



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS
CATEGORIA 2

ESTAÇÕES METROFERROVIÁRIAS COMO INFRAESTRUTURA AMBIENTAL

ATIVA: BIOARQUITETURA NA TRENSURB

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, o crescimento das cidades e a necessidade de redução do consumo de recursos naturais impõem novos desafios à infraestrutura urbana. Nesse contexto, os sistemas de transporte coletivo assumem papel estratégico não apenas na mobilidade, mas também na promoção da sustentabilidade ambiental e da resiliência urbana.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O presente trabalho apresenta um estudo de proposições sustentáveis para as estações da Trensurb, fundamentado nos princípios da bioarquitetura, da arquitetura biofílica, da arquitetura bioclimática e da infraestrutura ambiental integrada. Parte-se do entendimento de que as estações metroferroviárias podem exercer papel que transcende sua função operacional, tornando-se equipamentos urbanos capazes de produzir benefícios ambientais, melhorar o desempenho das edificações e atuar como instrumentos permanentes de educação ambiental.

Tradicionalmente concebidas como espaços destinados ao embarque e desembarque de passageiros, as estações apresentam elevado potencial para incorporar soluções ambientais capazes de produzir benefícios permanentes à cidade. A integração entre arquitetura, paisagismo, eficiência energética, gestão da água e estratégias passivas de conforto ambiental permite transformar esses equipamentos em Infraestruturas Ambientais Ativas, ampliando sua contribuição para além da operação metroferroviária.

Com esse objetivo, foram desenvolvidos estudos aplicados em diferentes tipologias de estações da rede Trensurb. A Estação Farrapos foi utilizada como estudo-piloto para implantação de sistemas ambientais integrados voltados ao reaproveitamento de recursos naturais, infraestrutura verde e educação ambiental. Complementarmente, as estações do sistema Aeromóvel foram adotadas como estudo de caso para avaliação de estratégias bioclimáticas e de reconstrução resiliente após as enchentes que atingiram



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Porto Alegre em 2024, demonstrando como eventos climáticos extremos podem representar oportunidades para incorporação de soluções mais eficientes e sustentáveis.

Ao reunir estudos desenvolvidos para diferentes realidades da rede metroferroviária, o trabalho propõe uma abordagem sistêmica para futuras intervenções na Trensurb, demonstrando que a infraestrutura de transporte coletivo pode desempenhar papel ativo na mitigação dos impactos ambientais, na adaptação às mudanças climáticas, na qualificação dos espaços públicos e na formação de uma cultura de sustentabilidade junto aos usuários.

DIAGNÓSTICO

Conforto ambiental e arquitetura bioclimática

Um dos principais desafios observados nas estações da Trensurb refere-se às condições de conforto ambiental oferecidas aos usuários e aos funcionários. Em edificações destinadas à permanência e circulação contínua de pessoas, especialmente aquelas com extensas superfícies envidraçadas e elevada exposição à radiação solar, o desempenho térmico influencia diretamente a qualidade do ambiente interno, o consumo energético decorrente da climatização artificial e a percepção de bem-estar dos ocupantes.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A arquitetura bioclimática busca justamente adequar o projeto arquitetônico às características climáticas locais, utilizando estratégias passivas capazes de proporcionar conforto ambiental com menor consumo de energia. Segundo Victor Olgyay, considerado um dos pioneiros dessa abordagem, o desempenho das edificações depende da integração entre clima, implantação, orientação solar, ventilação natural e características construtivas, de forma a aproveitar os recursos naturais disponíveis e reduzir a necessidade de condicionamento artificial dos ambientes.

Complementando esse entendimento, Baruch Givoni destaca que o conforto térmico resulta da interação entre o clima, o edifício e seus usuários, podendo ser significativamente aprimorado mediante estratégias passivas como ventilação cruzada, ventilação por efeito chaminé, proteção solar, iluminação natural e utilização da vegetação como elemento regulador do microclima.

