis de ventilação, como é o caso da costado descobrimento do Brasil no sul baiano, que apresenta ventilações predominantes nas direções nordeste, leste, sudeste, sul e sudoeste. Em diversas edificações das cidades litorâneas brasileiras, essas brisas do mar não são aproveitadas para amenizar a sensação de calor nos ambientes internos, o que os tornam dependentes do uso do ar condicionado para proporcionar condições de conforto ambiental aos usuários. Em locais quentes e úmidos, como Porto Seguro, é estratégico considerar a possibilidade de flexibilizar ou evitar o uso de sistemas ativos de refrigeração artificial, substituindo-os por sistemas passivos de ventilação natural.

A arquitetura bioclimática está baseada no bioclimatismo, como princípio de concepção da arquitetura que utiliza elementos climáticos favoráveis por meio dela própria com o objetivo de satisfazer ao bem-estar higrotérmico (BOGO *et al.*, 1994), contribuindo para melhorar o desempenho ambiental da edificação com maior eficiência energética. No Brasil, podem ser visitadas obras de referência internacional baseadas nos princípios da bioclimatologia, os quais foram incorporados nos projetos desenvolvidos pelo arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé) para os hospitais da rede Sarah Kubitscheck nas cidades de Belém, Belo Horizonte, Brasília, Fortaleza, Macapá, Salvador, São Luís e Rio de Janeiro. Esses hospitais foram concebidos para funcionar predominantemente sem o uso do ar-condicionado, com exceção de ambientes específicos para atender às necessidades locais. No contexto das universidades, um dos exemplos de destaque inclui o projeto arquitetônico da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (USP) de autoria do arquiteto João Baptista Vilanova Artigas, que concebeu espaços de ensino e aprendizagem sem ar condicionado,

adaptados ao clima local, conforme princípios da arquitetura bioclimática. Na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da USP são aplicadas como estratégias de projeto sistemas de iluminação e ventilação natural que proporcionam temperaturas amenas nos ambientes internos, adequando-os às condições da zona de conforto ambiental conceituada por Givoni (1992) e adaptada para climas tropicais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2016).

Nos processos de projetos e obras, as escolhas e especificações de materiais e os sistemas construtivos possuem papel decisivo para o desempenho do edifício, pois podem contribuir para minimizar a emissão de poluentes e os impactos provenientes de: processos construtivos, materiais utilizados na construção civil, aquisição de energia elétrica, descartes de materiais e consumo de combustíveis fósseis, sendo necessário avaliar as escolhas desses processos para atingir as metas globais pactuadas de redução dos GEE registradas em acordos internacionais. Os projetos de baixo impacto integrado direcionam o empreendimento para o alcance de melhorias do desempenho ambiental desde a fase inicial dos estudos preliminares, orientando-o para: conservação dos recursos naturais, conforto ambiental, maior eficiência energética das edificações, redução de emissão de poluentes como os gases CFCs, liberados por equipamentos de ar condicionado, redução das ilhas de calor, redução dos custos, preservação

da biodiversidade, e melhores condições de saúde e de qualidade de vida.

Com o objetivo de contribuir para a conservação dos recursos ambientais no contexto das universidades, são pesquisadas alternativas para a infraestrutura dos espaços de ensino com impactos reduzidos que preservem a maior permeabilidade possível do solo natural, considerando os ecossistemas, as requalificações bioclimáticas das edificações, o reaproveitamento das águas, os usos racionais da edificação, a água e a energia. Esta pesquisa busca responder como projetar um ambiente de ensino que seja exemplo para reduzir impactos negativos nas dimensões social, ambiental, econômica e ecossistêmica, ou seja, impactos integrados no sul baiano.

A pesquisa foi estruturada com base na pesquisa de campo sobre boas práticas de baixo impacto ambiental em universidades brasileiras e alemãs, o que resultou em um conjunto de ações propostas com o intuito de contribuir para que os espaços de ensino sejam mais ecoeficientes por meio do uso de fontes alternativas de energia e de ações que evitem desperdícios. O artigo está estruturado em dois subitens: Método e Resultados e Discussão. Na segunda parte são apresentados exemplos de referência, separados por princípio, em três grupos: Ecologia Industrial/ Economia Circular, Infraestrutura Verde e Bioclimatologia aplicada à Arquitetura e Urbanismo.

MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas, na primeira, foi adotado o método da revisão de literatura técnica sobre os princípios relacionados à ecologia industrial, à ecoeficiência e à bioclimatologia aplicada à arquitetura e ao urbanismo. Como resultado da primeira etapa, foram selecionados estudos de caso para serem visitados no Brasil e na Alemanha. Na segunda etapa, foram realizadas as visitas técnicas e entrevistas com professores e alunos das universidades que apresentaram elevados níveis de desempenho ambiental em suas sedes, com foco no bem-estar do usuário, no conforto ambiental e na eficiência energética. Na terceira etapa, foi elaborado o Plano de Ações de Baixo Impacto Integrado aplicável ao Sul da Bahia,

baseado no diagnóstico sistêmico da área de estudo, o Campus Sosígenes Costa (CSC) da UFSB, e na análise crítica sobre as boas práticas visitadas.

Na etapa 1, foram analisados os princípios da Ecologia Industrial e da Ecoeficiência por meio de redes de conhecimento como a Alianza de Redes Iberoamericanas de Universidades por la Sustentabilidad y el Ambiente ARIUSA, o Portal de periódicos Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e repositórios institucionais. Por meio da rede de conhecimento ARIUSA, são compartilhadas lições aprendidas nas universidades em rede, o que facilitou a sistematização das boas práticas e a análise crítica.

Princípios

O projeto de implantação de um campus universitário pode preservar a permeabilidade natural do solo ou pode impermeabilizar grandes áreas. A escolha feita poderá gerar desmatamentos maiores ou menores, o que irá acentuar ou reduzir a emissão dos GEE, o aquecimento global entre outros impactos que ameaçam a escassez dos recursos naturais. Um dos meios de contribuir para a melhoria do desempenho ambiental dos espaços físicos é revisar o modo de projetá-los desde a concepção. Para identificar alternativas de baixo impacto, foram pesquisados os seguintes princípios:

- Economia circular/ecologia industrial: a economia circular é conceituada como modelo econômico que promove a renovação dos recursos no uso de materiais e de energia (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2014). Nesse conceito, é evidenciada a lógica de evitar perdas e desperdícios baseada nos princípios da ecologia industrial, pois, na natureza, um ecossistema aproveita a energia do outro, modo diferente da economia linear, em que as sobras são simplesmente descartadas;
- Infraestrutura verde: a infraestrutura verde é considerada uma ferramenta de conservação, de restauração e de manutenção dos sistemas de funções naturais, capaz de “proporcionar benefícios ecossistêmicos, econômicos e sociais” (BENEDICT; MCMAHON, 2006, p. 01). A análise sobre a ecoefi-

Conforto ambiental

O conforto térmico humano em um ambiente sofre impacto direto em função de fatores como: temperatura média do ar, taxa de umidade relativa do ar, ventos e radiação solar, além das variáveis individuais que incluem metabolismo, vestimentas entre outros fatores.

- Zoneamento bioclimático: o Brasil está dividido em oito regiões bioclimáticas conforme ilustra a Figura 1A, que mostra o sul baiano inserido na zona bioclimática 8. A Carta Bioclimática de Givoni (1992), adaptada por Lamberts, Dutra e Pereira (2016), representa as condições que caracterizam a zona de conforto e as possíveis estratégias para proporcionar conforto ambiental na edificação. Conforme a carta, a sensação de conforto é alcançada na zona de conforto ambiental, que é representada graficamente na carta e relaciona: temperaturas medidas

ciência aborda princípios relacionados à economia circular com base em conceitos oriundos da ecologia industrial e em princípios da bioclimatologia aplicada à arquitetura e ao urbanismo;

- Bioclimatologia aplicada à arquitetura e ao urbanismo: a arquitetura bioclimática envolve estratégias de projetos baseadas em uma arquitetura passiva, que aproveita e potencializa o uso da iluminação e da ventilação naturais, proporcionando ambientes saudáveis e agradáveis. Com base na análise dos parâmetros de conforto e da aplicação das estratégias bioclimáticas, os espaços físicos podem ser adaptados ao clima, proporcionando conforto ambiental na edificação, baseado no estudo das variáveis de conforto locais. O projeto bioclimático, associado ao uso de fontes alternativas de energia, ao reaproveitamento de recursos naturais e ao uso racional de água e energia, é um dos instrumentos que pode ser aprimorado pelos projetistas para o alcance de melhores desempenhos ambientais das edificações. O projeto bioclimático em climas tropicais quentes pode elevar os índices de eficiência energética do empreendimento, com base no máximo aproveitamento das ventilações predominantes associado aos projetos adequados de esquadrias e de sistemas de iluminações naturais nos espaços construídos.

em bulbo seco e em bulbo úmido, taxas de umidade relativa do ar e massa de vapor (g/kg) para definir a zona de conforto e seus limites;