O conforto térmico pode ser definido como a condição de satisfação do indivíduo em relação ao ambiente térmico, decorrente do equilíbrio entre o calor produzido pelo organismo humano e as condições ambientais. Essa percepção é influenciada por fatores como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade dos ventos, radiação incidente, atividade metabólica e vestuário dos usuários, variáveis que devem ser consideradas durante o processo de projeto para garantir ambientes confortáveis e energeticamente eficientes.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

No contexto brasileiro, esses princípios encontram respaldo nas diretrizes estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, especialmente na ABNT NBR 15220, que apresenta critérios para o zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo, e na ABNT NBR 15575, cujos conceitos de desempenho térmico constituem importante referência para avaliação da qualidade ambiental das edificações.

Sob essa perspectiva, estratégias como orientação solar adequada, ventilação cruzada, efeito chaminé, proteção das fachadas por meio de brises, aproveitamento da iluminação natural, utilização de coberturas vegetadas e sistemas de reaproveitamento de água passam a integrar um conjunto de soluções capazes de reduzir a dependência de sistemas mecânicos de climatização, diminuir o consumo energético e promover melhores condições de conforto ambiental e sustentabilidade.

Segundo Mascaró (2010), o desempenho térmico das edificações está diretamente relacionado aos mecanismos de transferência de calor por radiação, condução e convecção. A compreensão desses fenômenos fundamentou o desenvolvimento das estratégias projetuais propostas neste estudo, voltadas ao controle da radiação solar, à redução das trocas térmicas pela cobertura e ao aproveitamento da ventilação natural por meio da ventilação cruzada e do efeito chaminé.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Diagnóstico das estações estudadas

A partir dos referenciais teóricos apresentados, realizou-se o diagnóstico de diferentes tipologias de estações da Trensurb, buscando identificar oportunidades para aplicação de estratégias de bioarquitetura, arquitetura bioclimática e infraestrutura ambiental integrada. A análise evidenciou que, embora as estações possuam características arquitetônicas, construtivas e operacionais distintas, todas apresentam potencial para incorporar soluções passivas voltadas à melhoria do desempenho ambiental, da eficiência energética e do conforto dos usuários.

As estações da Linha 1, implantadas a partir do final da década de 1970, refletem soluções arquitetônicas compatíveis com o contexto tecnológico da época, quando aspectos relacionados ao desempenho ambiental, à eficiência energética e à arquitetura bioclimática ainda não constituíam diretrizes centrais para projetos de infraestrutura pública. Embora representem importantes marcos da mobilidade urbana da Região Metropolitana de Porto Alegre, observa-se que essas edificações priorizaram critérios estruturais, funcionais e operacionais, incorporando de forma limitada estratégias passivas de condicionamento ambiental.

Nas estações elevadas da Linha 1, representadas neste estudo pela Estação Farrapos (fig.1), apresentam plataformas com configuração predominantemente aberta. Embora essa solução favoreça a ventilação natural, expõe os usuários às condições climáticas durante o ano. Nos meses de inverno, a ausência de barreiras contra ventos e chuvas



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

reduz o conforto nas áreas de espera. Durante o verão, a incidência direta da radiação solar provoca aumento da carga térmica e desconforto aos passageiros, sem que existam elementos arquitetônicos destinados ao controle da insolação.



Figura 1 – Vista da plataforma da estação Farrapos. Fonte: Foto do Autor

Além das questões relacionadas ao conforto térmico, identificou-se potencial ainda pouco explorado para implantação de soluções voltadas ao reaproveitamento de águas pluviais, geração de energia renovável, ampliação da biodiversidade urbana e educação ambiental. Essas características motivaram a escolha da Estação Farrapos como estudo-piloto para o desenvolvimento das propostas apresentadas neste trabalho.