- Estratégias bioclimáticas de projeto: o Hospital Sarah Kubitscheck, em Salvador, dispensa a climatização artificial na maior parte da edificação, pois apresenta estratégias bioclimáticas como: galerias de ar, átrios (pátios centrais vazados), Shed's (elementos de cobertura ilustrados na Figura 1B e amplas esquadrias, o que permite: renovação constante de ar, convecção de ar de baixo para cima e retirada do ar quente do edifício, proporcionando temperaturas internas adequadas à zona de conforto ambiental. De forma predominante, a edificação apresenta sistemas de ventilação e de iluminação naturais, com exceção do centro cirúrgico e dos

setores de imagem, que possuem sistemas mecanizados de refrigeração por causa do controle rigoroso de temperatura, umidade e pressão exigidos em função dos procedimentos e equipamentos;

- Parâmetros de conforto ambiental: os parâmetros que relacionam temperatura, umidade e o índice de qualidade do ar impactam de modo direto a capacidade de aprendizagem. Universidades visitadas, como a Freie Universität Berlin, instalaram aparelhos medidores da qualidade do ar nos ambientes de ensino e aprendizagem.
- Índice de temperatura e umidade (ITU): ITU é um índice que relaciona temperatura e umidade, impactando a sensação de conforto humano por ser importante avaliador do bem-estar para o verão que interfere na capacidade cognitiva (GRIMM, 2018). No Brasil, é recomendável manter temperaturas médias nos ambientes de ensino e aprendizagem em torno de 25°C e taxas de umidade relativa do ar em torno de 50%, não devendo ser inferior a 30%

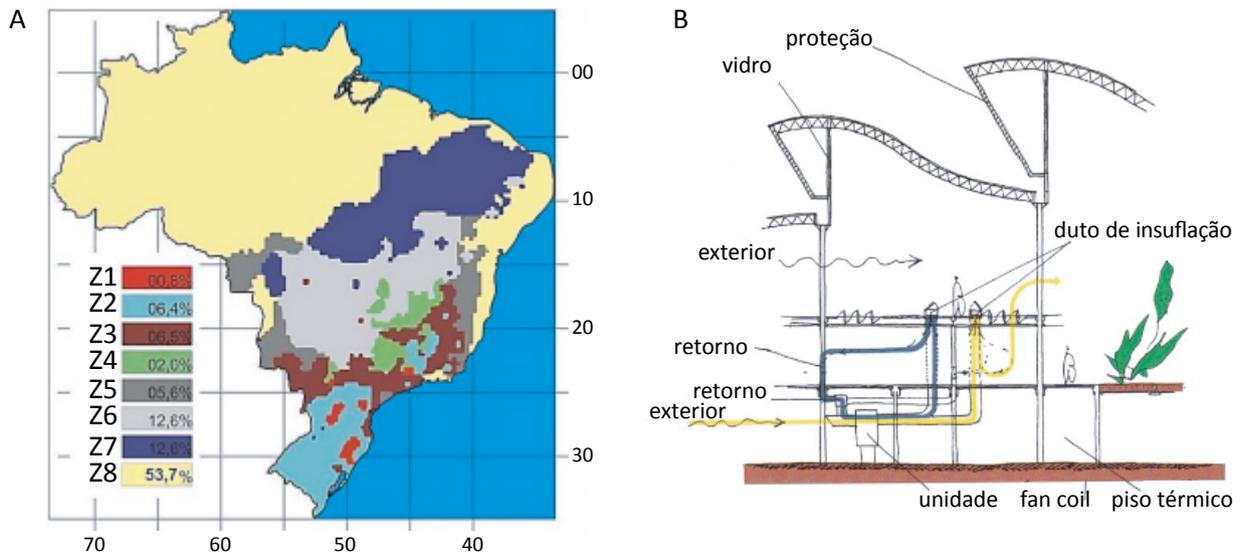
nem superior a 80%, conforme diagrama do conforto térmico humano (INMET, 2018);

- Índice de qualidade do ar (IQA) por poluente: o IQA se refere à qualidade do ar no interior e no exterior das edificações e estruturas, com foco na saúde e no conforto dos seus usuários (USEPA, 2015). O valor recomendável é de $0 < IQA < 50$. Quando o IQA não é controlado, e os poluentes provocam o aumento do índice acima de 101 por poluente, são afetadas as condições de saúde humana, o que pode ocasionar o aparecimento de doenças cardiopulmonares, decréscimo de resistência físicas e danos mais graves que podem provocar óbitos. Como o IQA interfere nas condições de saúde e na capacidade de aprendizagem, é recomendável que o sistema de gestão ambiental (SGA) do campus contemple rotinas de medição para aferir se o IQA por poluente se encontra entre 0 e 50, conforme recomendações da Agência de Proteção Ambiental Americana na tabela (Figura 2A).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas práticas analisadas, foram sistematizadas soluções bem-sucedidas que diminuíram os im-

pactos ambientais, com foco na redução de desperdícios, no uso de energias mais limpas e em melhores



Fonte: adaptado de NBR 15220-3 (ABNT, 2005); MUSEU DA CASA BRASILEIRA, 2010.

Figura 1 – (A) Zoneamento bioclimático brasileiro adaptado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), da NBR 15220-3; (B) estratégias de projetos elaboradas por Lelé para a rede Sarah Kubitschek. A Figura 1B exemplifica o sistema de ventilação natural, concebido pelo arquiteto Lelé, que contempla as galerias de ar, responsáveis por conduzir ventos predominantes, distribuídos para proporcionar conforto ambiental.

condições de saúde e de capacidade de aprendizagem. Os bons exemplos estão divididos em três subitens:

Análise crítica das boas práticas

Foram analisadas práticas de referência baseadas em: ecologia industrial/economia circular e reengenharia do produto baseada na produção mais

Exemplo 1: processos construtivos racionais concebidos para o Hospital do Aparelho Locomotor Sarah Kubitscheck, Salvador (LELÉ, 1994)

O sistema construtivo do hospital (Anexos 1 e 2), com área construída de 27 mil m² (LELÉ, 1994), é composto de: componentes pré-fabricados, estruturas metálicas e vedações externas e internas em argamassa armada, produzidos no Centro de Tecnologia da rede Sarah (CTRS) em Salvador, Bahia (TRIGO, 2009).

Aspectos positivos

Sistema modular de projetos concebido no Hospital Sarah Salvador para eliminar desperdícios; uso de modulações de 1,25 m (múltiplo de 0,625 m em função de revestimento especificado); redução do uso de água na obra; redução de prazo de construção em virtude das repetições e das padronizações; peças com múltiplas funções

Ecologia Industrial, Infraestrutura Verde e Bioclimatologia aplicada à Arquitetura.

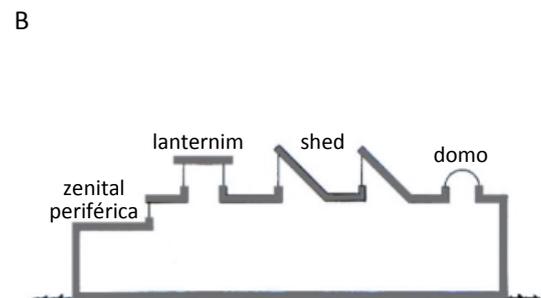
limpa e enxuta em que se minimize perdas, conforme fluxograma representado na Figura 3.

reduziram materiais (viga-calha que abriga instalações, parede dupla ou parede *shaft* com instalações embutidas); logística otimizada para construção e operação da edificação (peças pré-moldadas produzidas no CTRS, próximo ao hospital, reduziram fretes e transporte); redução de custos com manutenção do edifício em razão do uso de peças padronizadas; construção e montagem reduziram a geração de resíduos (LUKJANTCHUKI *et al.*, 2011);

Aspectos negativos

Emissões de CO₂ relacionadas aos processos industriais, estruturas metálicas e uso de aço presente nas peças utilizadas na pré-fabricação e na montagem dos sistemas construtivos.

A	IQA por poluente	Qualidade do ar interno	Descrição dos efeitos sobre a saúde
	0 a 50	Boa	
	51 a 100	Regular	
	101 a 199	Inadequada	Leve agravamento de sintomas em pessoas suscetíveis, com sintomas de irritação na população sadia.
	200 a 299	Má	Decréscimo da resistência física e significativo agravamento dos sintomas em pessoas com enfermidades cardiorrespiratórias. Sintomas gerais na população sadia.
	300 a 399	Péssima	Aparecimento prematuro de certas doenças, além de significativo agravamento dos sintomas. Decréscimo da resistência física em pessoas saudáveis.
	Maior que 400	Crítica	Morte prematura de pessoas doentes e pessoas idosas. Pessoas saudáveis podem acusar sintomas adversos que afetam sua atividade normal.



Fonte: USEPA, 2015; PEREIRA, 2006, p. 35.

Figura 2 – (A) Índices de qualidade do ar por poluente × qualidade do ar interno. (B) Tipologias de Iluminação Natural. Concentrações baixas e moderadas do Dióxido de Carbono (CO₂) são responsáveis por causarem efeitos negativos no desempenho humano em tomada de decisão e por reduzir o desempenho em sala de aula (USEPA, 2015; SATISH *et al.*, 2012). As emissões de CO₂, CFC, metano (CH₄) e óxidos de nitrogênio (NO_x) agravam o efeito estufa, interferem no balanço energético da Terra e causam efeitos prejudiciais à saúde.

Reaproveitamento das águas nas edificações

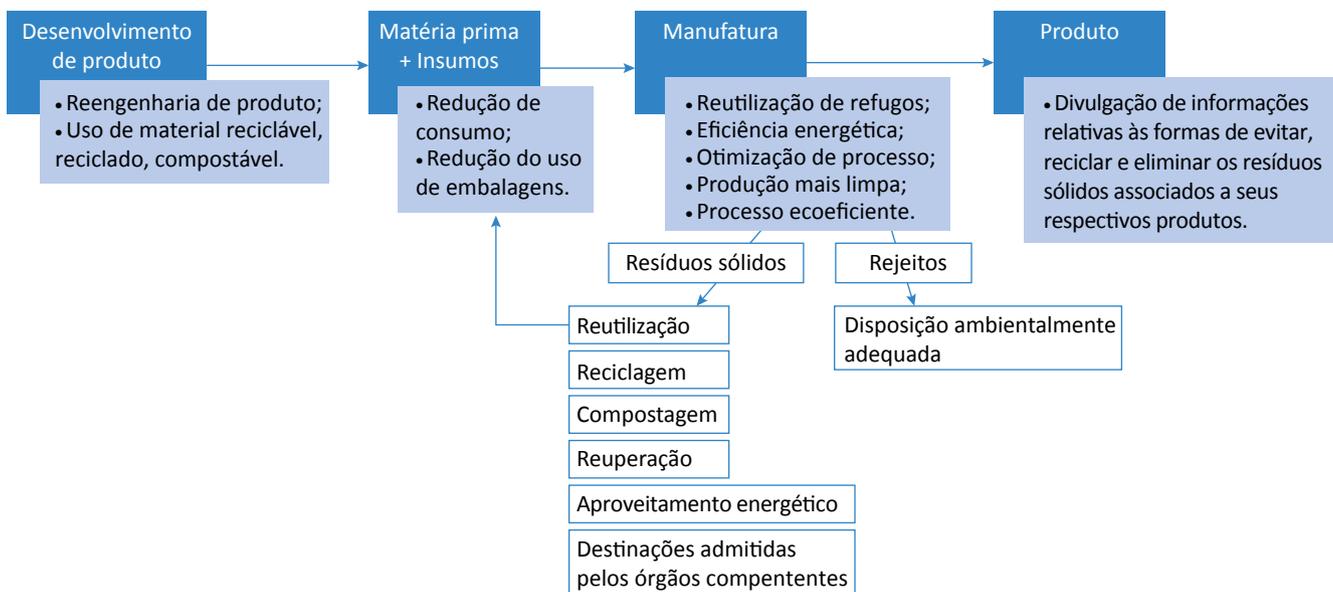
Exemplo 2: recirculação de água na Sidwell Friends School, em Washington D.C.

Escola do ensino médio com certificação LEED Platinum, um dos mais elevados níveis de certificação pelo Sistema LEED (Figura 4). Ficha técnica: ano de fundação da instituição: 1883; Obra de qualificação ambiental: 2007; Terreno: 15 acres; Edificação: 33.000 pés quadrados; Projeto: José Alminana- The American Society of Landscape Architects Fund (ASLA); (ANDROPOGON ASSOCIATES, 2007) (Landscape Architect). As águas cinzas são captadas em

um pátio com pavimentos drenantes interligado ao reservatório de reuso e à edificação conforme Figura 4.

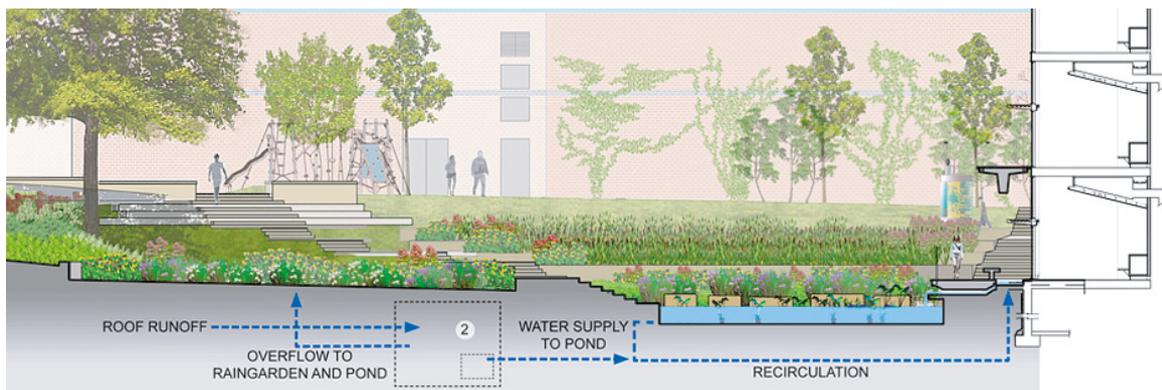
Aspectos positivos

O Sistema de gerenciamento de águas residuais da escola Sidwell Friends limpa 3 mil litros de água por dia (ANDROPOGON, 2007). A água de reúso é conduzida para os banheiros do edifício e para a torre



Fonte: adaptado do Programa de Produção mais Limpa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), 2018. Disponível em: <www.fiesp.com.br/temas-ambientais/>. Acesso em: nov. 2018.

Figura 3 – Fluxograma da reengenharia do produto.



Fonte: ANDROPOGON, 2007

Figura 4 – Esquema de recirculação de água.

de resfriamento, após tratamento no patio ecológico por três a cinco dias. O consumo de água da escola foi reduzido em 93% depois da implantação do saneamento ambiental, que contempla Wetlands com plantas nativas eficientes e o reuso das águas cinzas.

Exemplo 3: reúso de águas cinzas em edificações alemãs

Em uma típica residência alemã para cada 100L de água abastecida, 52L são de água potável e 48L são de água de reuso (GONÇALVES; KELLER; FRANCI, 2019). A água potável é destinada para chuveiro, banheira, lavatórios e cozinha, enquanto a água de reuso é destinada para limpeza, máquina de lavar, descargas sanitárias e irrigação. São produzidos 70 L de água cinza, dos quais 48 L são reutilizadas. Das águas cinzas, 22 L são conduzidas para a rede de esgoto, juntamente com as águas negras.

Aspectos positivos

A segregação das águas e o reuso das águas cinzas geram economia significativa nas edificações. Em relação à redução do consumo de água, na Alemanha, entre 1990 e 2010, a redução do consumo médio *per capita* foi superior a 1 L por ano, alcançando, em 2010, o consumo médio *per capita* de 121 L/hab. d. (GONÇALVES; KELLER; FRANCI, 2019). Alguns profissionais do setor de saneamento do país associam a redução constante do consumo de água potável no país ao aumento dos valores das tarifas de água e esgoto nos últimos anos (GONÇALVES; KELLER; FRANCI, 2019). Ao comparar esses valores na Alemanha com outros países desenvolvidos, conclui-se que as tarifas alemãs são as mais altas do continente europeu, o que torna o reúso das águas cinzas mais atrativo para o consumidor. É na Alemanha onde se consome menos água potável, quando são comparados países desenvolvidos do continente europeu com EUA e Canadá (GONÇALVES; KELLER; FRANCI, 2019).

Infraestrutura verde

Exemplo 4: requalificação ambiental da Escola Politécnica de Milão (POLIMI), Itália

A estratégia para reforma foi direcionada para a requalificação ambiental por intermédio da proposta de *ecodesign* elaborada de modo participativo para o *campus* Citta Studi Campus Sostenibile. A proposta envolveu alunos, funcionários e professores e despertou o sentido de pertencimento em cada um para

O último pavimento do edifício (*green roof*) contempla uma cobertura verde que capta águas cinzas, e esse sistema de reaproveitamento está interligado às instalações hidrossanitárias prediais e reutilizadas nas descargas sanitárias (ANDROPOGON, 2007).

No Brasil, existe elevado potencial de geração de economia circular nos edifícios, pois a produção de água cinza no país é muito maior do que o consumo de água de reuso (GONÇALVES; KELLER; FRANCI, 2019). Foram pesquisadas boas práticas em empreendimentos corporativos certificados que adotam sistemas de reaproveitamento hídrico (AFLALO GASPERINI ARQUITETOS, 2009), como o *green building* em São Paulo, o Rochaverá, com certificação Leed GOLD, pátio drenante e reservatório de reuso de água (USGBC, 2009), e o Eldorado Business Tower, concluído em 2007, com certificação Leed C&S PLATINUM adquirida em 2009.

Aspectos negativos

Mesmo obtendo economias operacionais relevantes de água em edificações por meio do reaproveitamento, o desafio no continente americano ainda é a redução do consumo e de perdas relacionadas ao uso da água. Pesquisas publicadas em 2015 revelam que nos EUA o consumo per capita médio de água foi de 300 L/hab. D, com tarifas baixas de água (GONÇALVES; KELLER; FRANCI, 2019). No Brasil, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento, o consumo médio de 2013, 2014 e 2015 foi de 165,3 L/hab. d (*apud* GONÇALVES; KELLER; FRANCI, 2019). Existe elevado potencial para geração de economia de água no país mediante a implantação de estações de tratamento das águas cinzas, no entanto faltam regulamentações específicas e políticas públicas que incentivem essas práticas de reuso para evitar perdas de água.

levantar necessidades locais e construir um espaço que fosse resultado da opinião dos usuários. A infraestrutura verde contempla pátios centrais que integram ambientes internos e externos, modelo muito utilizados na arquitetura Greco Romana por meio de átrios centrais como praças.