Paralelamente, foram realizados estudos nas estações ATR e ASG, do sistema Aeromóvel, responsável pela ligação entre a Estação Aeroporto da Trensurb e o Aeroporto Internacional Salgado Filho.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A estação ATR (Fig. 2) constitui um anexo da Estação Aeroporto, estando integrada a ela tanto física quanto operacionalmente. Sua fachada principal possui orientação leste, condição que, em princípio, resulta em menor incidência direta de radiação solar quando comparada a fachadas voltadas para oeste. Entretanto, a edificação apresenta cobertura com reduzido desempenho de isolamento térmico e fachadas predominantemente envidraçadas, fatores que favorecem o acúmulo de calor no ambiente interno.



Figura 2 – Vista da Fachada da Estação ATR - Aeromovel. Fonte: Google

A separação entre a estação ATR e a Estação Aeroporto ocorre por meio de portas automáticas, configurando um ambiente praticamente fechado. Embora existam esquadrias do tipo maxim-ar na faixa superior da fachada, a inexistência de aberturas



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

opostas inviabiliza a formação de ventilação cruzada, reduzindo significativamente a eficiência da ventilação natural. Como consequência, ocorre acúmulo de calor no interior da estação, intensificando o efeito estufa provocado pelas superfícies envidraçadas e tornando necessária a utilização de sistemas de climatização artificial tanto para o ambiente de usuários quanto para a sala operacional do Aeromóvel.

A estação ASG (Fig. 3), localizada junto ao terminal do Aeroporto Internacional Salgado Filho, caracteriza-se por uma sequência de pórticos metálicos de dimensões variáveis, conferindo identidade arquitetônica marcante, elevada transparência e forte expressão estrutural. Entretanto, o predomínio de superfícies totalmente envidraçadas, aliado à inexistência de dispositivos de proteção solar e à reduzida capacidade de isolamento térmico da cobertura, resulta em elevada incidência de radiação solar e significativo ganho de calor nos ambientes internos.

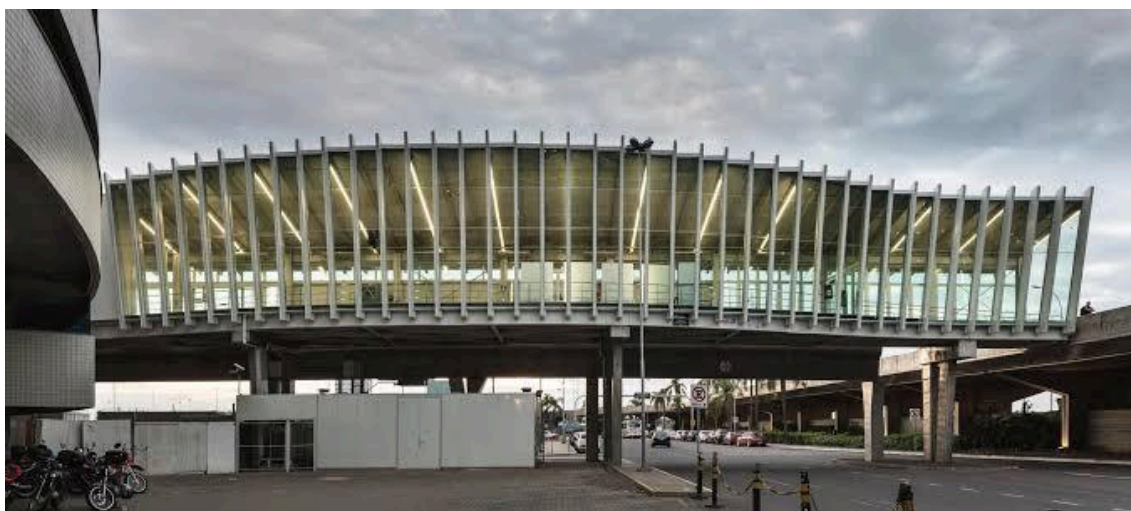


Figura 3 – Vista da Fachada da Estação ASG - Aeromovel. Fonte: Ospa Arquitetura



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Diferentemente da estação ATR, a estação ASG praticamente não possui aberturas destinadas à ventilação natural, tornando sua climatização totalmente dependente de sistemas mecânicos. A situação é agravada pela orientação oeste da fachada principal, submetida à intensa radiação solar no período da tarde, justamente quando se registram as maiores temperaturas externas. (Fig.4)