Aspectos positivos

O *ecodesign* da POLIMI proporciona espaços de convivência com maior socialização e favorecem o balanço energético por meio de praças centrais permeáveis

Exemplo 5: implantação da Freie Universität Berlin (FUB)

Ocupação e uso do terreno que preserve a permeabilidade, contempla um jardim botânico e edificações com pátios vazados que integram áreas verdes e áreas construídas projetadas com dois e três pavimentos, otimizando a ocupação, preservando o solo natural e evitando a supressão vegetal no *campus*. As fotos a seguir exibem a implantação geral do *campus* da FUB (Fi-

gura 5A) e a usina solar instalada nas lajes de cobertura das edificações (Figura 5B) (Anexos 3, 4 e 5).

O último pavimento (Figura 5B) contempla jardins sobre lajes, captação de água, drenagens, átrios vazados e domus que captam ventilações e iluminações naturais, contribuindo para maior eficiência energética.

Bioclimatologia aplicada à arquitetura e ao urbanismo

Exemplo 6: Hospital do Aparelho Locomotor Sarah Kubitscheck, Salvador

O sistema de iluminação e ventilação naturais é composto de conjunto de galerias e sheds de cobertura responsáveis pelos resultados positivos alcançados em relação ao conforto ambiental e à eficiência energética dessa unidade hospitalar. Os *sheds* maximizam a convecção de ar e compõem a própria cobertura, contribuindo para maior eficiência energética. As galerias de ar autoportantes (tipo corneta) captam ventilações predominantes e abrigam circulações de manutenção e instalações hospitalares, dispensando o uso do ar-condicionado no hospital, com exceção do centro cirúrgico e do setor de imagens, evitando em praticamente toda a edificação sistemas de refrigeração artificial que emitem gases poluentes, como os CFCs, que agravam o efeito estufa. O mecanismo de ventilação natural elaborado por Lelé (1994) proporciona um fluxo vertical contínuo de ar de

baixo para cima por meio da associação do efeito de convecção e sucção, funcionando de acordo com dois princípios básicos: ventilação por convecção — o ar frio sobe conforme é aquecido — e ventilação por sucção — a massa de ar é sugada nos sheds pela corrente de ar externa. A velocidade da ventilação por sucção é acentuada pela insuflação de ar, impulsionada pelos ventos que cruzam os brises horizontais projetados pelo arquiteto. Os sistemas de ventilação natural, concebidos por Lelé, para os hospitais da Rede Sarah Kubitscheck estão ilustrados nos Anexos 1 e 2.

Aspectos positivos

O projeto bioclimático do hospital Sarah em Salvador dispensou o uso do ar-condicionado na edificação com exceção do centro cirúrgico e dos setores nos



Fonte: FUB, 2018.

Figura 5 – (A) Implantação geral da Freie Universität; (B) usina solar.

quais os equipamentos precisam funcionar em condições específicas, contribuindo para elevada eficiência energética da unidade, que, em 2004, apresentava um custo médio mensal de energia de 90 mil reais. Segundo Lelé (1994), caso o hospital tivesse climati-

Exemplo 7: Freie Universität Berlin

Os sistemas de iluminação e ventilação das edificações da universidade são compostos de átrios vazados, domus e claraboias, o que contribui para a redução do uso da energia elétrica no *campus*. Os domus e as claraboias caracterizam os sistemas zenitais, pois são materiais translúcidos que utilizam vidros e policarbonatos que permitem que a irradiação solar ilumine os

Visitas técnicas de campo

Ecologia industrial/economia circular

Exemplo 1: Departamento de História e Estudos Culturais da Freie Universität Berlin (LEJA, 2015)

A edificação, com área construída de 12.650 m², possui sistema construtivo composto de estruturas metálicas, peças em concreto, painéis de fibrocimento e por fachadas pré-fabricadas revestidas por estruturas de madeira em cedro com isolamentos de lã de rocha (isolamento termo acústico). A edificação identificada como mandril de madeira ou caramanchão de madeira reforça o conceito de sustentabilidade, fortalecendo a proposta de

Exemplo 2: Uso de fontes alternativas de energia na Freie Universität Berlin

Foram instalados sistemas fotovoltaicos nas lajes de cobertura das edificações com capacidade de gerar 675 KW de energia, o que corresponde a produção média de 600 mil KWh de energia elétrica, o suficiente para atender às necessidades anuais de consumo do departamento de ciências políticas e sociais ou de 150 residências com quatro pessoas. Conforme publicações da FUB em 2018, a universidade conta com duas usinas solares combinadas de calor e energia (CHP). A usina CHP instalada no jardim botânico funciona com biometano (FUB, 2018). As usinas solares têm uma produção elétrica total de 715 KW, o que gera 4,5 a 5 milhões de KWh de eletricidade por ano. As placas solares estão instaladas nos tetos das edificações, conforme foto ilustrada no Anexo 4, que exhibe o sistema construtivo modulado.

zação artificial, esse custo seria de 600 mil reais (GUIMARÃES, 2010). O arquiteto calculou que o consumo energético de um edifício climatizado artificialmente corresponde de 30 a 40% do custo total da obra (GUIMARÃES, 2010).

ambientes internos. A laje de cobertura (*green roof*) contempla: jardins sobre laje, salas de aulas, laboratórios, instalações, sistemas de drenagens, acessos de manutenções prediais e sistemas zenitais que proporcionam iluminações naturais e minimizam o uso da iluminação artificial no edifício, além do uso de fontes alternativas de energia por meio das usinas solares.

reaproveitamentos, na qual as peças podem ser trocadas com maior facilidade, em função da padronização e do sistema modular da edificação. A construção é do tipo seca e enxuta, com menor uso de água, baseada na montagem otimizada do sistema Lean Construction que evita desperdícios e geração de resíduos (FUB, 2015). Conforme, ilustrado no Anexo 3, que exhibe o sistema modular e a racionalidade construtiva.

Aspectos positivos

A FUB utiliza fontes de energia menos poluidoras de energia, gerando economia de energia primária de cerca de 23% segundo as usinas CHP e, em média, 2.800 toneladas métricas anuais de CO₂.

Aspectos negativos

Emissão de gases poluentes por processos industriais relacionados às estruturas metálicas utilizadas na pré-fabricação e montagem das edificações. Processos que utilizam aço, ligas metálicas ou processos industriais que contribuem com emissão sobretudo de óxido nitroso, halo carbonos, hexafluoretos de enxofre representam elevados potenciais de aquecimento global.

Exemplo 3: uso de fontes alternativas de energia na Universidade de São Paulo

A USP conseguiu economizar 305 mil reais ao ano em relação às despesas com energia no Campus Cidade Universitária, o que foi dos resultados do Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas (PUREFA), realizado por meio do gerenciamento executado pelo

Instituto de Energia e Ambiente (IEE) com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica, ampliar a participação de fontes alternativas na matriz energética da universidade e implantar políticas de incentivo ao uso eficiente e racional de energia, como mostra o Anexo 7.

Exemplo 4: Programa de Uso Racional da Água (PURA), Universidade de São Paulo

O Laboratório de Resíduos Químicos (LRQ) da USP São Carlos possui um entreposto de materiais e procedimentos exemplar, que além de servir como ferramenta de gestão para controle de descartes tóxicos e geren-

ciamento da logística reversa, possui instalações que contemplam reaproveitamento da água e reduções dos desperdícios, alcançadas pelo Programa de Uso Racional da Água (PURA).

Exemplo 5: reaproveitamento de água Programa Escola da Floresta

O Sítio São João em São Carlos, SP, contempla princípios da economia circular aplicados em espaços de ensino onde funciona o programa resultante de parcerias entre a USP, a UFSC, o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) Cambridge, a Prefeitura de São Carlos e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, SP). Foram aplicadas tecnolo-

gias de reuso das águas cinzas, Wetlands, práticas de saneamento ambiental, irrigação com águas de reuso e práticas que utilizam a pedagogia do exemplo, tanto para a comunidade universitária como para alunos do ensino médio. Esse sítio serve de espaço de experimentação para pesquisas voltadas à agroecologia e ao saneamento ambiental;

Infraestrutura Verde

Exemplo 6: Masterplan Universidade de São Paulo, Campus Cidade Universitária e sistema de gestão ambiental

O *masterplan*, baseado em princípios do processo Alta Qualidade Ambiental (AQUA), tem elevado índice de permeabilidade e geração e rede de distribuição de energia fotovoltaica no campus, o que acarreta impacto reduzido. As usinas solares foram instaladas em lajes de cobertura e em áreas verdes que não pre-

judicam a permeabilidade e evitam supressões vegetais. Trocas de lições aprendidas (*networks*) por redes de conhecimento (REDE ARIUSA); Oficina de Projeto LabVerde para Implantação de Infraestrutura Verde no Campus Cidade Universitária da USP (PELLEGRINO; CASTAÑER, 2015).

Bioclimatologia aplicada à arquitetura e ao urbanismo

Exemplo 7: Projeto Bioclimático da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo

Situado no *campus* Cidade Universitária e elaborado pelo arquiteto João Batista Vilanova Artigas, o projeto dispensa uso de ar-condicionado e proporciona aos usuários do edifício: sistemas passivos de ventilação por meio das fachadas sombreadas e ventiladas, am-

plas esquadrias, basculantes superiores e cobertura (domus que se abrem e fecham), renovação do ar, ventilações cruzadas nos ambientes, redução do uso de iluminação artificial e conforto ambiental, como mostrado no Anexo 6.

Exemplo 8: Projeto Arquitetônico do Holzbau, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Projeto do departamento de história e estudos culturais da FUB de autoria do arquiteto Florian Nagler, inaugurado em 2015 e com área construída de 12.650 m²

(FUB, 2015). Foi realizado um concurso de arquitetura para a construção de um edifício inserido entre módulos edificados existentes no *campus*, para abrigar

setores do departamento de história e estudos culturais. O arquiteto otimizou o sistema modular existente, distribuindo os ambientes em três pavimentos.

Os sistemas de iluminação e de ventilação funcionam de modo ora passivo, ora mecanizado, a depender das condições climáticas, para garantir temperaturas adequadas ao conforto ambiental nos espaços administrativos e de ensino e aprendizagem, que contemplam salas de seminários, escritórios dos departamentos e salas de aulas. Foi concebido um sistema de ar condicionado natural baseado no resfriamento noturno que é acionado segundo programação automatizada de motores elétricos que permitem aberturas dos trechos retráteis das claraboias, dos domus e da cobertura das bibliotecas, para promover a retirada de ar quente do edifício e a renovação do ar interior. Foram criadas esquadrias com venezianas de vidro retráteis, acopladas aos caixilhos para equilibrar a temperatura interna do edifício e renovar o ar. A escada e as rampas permitem acessibilidade aos andares, facilitando a retirada de ar quente do interior do edifício, pois interligam as circulações comuns da edificação ao terraço. Os átrios vazados foram concebidos como pátios centrais para proporcionar espaços de convivência e de maior interação com as áreas externas, melhorando o índice lumínico nos espaços de ensino e minimizando o uso da iluminação artificial durante as atividades diurnas. No Anexo 5, está representado o conjunto de domus translúcidos que integram o sistema zenital, que contribui para redução do custo com iluminação dos ambientes. Os domus retráteis são programados para abrirem no período noturno para resfriarem naturalmente a edificação, contribuindo para o equilíbrio térmico do edifício e a redução do consumo energético.

Aspectos positivos

A FUB desenvolve inúmeras ações direcionadas a tornar o *campus* um laboratório de sustentabilidade. Entre as principais ações focadas na redução de impactos socioambientais, estão:

- Programa University Alliance for Sustainability (UAS) Spring Campus Conference (abr. 2018), que

Exemplo 9: Escola de Energia Zero- durante a visita à Universidade Tecnológica de Munique

O Projeto Escola Energia Zero Waldorf School Stuttgart (VOHLIDKA, 2018) foi apresentado pelo autor, professor

reuniu 144 pesquisadores, estudantes e especialistas em sustentabilidade de 14 países, 35 cidades e 42 universidades e instituições na FUB para debates sobre o tema: como a ciência e as universidades contribuem para a transformação da sustentabilidade? (University Alliance for Sustainability: Spring Campus, 2018)

- Programa Spring Campus, que envolveu 30 instituições de ensino superior de 15 países. No programa são desenvolvidos *workshops* sobre o papel das redes sociais na política de mudanças climáticas;
- Programas de incentivos às pesquisas por meio da troca de lições aprendidas em redes de conhecimento (*networks*) (University Alliance for Sustainability: Spring Campus, 2018). Equipes de sustentabilidade da FUB se reúnem para identificar ações direcionadas para tornar a universidade um laboratório vivo e uma comunidade de aprendizado, visando mais sustentabilidade. As equipes estão dedicadas a questões como: Podem ser instalados dispensadores adicionais de água potável no *campus*? Como a oferta de alimentos pode ser mais sustentável em conjunto com o Studierendewerk? Por exemplo, como usar mais ingredientes regionais? E o que a universidade pode fazer para promover a saúde e a mobilidade de seus funcionários? (UAS)
- Práticas de consumo consciente eficazes na FUB, como gestão à vista e publicação mensal de relatórios de consumo energético, visíveis à comunidade universitária, fixados nos murais de cada edificação. Os monitoramentos de consumo e de gestão são setorizados por módulos edificadas (FUB, 2018).
- Práticas construtivas detalhadas no projeto Holzbau im Großprojekt (LEJA, 2015).

Aspectos negativos

Nos processos construtivos de reformas dos módulos edificadas foram utilizados materiais que demandam emissões relevantes de CO₂, como é o caso da estrutura metálica, pois a produção do aço é uma das atividades da construção civil que mais gera impactos ambientais, considerando a emissão de CO₂ proveniente do processo industrial.

e arquiteto Phillip Vohlidka, que concebeu uma edificação escolar com a meta de consumo de 0,26 kW/m².

O arquiteto consultou os parâmetros de conforto para decidir o sistema construtivo. Em seguida, ele analisou as simulações dos índices de ecoeficiência por meio de programas computacionais nos quais são lançados os materiais, os sistemas pré-escolhidos e os respectivos parâmetros da região onde seria implantado o empreendimento (VOHLIDKA, 2018). Foi apresentada a pesquisa *Zukunftsfähiger Schulbau 12 Schulen Im Vergleich* (Prédio escolar sustentável: comparativo entre 12 escolas), na qual são analisados parâmetros que

Entrevistas

Durante as entrevistas foram realizados alguns questionamentos focados em identificar ações que elevaram o desempenho ambiental do *campus*. Conclui-se que mais importante que certificações ambientais é como ocorre o dia a dia em cada *campus*: quais são os princípios que

Diagnóstico sistêmico do campus no sul da Bahia

Aspectos construtivos

As edificações existentes no campus em estudo foram projetadas para funcionarem como centro de convenções e não como universidade, necessitando de adequações construtivas para proporcionar ambientes de ensino adaptados aos parâmetros de conforto ambiental referenciados. Os pavilhões identificados na Figura 6B abrigavam o Centro de Cultura e Eventos do Descobrimento, que integrava as obras inauguradas para comemoração dos 500 anos de chegada dos portugueses ao Brasil (ANTUNES *et al.*, 2018). O *campus* está implantado em um terreno de 211.412,175 m², conforme levantamento topográfico contratado pela UFSB, em uma zona identificada como área de expansão urbana no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) atual.

Os edifícios ocupam a área de 16.768,37 m², que contempla:

- Portaria + Copa + Depósito;
- Pavilhão de Feiras/Exposições;
- Bloco Administrativo;
- Bloco de aulas I: Pórtico;
- Sala de Leitura;
- Pavilhão de Convenções: Bloco de aulas II;
- Restaurante e Ocas (convivência e ensino);
- Blocos de Serviços com Vestiários, Copa, Sala de Medidores, Depósitos e a Subestação;

embasam o projeto Escola Energia Zero, com base nos índices medidos em 12 escolas alemãs. Os autores correlacionam os indicadores: IQA por poluente, índice de qualidade do ar interno (QAI) das salas de aulas que potencializam a cognição, entre outros dados medidos nas 12 escolas, comparando esses números com os valores calculados por meio de simulações nos ambientes de ensino modelo projetados para a Escola Waldorf em Stuttgart (AUER; NAGLER; DJAHANSCHAH, 2017).

direcionam o SGA? Como são monitorados os consumos de água e energia? Quais os indicadores de desempenho ambiental do *campus*? Como é realizada a sensibilização sobre o consumo consciente, independentemente de a instituição ter ou não certificação ambiental?

- Laboratórios, conforme Figura 6B.

Aspectos positivos

A universidade apresenta boas condições de acessibilidade nas edificações, em um terreno praticamente plano e com pistas táteis. O bloco de aulas I (pórtico) apresenta salas com amplas esquadrias, orientadas de modo estratégico para captar ventos predominantes e basculantes maximizando as ventilações cruzadas. Foi desenvolvido o projeto do Núcleo Pedagógico II (em fase de construção) com átrio central, circulações integradas com as áreas externas, o que favorece os sistemas de ventilação e de iluminação naturais e minimiza o uso do ar condicionado. Para a cobertura desse edifício, foi desenvolvido o projeto de sistema fotovoltaico. É identificado um elevado potencial para requalificar os pavilhões de feiras (edifício nº 2) e convenções (edifício nº 6) para comportar maior número de salas adequadas aos parâmetros de conforto ambiental, preservando o jardim botânico existente.

Aspectos negativos

O Pavilhão de Convenções - bloco de aulas II (edifício nº 6) comporta um auditório central, compartimentos de instalações *fan coil* e salas de aulas sem ventilações cruzadas nem iluminações naturais suficientes para as atividades. Em função do corte

de verbas, a universidade optou por pequenas reformas, preservando as paredes estruturais e os compartimentos *fan coils*, compartimentos que abrigam máquinas de ar condicionado responsáveis por refrigerar a área central desse pavilhão, onde fica o auditório Monte Pascoal. Essa área foi subdividida para abrigar salas de aulas, que ficaram sem janelas amplas. Esses espaços de ensino possuem basculantes acima de portas de emergência, sem ventilações cruzadas, nem iluminação natural que minimizem o uso de iluminação artificial durante o dia para que sejam alcançados os níveis lumínicos exigidos de 500 *lux* para as tarefas visuais praticadas, conforme NBR 5413 (ABNT, 1992). No pavilhão faltam ciclovias e passeios externos acessíveis até a portaria, uma travessia mais segura para os pedestres que cruzam a rodovia BR 367 e instruções de uso das edificações para melhor desempenho ambiental dos edifícios.