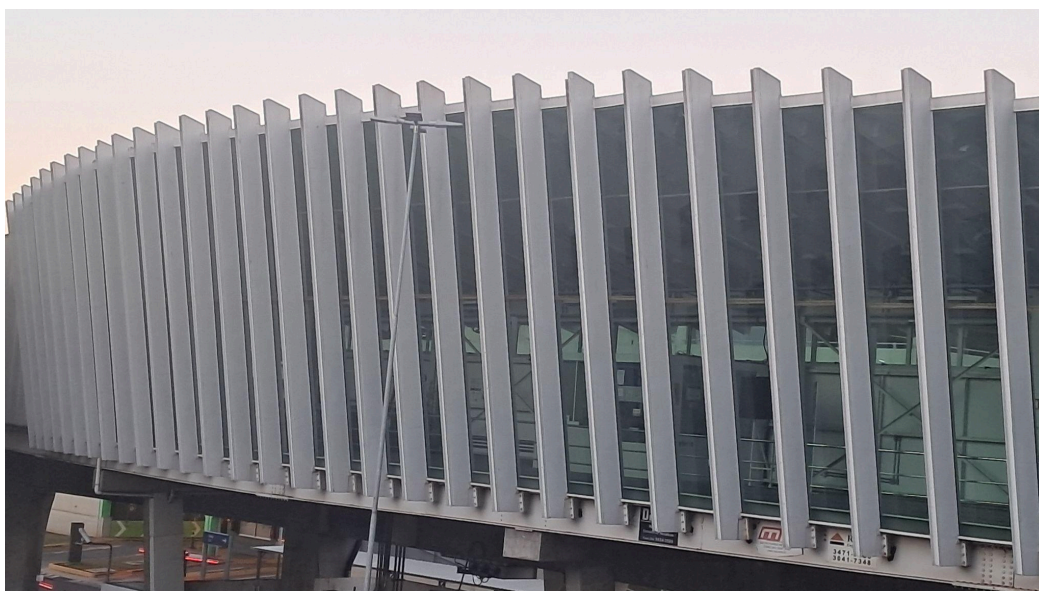


Figura 4 – Vista da Fachada da Estação ASG - Aeromovel. Fonte: Foto do Autor.

Além disso, a estação abriga áreas de bloqueios, circulação de passageiros, setores de acesso controlado e uma bilheteria, cujos operadores permanecem expostos à incidência direta da radiação solar durante boa parte do turno vespertino, comprometendo significativamente as condições de conforto térmico e ergonômico no ambiente de trabalho.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Por apresentar área construída e pé-direito significativamente superiores aos da estação ATR, a estação ASG possui maior carga térmica interna e, consequentemente, maior demanda energética para climatização artificial. Esse cenário evidencia um paradoxo entre a concepção arquitetônica da estação e o próprio conceito do sistema Aeromóvel, reconhecido internacionalmente por sua elevada eficiência energética. O sistema utiliza propulsão pneumática por motores elétricos estacionários que insuflam ar em dutos de concreto para movimentação de veículos leves, reduzindo significativamente o consumo de energia durante a operação. Entretanto, parte dessa eficiência é comprometida pela elevada demanda energética necessária para climatizar artificialmente as estações, consequência direta das características de sua envoltória arquitetônica. Dessa forma, observa-se que a eficiência do sistema de transporte não é acompanhada pelo desempenho ambiental das edificações de apoio, evidenciando a necessidade de incorporar estratégias bioclimáticas capazes de reduzir a dependência de sistemas mecânicos de climatização.

As enchentes que atingiram Porto Alegre em maio de 2024 evidenciaram outra importante vulnerabilidade do sistema Aeromóvel. Grande parte dos equipamentos eletromecânicos, incluindo as subestações elétricas e os Grupos Moto-Propulsores (GMP), responsáveis pela geração do fluxo de ar que movimenta os veículos, encontrava-se instalada ao nível do solo e sofreu severos danos durante a inundações. O evento demonstrou que a recuperação do sistema representa uma oportunidade não



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

apenas para a recomposição da infraestrutura existente, mas também para a revisão dos conceitos arquitetônicos, funcionais e de resiliência adotados em sua concepção.

O autor deste estudo participou da concepção do estudo da linha urbana do Aeromóvel no município de Canoas (Fig. 5). Diferentemente da solução adotada na ligação Aeroporto–Trensurb, a proposta para Canoas considera os equipamentos eletromecânicos à estrutura elevada das estações, posicionando os Grupos Moto-Propulsores e as subestações sob a plataforma de embarque. Essa estratégia reduz significativamente a vulnerabilidade frente a eventos de inundação, facilita a manutenção e promove maior integração entre a arquitetura das estações e a infraestrutura operacional do sistema. Diante da necessidade de novos investimentos para a recuperação e reativação do sistema Aeromóvel afetado pelas enchentes de 2024, identifica-se a oportunidade de incorporar às estações ATR e ASG os mesmos princípios adotados na proposta da linha urbana de Canoas.

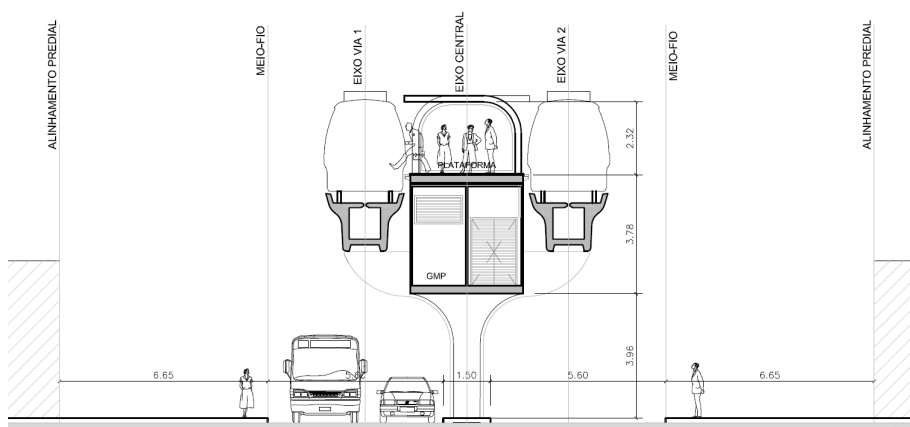


Figura 5 – Proposta da estação Aeromovel de Canoas. Fonte: Projeto do Autor / 2015.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ANÁLISE DOS RESULTADOS

As propostas desenvolvidas fundamentam-se nos princípios da arquitetura bioclimática descritos por Mascaró (2010), segundo os quais o desempenho térmico das edificações está diretamente relacionado ao controle dos três principais mecanismos de transferência de calor: radiação, condução e convecção.

Para o controle da radiação solar foram selecionados dispositivos de sombreamento como brises, chapas perfuradas, telas metálicas vegetadas, películas de controle espectral e adesivos microperfurados, capazes de reduzir significativamente a incidência da radiação infravermelha sobre as fachadas sem comprometer a iluminação natural e a integração visual entre interior e exterior.

Para minimizar as trocas térmicas por condução através da cobertura, propôs-se a implantação de coberturas verdes associadas a camadas de isolamento térmico. Essa solução reduz o fluxo de calor para o interior da edificação, melhora o desempenho térmico, amplia a vida útil da impermeabilização e contribui para a retenção das águas pluviais.