Aspectos botânicos e ecossistêmicos

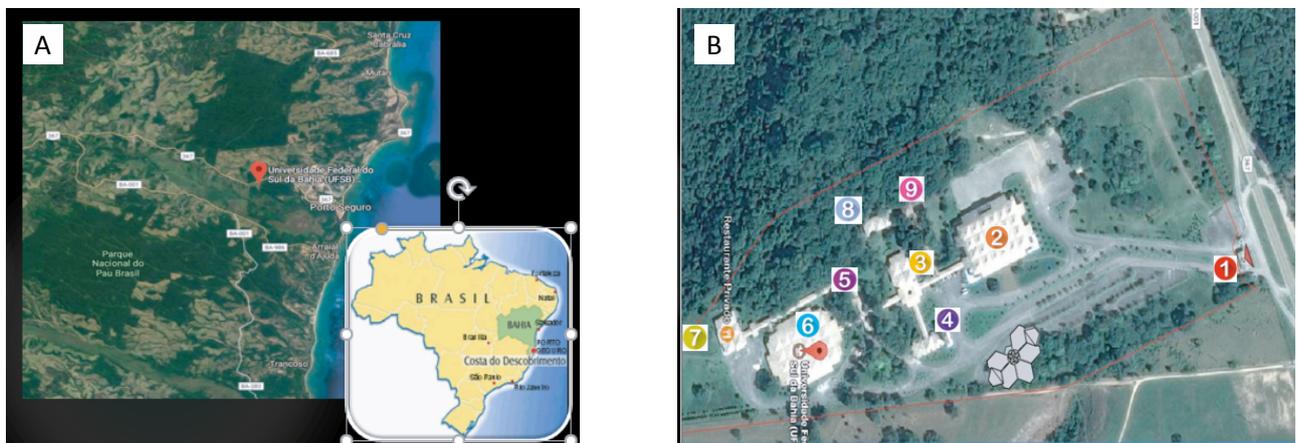
O Jardim Botânico Floras (JBFLORAS), existente no *Campus Sosígenes Costa*, é caracterizado por floresta ombrófila densa de terras baixas (ANTUNES *et al.*, 2018) ou por floresta dos tabuleiros (RIZZINI, 1997) e possui flora característica. Estão registradas 193 espécies, distribuídas em 142 gêneros e 53 famílias de angiospermas. Entre as endêmicas da mata atlântica, foram levantadas 15 espécies incluindo a *Crano-carpus mezii* (Leguminosae), restrita ao sul da Bahia

e ao norte do Espírito Santo. Em virtude de sua peculiaridade florística, é recomendada a conservação do remanescente encontrado na floresta dos tabuleiros (PINTO *et al.*, 2019).

Aspectos climatológicos

O clima tropical litorâneo quente e úmido (IBGE, 2017) apresentava, em fevereiro, a temperatura máxima média de 29°C no período mais quente e a mínima média de 23°C (INMET, 2018). O período crítico de desconforto ambiental compreende os meses de janeiro e fevereiro, período no qual a taxa de umidade alcança valores entre 95 e 98% (INMET, 2018), causando sensação de mal-estar, dificuldade de concentração e predisposição a doenças, pois a taxa de umidade relativa do ar supera 80%. Para melhorar o desconforto causado pelo excesso de calor e umidade, são recomendáveis eficazes sistemas de ventilação natural para aproveitar os ventos predominantes nas direções nordeste, leste, sudeste e sul, conforme Rosa dos Ventos de Porto Seguro (INMET, 2018; GBS, 2019).

Em relação à média anual de irradiação solar diária em Porto Seguro, alguns estudos avaliaram as possibilidades de instalação de um sistema fotovoltaico que atenda às demandas do CSC com impactos reduzidos. No primeiro estudo (Quadro 1A), foi considerada a opção de instalação dos painéis solares em telhados existentes do *campus* em estudo: sistema fotovoltaico em Porto Seguro, com média anual de seis horas de insolação diária. Para o segundo estudo (Quadro 1B),



Fonte: GOOGLE EARTH, 2019.

Figura 6 – (A) Localização do Campus Sosígenes Costa. (B) Implantação atual. Foi representado o Núcleo Pedagógico II em fase de construção abaixo do edifício nº 4.

A		B	
Quantidade de painéis (Axitec AXIpremium 300Wp 60 Mono (AC-xxxM/60S))	1.250	Qte. painéis (Axitec AXIpower 370 Wp e outro(s))	912
Qte. De inversores (SMA STP 50-40)	6	Qte. De inversores (Fronius Eco 27.0-3)	10
Superfície	2075 m ²	Superfície	1824m ²
Potência instalada	375,0 kWp	Potência instalada	337,4 kWp
Consumo antes da instalação/ mês 9- taxa mínima)	43.070 kWh	Consumo antes da instalação/ mês (- taxa mínima)	43.070 kWh
Produção estimada por mês	47.37 kWh	Produção estimada por mês	47.417 kWh
Produção de energia / necessidade*	101%	Produção de energia / necessidade*	100%
Investimento (valor à vista)	R\$1.481.600,67	Investimento (valor à vista)	R\$1.325.118,47
Preço (R\$/Wp)	3,95	Preço (R\$/Wp)	3,93
Período para fluxo de caixa positivo	4,3 anos	Período para fluxo de caixa positivo	3,5 anos
Economia da eletricidade em 10 anos	R\$ 4.156.111,46	Economia da eletricidade em 10 anos	R\$ 4.646.007,32
Lucro estimado depois de 25 anos	R\$ 15.147.411,71	Lucro estimado depois de 25 anos	R\$ 17.738.485,82

Fonte: OGONOVSKY, 2018 *apud* SANTOS, 2019.

Quadro 1 – Viabilidades para gerar energia solar em (A) Porto Seguro e em (B) Barreiras.

foi escolhida a cidade de Barreiras, localizada no oeste Baiano, onde se encontram as melhores médias anuais de insolação diária do país (PEREIRA *et al.*, 2017; TIBA, 2000).

O estudo comparativo de viabilidades demonstrou que a alternativa B — sistema fotovoltaico em Barreiras — é a mais adequada, pois é necessária menos quantidade de painéis fotovoltaicos, o que representa economia

superior a 156 mil reais. As contas de luz pagas à Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba) e os respectivos consumos energéticos demonstram que a instituição teve uma despesa superior a 399 mil reais em 2018. Essa despesa pode ser reduzida para a taxa mínima da Coelba com o uso da energia solar, o que poderá representar uma economia anual superior a 300 mil reais. Em dez anos a instituição poderá ter uma economia de energia superior a 4 milhões de reais.

Plano de ações

Diretrizes gerais para o sul da Bahia- ações para melhorar o desempenho ambiental dos espaços de ensino

Método integrador de projetos com impactos reduzidos

Propõe-se um modo de projetar que considera o planejamento arquitetônico baseado na integração dos projetos arquitetônicos e complementares, organizados em um fluxograma que compreende:

- diagnóstico sistêmico multidisciplinar da área de estudo;
- *masterplan*;
- metas de ecoeficiência dos edifícios e monitoramentos dos parâmetros de conforto ambiental e saúde dos usuários;
- modelagem orientada para a construção por meio da plataforma BIM, interligada com programas computacionais que simulam índices de desempenho ambiental, como por exemplo, o Energy Plus;
- gestor de custos integrado;
- gerenciador do ciclo de vida para operação do edifício. Um dos grandes diferenciais desse modo de projetar é simular por meio de softwares índices de eficiência energética e indicadores de desempenho ambiental para saber o que se deseja alcançar em relação às metas de redução dos impactos integrados;

Projetos bioclimáticos, inclusivos e multidisciplinares associados às tecnologias ambientais

- Flexibilidade dos sistemas passivos e ativos de ventilação e iluminação dos edifícios: para que os sistemas de ventilação e iluminação sejam acionados no modo ativo apenas em situações específicas, como no caso dos laboratórios que exigem temperaturas mais baixas ou em dias mais quentes, quando o sistema mecanizado pode ser acionado, utilizando energia fotovoltaica lançada na rede de distribuição pela Coelba. Flexibilizar a fonte de energia que alimenta possíveis sistemas mecanizados por meio do uso de energias mais limpas com impactos reduzidos (fotovoltaica, por exemplo). Pode ser avaliado o uso alternativo de exaustores eólicos para retirada do ar quente dos edifícios;
- Uso de fontes alternativas de energia que reduzam impactos e gerem economia para a instituição;
- SGA participativo: propõe-se incorporar práticas de consumo consciente, manual de uso racional e de operação do edifício, parâmetros de saúde e de conforto ambiental, indicadores de melhor desempenho ambiental do edifício, medições setorizadas para facilitar rotinas de monitoramento e definição de metas para cada edifício (Gestão à vista), visando envolver maior número de usuários para torná-los agentes multiplicadores de boas práticas, firmando a responsabilidade de cada um ser parte do resultado que qualifica a instituição em relação à sustentabilidade;
- Reduzir a emissão de GEE: propõe-se minimizar ou eliminar o uso do ar-condicionado, estimular transportes alternativos não poluentes e planejar ciclovias e acessibilidade no *campus*;
- Realizar diagnóstico multidisciplinar: definir indicadores de desempenho ambientais e estabelecer metas de consumos × custo (R\$) por usuário ou pela área (m²) em *software* capaz de auxiliar a gestão de custos;
- Saneamento ambiental com segregação das águas: analisar a viabilidade e as legislações para construção de ETACs. Analisar tecnologias de reuso adequadas, utilizando pátios descobertos com pavimentos drenantes, drenagens circulantes e reaproveitamento de água nos laboratórios;
- Indicadores de desempenho ambiental aplicáveis às edificações no Sul da Bahia: configuração e infraestrutura; (2) energia e mudança climática; (3) desperdício (gestão dos materiais); (4) água; (5) transporte; (6) educação e pesquisa; (7) alimentação; (8) redes de conhecimento e (9) gestão ambiental (10) gestão do conhecimento compartilhado em rede. São recomendados programas de uso racional da água, de eficiência energética e de fontes alternativas de energia com impactos reduzidos em universidades, baseados nos aprendizados anteriores adquiridos na USP (PURA) e na UFBA, Laboratório de Tecnologias Limpas (TECLIM — Programa ÁGUAPURA).

Estratégias de projetos e ações recomendadas para o Campus Sosígenes Costa

No processo de expansão desse campus, é recomendável que sejam esgotadas as oportunidades de requalificar áreas construídas já impermeabilizadas para abrigar novos espaços da universidade em dois pavimentos no pavilhão de Feiras e no de Convenções, já que o PDDU permite construções de até dois pavimentos, para evitar supressões vegetais:

- Requalificações bioclimáticas nos pavilhões de convenções e de feiras: proporcionar maior número de espaços de ensino adequados às condições de saúde e aos parâmetros de conforto ambiental favoráveis à boa capacidade cognitiva, dispensar e/ou reduzir o uso do ar-condicionado nas edificações, contribuir para a redução dos GEE, promover o uso de energia solar, diminuir despesas operacionais e impulsionar maior economia no *campus*;
- Infraestrutura de impactos reduzidos: revisar as instalações do CSC existentes para conceber um masterplan que contribua para: a segregação das águas, o reúso das águas cinzas e a aplicação de tecnologias ambientais;
- São recomendadas reformas que contemplem átrio e praças centrais.
- Sistemas de iluminação e ventilação naturais mais eficazes: permitir maior retirada do ar quente do interior do edifício com aberturas retráteis e renovação do ar que contempla um projeto específico de esquadrias de fácil manuseio (exemplo: basculantes que abrem 180º com manuseios programados) para as salas de aulas do pavilhão de convenções. Devem ser potencializados os vãos de abertura para que os níveis de iluminância recomendados não dependam da iluminação artificial durante o dia. Para desenvolver a requalificação ambiental desse pavilhão, devem ser verificados os níveis de iluminância por classe de trabalho visual (ABNT, 2013);
- Edifícios com maior eficiência energética e renovação do ar: construções que minimizem ou eliminem o uso do ar condicionado; retirada dos carpetes das paredes-divisórias do centro de convenções, pois são materiais porosos que retêm umidade, poeira e impurezas do ar que não devem ser encontrados nesses pavilhões; projetos passivos que eliminem os compartimentos existentes (*fan coils*) que abrigam as condensadoras.

CONCLUSÕES

Para se aproximar da sustentabilidade, além de desenvolver projetos de baixo impacto, é necessário envolver a comunidade universitária, para despertar o sentido de pertencimento e torná-los agentes multiplicadores de boas práticas, que adotem consumos conscientes, gerando maior economia para instituições federais de ensino que poderão contribuir para a conservação e renovação dos recursos ainda disponíveis no Brasil. Os resultados se multiplicam por meio da educação

Os projetos integradores de impactos reduzidos dependem das escolhas realizadas no início do processo criativo e podem transformar realidades, melhorar condições de saúde e qualidade de vida dos usuários nos empreendimentos, conservar e renovar os recursos naturais e preservar a biodiversidade. Projetos bioclimáticos aliados aos programas de sensibilização para o consumo consciente podem ser utilizados pelos projetistas para sensi-

bilizar as pessoas a usarem os edifícios de modo racional, usar e gerar energias com base em fontes alternativas, evitar desperdícios, minimizar ou eliminar soluções de climatização artificial, reduzir as emissões dos GEE, contribuindo positivamente para o ciclo do nitrogênio, reaproveitar materiais e recursos locais e contribuir para os ciclos técnicos e biológicos.

Em locais de clima tropical quente e úmido, como o sul da Bahia, as temperaturas médias e os ventos predominantes contribuem para que sejam alcançados os parâmetros de conforto sem o uso de climatização artificial. Em virtude do elevado potencial educador do *campus* universitário, é recomendável que o ambiente de ensino seja concebido para ser exemplo de um lugar onde usuários se tornem agentes multiplicadores de boas práticas para reduzir impactos. Quando alguém vivencia e pratica ações que reduzem impactos negativos des-

de a hora em que acorda, em todo o seu cotidiano, nos momentos em que ela ingressa no ambiente de ensino até o fim, ela conseguirá ensinar e aprender como se aproximar da sustentabilidade. Em universidades nacionais e internacionais, é visível que os investimentos em tecnologias ambientais perdem o sentido quando os usuários não repensam a sua função social e o seu modo de consumir nos espaços de convivência. A conquista de resultados positivos direcionados à sustentabilidade em qualquer local depende do esforço social conjunto de todos envolvidos.

O cenário econômico de contingenciamento de verbas no país impacta as instituições públicas de ensino e reforça a necessidade de reduzir as despesas operacionais das suas sedes. Implantações de centros de expertise em energias com base em fontes alternativas de baixo impacto podem contribuir

para o avanço das pesquisas direcionadas à sustentabilidade e à implementação de ações que gerem maior economia para as instituições. Em um campus universitário é possível sensibilizar os usuários a praticarem o consumo consciente por meio da pedagogia do exemplo diário, praticada por professores, alunos e funcionários, contagiando visitantes e transformando-os em agentes multiplicadores que podem replicar boas práticas por onde passarem. Por meio do esforço social conjunto, é possível melhorar o cenário atual. Os aprendizados precisam sair das salas de aulas para aproximar as pessoas da sustentabilidade, formando agentes multiplicadores que contribuam para a preservação dos recursos naturais por meio de boas práticas nos ambientes de aprendizagem, os quais cumprirão o seu papel de ensinar, pois serão o exemplo.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos colaboradores da pesquisa: à coordenação do *Campus Sosígenes Costa*; aos professores e colegas da UFSB; aos colegas Aline Argôlo, Andressa Tavares e Victor Porto; à equipe responsável pelo Programa ÁGUAPURA do Laboratório de Tecnologias Limpas da Escola Politécnica da UFBA (TECLIM); aos professores da USP Marcelo Roméro, Roberta Kronka Mulfarth, Tadeu Malheiros e Maria Olímpia Rezende; a Flávio Marchesin, responsável pelo programa Escola da Floresta

(Sítio São João-São Carlos); a Wilson Tadeu Silva (EMBRAPA SP), à Freie Universität Berlin, as entrevistas e visitas técnicas guiadas, os aprendizados e os resultados compartilhados com o apoio dos professores Andreas Wanke, Wolfgang Ackermann, Katrin Risch e Melanie Quiltz e ao Arquiteto Phillip Vohlidka, docente da Universidade Tecnológica de Munique, a apresentação do projeto Escola Waldorf School Energia Zero, desenvolvido para Stuttgart, na Alemanha.

REFERÊNCIAS

AFLALO GASPERINI ARQUITETOS. *Eldorado Business Tower com certificação Leed PLATINUM*. 2009. Disponível em: <<https://aflalogasperini.com.br/blog/project/eldorado-business-tower/>>. Acesso em: ago. 2019.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS (USEPA). *Plano de desempenho de sustentabilidade estratégica 2015*. Washington, D.C.: EPA, 2015. p. 29-44. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/201511/documents/epa_strategic_sustainability_performance_plan_2015.pdf>. Acesso em: ago. 2018.

ANDROPOGON ASSOCIATES. *Masterplan Sidwell Friends School: Certificação Leed Platinum*. Andropogon, 2007. Disponível em: <<https://www.asla.org/sustainablelandscapes/sidwell.html>>. Acesso em: ago. 2019.

ANTUNES, T.J.; SANTOS, V.C.; PINTO, A.C.; COSTA, C.B.N.; COSTA, J.A.S. Plantas Ornamentais do *Campus* Sosígenes Costa: características ecológicas e culturais. In: ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS DE MINAS GERAIS, BAHIA E ESPÍRITO SANTO, 38., 2018. *Anais...* Porto Seguro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15220-3: Desempenho Térmico das Edificações-Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO/ CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AUER, T.; NAGLER, F.; DJAHANSCHAH, S. *Zukunftsfähiger Schulbau 12 Schulen Im Vergleich*. TUM, 2017.

BENEDICT, M.A.; MCMAHON, E.T. *Green infrastructure: Linking landscapes and communities*. Washington, D.C.: Island Press, 2006.

BESSA, V.M.T. *Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios*. 263f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BOGO, A.; PIETROBON, C.E.; BARBOSA, M.J.; GOULART, S.; PITTA, T.; LAMBERTS, R. Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. Florianópolis: UFSC, 1994. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Bioclimatologia.pdf>. Acesso em: jun. 2018.

FREIE UNIVERSITÄT BERLIN (FUB). *Projeto do Departamento de História e Estudos Culturais por Florian Nagler Architekete*. Berlin: FUB, 2015. Disponível em: <https://www.fu-berlin.de/presse/informationen/fup/2015/fup_15_111-neubau-kleine-faecher/index.html>. Acesso em: nov. 2018.

FREIE UNIVERSITÄT BERLIN (FUB). *Sustainability Report 2018*. Berlin: FUB, 2018. p. 9-57.

GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. *Energy and Buildings*, v. 18, p. 11-23, 1992. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/330858579/GIVONI-Comfort-Climate-Analysis-and-Building-Design-Guidelines>>. Acesso em: nov. 2018.

GONÇALVES, R.F.; KELLER, R.P.; FRANCI, T.K. Análise comparativa das práticas de reuso de água cinza em edificações urbanas na Alemanha e no Brasil. *Revista DAE*, v. 67, n. 217, 2019. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_217_n_1779.pdf>. Acesso em: mar. 2019. <http://doi.org/10.4322/dae.2019.024>

GOOGLE EARTH. *Mapa: Localização do Campus Objeto de Estudo*. Disponível em: <[https://www.google.com.br/maps/place/Universidade+Federal+do+Sul+da+Bahia+\(UFSE\)+Campus+Sos%C3%ADgenes+Costa/](https://www.google.com.br/maps/place/Universidade+Federal+do+Sul+da+Bahia+(UFSE)+Campus+Sos%C3%ADgenes+Costa/)>. Acesso em: mar. 2019.

GREEN BUILDING STUDIO (GBS). *Autodesk Program*. Rosa dos ventos em Porto Seguro. Disponível em: Programa Green Building Studio. Acesso em: mar. 2019.

GRIMM, A.M. *Meteorologia Básica*. Índices de Desconforto Humano. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>>. Acesso em: jun. 2018.

GUIMARÃES, A, G, L. *A obra de João Filgueiras Lima no contexto da cultura da arquitetura contemporânea*. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/2/2136/tde-26112008-073857/pt-br.php>>. Acesso em: nov. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias*. IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas>. Acesso em: 13 dez. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Estações meteorológicas e dados de Porto Seguro-BA*. INMET, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: abr. 2019.

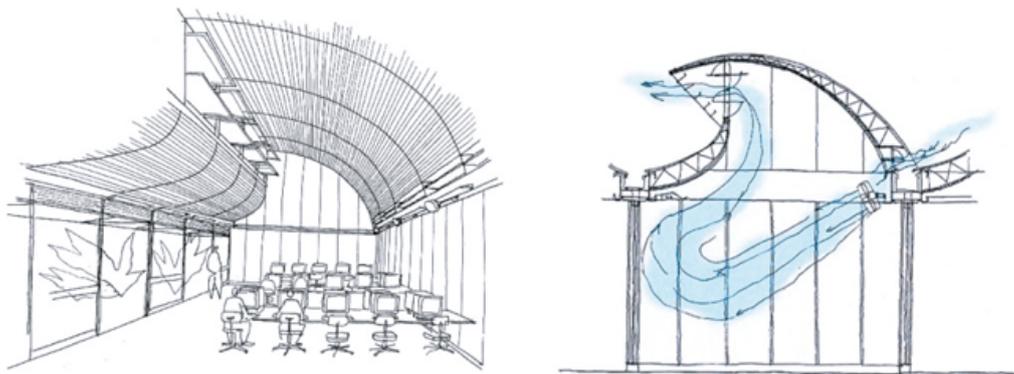
LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. *Eficiência Energética na Arquitetura*. Florianópolis: LABEEE UFSC, 2016.

- LEJA, M.A. Freie Universität Berlin – Holzbau im Großprojekt. In: EUROPÄISCHER KONGRESS EBH, 2015. *Anais...* 2015. Disponível em: <http://www.forum-holzbau.com/pdf/26_EBH_15_Leja.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2019.
- LELÉ, João Filgueiras Lima: Lelé. 1994. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0270/Aula%206_AUT_270_Lele_Conforto.pdf>. Acesso em: nov. 2018.
- LUKIANCHUKI, M.; CAIXETA, M.C.B.F.; FABRICIO, M.M.; CARAM, R. A construção dos hospitais da Rede Sarah: uma tecnologia diferenciada através do Centro de Tecnologia da Rede Sarah- CTRS. *Vitruvius*, 2011. Disponível em: <<https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.134/3975>>. Acesso em: set. 2019.
- MUSEU DA CASA BRASILEIRA. *A Arquitetura de Lelé: Fábrica de Invenção*. São Paulo: IMESP; Museu da Casa Brasileira, 2010. Disponível em: <<https://mcb.org.br/pt/programacao/exposicoes/a-arquitetura-de-lele-fabrica-e-invencao-itinerancia-em-salvador-ba/>>. Acesso em: nov. 2018.
- OLGYAY, V. *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. 4. ed. Nova Jersey: Princeton University Press, 1973.
- PELLEGRINO, P., CASTAÑER, C. Oficina de projeto do LabVerde para implantação de infraestrutura verde no Campus USP - Cidade Universitária. *Revista LabVerde*, São Paulo, n. 9, p. 165-171, 2015. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i9p165-171>
- PEREIRA, D.C.L. *Modelos físicos reduzidos: uma ferramenta para avaliação da iluminação natural*. 246f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- PEREIRA, E.B.; MARTINS, R.F.; GONÇALVES, A.R.; COSTA, R.S.; LIMA, F.J.L.; RÜTHER, R.; ABREU, S.L.; TIEPOLO, G.M.; PEREIRA, S.V.; SOUZA, J.G. *Atlas brasileiro de energia solar*. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>>. Acesso em: jan. 2019.
- PINTO, A.C.; ANTUNES, T.J.; SANTOS, V.C.; COSTA, C.B.N.; COSTA, J.A.S. Composição florística de um fragmento de floresta no Corredor Central da Mata Atlântica, Sul da Bahia, Brasil. *Paubrasilia*, v. 2, n. 2, 2019.
- RIBEIRO, F.M.; KRUGLIANSKAS, S. A Economia Circular no contexto europeu: Conceito e potenciais de contribuição na modernização das políticas de resíduos sólidos. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 16., 2014, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2014.
- RIZZINI, C.T. *Tratado de Fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos*. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições, 1997. 747 p.
- SANTOS, C.R. *Estratégias de projeto para melhores desempenhos ambientais nos espaços de ensino: estudo de caso na UFSB em Porto Seguro*. 112f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul da Bahia, Porto Seguro, 2019.
- SATISH, U.; MENDELL, M.J.; SHEKAR, K.; HOTCHI, T.; SULLIVAN, D.; STREUFERT, S.; FISK, W.J. Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. *Environmental Health Perspectives*, v. 120, n. 12, p. 1671-1677, 2012. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3548274/>>. Acesso em: mar. 2019. <https://dx.doi.org/10.1289%2Fehp.1104789>
- TIBA, C. *Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111p.
- TRIGO, C.C. *Pré-fabricado em argamassa armada: material, técnica e desenho desenvolvidos por Lelé*. 162f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- UNIVERSITY ALLIANCE FOR SUSTAINABILITY (UAS). *Boas práticas registradas em rede de conhecimento*. Disponível em: <<https://www.fu-berlin.de/en/sites/uas/index.html>>. Acesso em: 1º nov. 2019.
- UNIVERSITY ALLIANCE FOR SUSTAINABILITY. In: Spring Campus, 3., 2018, Berlim. *Anais...* Berlim: Freie Universität Berlin (FUB), 2018.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). *Anuário estatístico*. São Paulo: USP, 2018. Disponível em: <<https://uspdigital.usp.br/anuario/AnuarioControle>>. Acesso em: set. 2018.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). *Projects: Rochaverá Corporate Towers*. USGBC, 2009. Disponível em: <<https://www.usgbc.org/projects/rochavera-corporate-towers-torre-b>>. Acesso em: ago. 2019.

VOHLIDKA, P. *Waldorf School Stuttgart Uhlandshöhe Project*. Stuttgart: TUM, 2018. Disponível em: <<https://www.tum.de/>>. Acesso em: out. 2018.

ANEXOS



Fonte: MUSEU DA CASA BRASILEIRA, 2010.

Anexo 1 – Sistemas de ventilação, concebidos por Lelé, para os hospitais da Rede Sarah Kubitscheck.



Fonte: LELÉ, 1994.

Anexo 2 – Sistema de ventilação natural com galerias de ar, esquadrias e venezianas concebidas por Lelé para o Hospital Sarah Salvador, BA.



Fonte: FUB, 2018.

Anexo 3 – Freie Universität Berlin. Fachada que minimiza desperdícios: modulação e racionalidade.



Fonte: FUB, 2018.

Anexo 4 – Usina solar na laje de cobertura da Freie Universität Berlin.



Fonte: FUB, 2018.

Anexo 5 – Sistemas zenitais: domus e instalações no teto verde da Freie Universität Berlin.



Anexo 6 – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU, USP): sistemas de iluminação e ventilação natural concebidos pelo arquiteto Artigas.



Anexo 7 – Usina fotovoltaica no campus Cidade Universitária, Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo.