Para o controle das trocas térmicas por convecção e a consequente redução do calor acumulado no interior das estações, foram adotadas, de forma combinada, as estratégias de ventilação cruzada e efeito chaminé. A associação entre venezianas posicionadas em fachadas opostas e exaustores eólicos instalados na cobertura



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

favorece a admissão de ar externo e a extração do ar aquecido, promovendo a renovação contínua do ar interno e reduzindo a dependência de sistemas mecânicos de climatização. Os princípios, critérios de dimensionamento e desempenho de cada uma dessas soluções são apresentados nos seguintes itens:

a) Adesivo microperfurado para controle da radiação solar

O adesivo microperfurado (one-way vision) (Fig. 6) consiste em uma película vinílica perfurada aplicada sobre superfícies envidraçadas, originalmente desenvolvida para comunicação visual, mas que também apresenta importante contribuição para o controle da radiação solar incidente. Sua superfície é formada por milhares de microperfurações que permitem elevada transmissão da luz natural e visibilidade do ambiente interno para o exterior, ao mesmo tempo em que reduzem parcialmente a incidência direta da radiação solar e o ofuscamento provocado pela luminosidade excessiva.

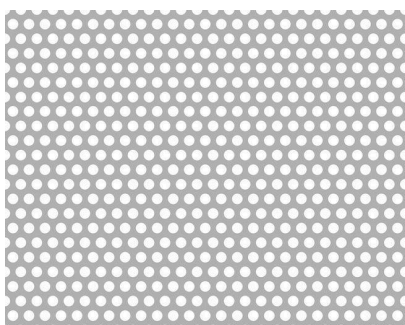


Figura 6 – Adesivo Perfurado . Fonte: Google



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Seu funcionamento está baseado na redução da intensidade da radiação incidente por meio da combinação entre áreas opacas e perfuradas, que promovem sombreamento parcial das superfícies transparentes sem impedir a comunicação visual entre interior e exterior da edificação. Essa característica torna o sistema particularmente interessante em estações de transporte coletivo, nas quais a transparência constitui importante elemento de orientação espacial, segurança e integração visual com o ambiente urbano.

Entre suas principais vantagens destacam-se a facilidade de instalação, baixo custo, reduzida interferência na arquitetura existente, possibilidade de aplicação em edificações já construídas e ausência de alterações estruturais na envoltória. Além disso, o sistema reduz o ofuscamento provocado pela incidência direta da luz solar sobre usuários e operadores, melhora as condições de conforto visual e contribui para diminuir a carga térmica incidente sobre os ambientes internos.

Embora seu desempenho térmico seja inferior ao de películas de controle espectral, o adesivo microperfurado representa solução complementar eficiente quando utilizado em conjunto com outras estratégias passivas, como brises, vegetação, ventilação natural e películas de controle solar.

Nas estações ATR e ASG, propõe-se sua aplicação em fachadas de maior exposição solar, especialmente voltadas para oeste, reduzindo o desconforto causado pela



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

radiação incidente durante o período da tarde sem comprometer a transparência característica da arquitetura das estações.

b) Películas de controle espectral da radiação solar

As películas de controle espectral constituem sistemas de proteção solar aplicados diretamente sobre superfícies envidraçadas, desenvolvidos para reduzir a transmissão de energia térmica proveniente da radiação solar sem comprometer significativamente a entrada de iluminação natural.

Seu funcionamento baseia-se na filtragem seletiva dos diferentes comprimentos de onda da radiação solar. Enquanto permitem elevada transmissão da luz visível, responsável pela iluminação natural dos ambientes, essas películas bloqueiam parcela significativa da radiação infravermelha, principal responsável pelo aquecimento interno das edificações, além de reduzirem praticamente a totalidade da radiação ultravioleta, contribuindo também para preservação de materiais e proteção dos usuários.

Dependendo da tecnologia empregada — metalizada, cerâmica ou nanoespectral — essas películas podem bloquear entre 70% e 95% da radiação infravermelha e aproximadamente 99% da radiação ultravioleta, mantendo elevados níveis de transparência óptica. Como consequência, observa-se redução significativa da carga térmica incidente sobre o ambiente interno e diminuição da demanda energética dos sistemas de climatização artificial.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Além da melhoria do desempenho térmico, destacam-se benefícios relacionados ao conforto visual, redução do ofuscamento, proteção do mobiliário contra degradação causada pela radiação UV e aumento da eficiência energética da edificação.

Nas estações ATR e ASG, a utilização dessas películas constitui uma das principais estratégias para reduzir os ganhos térmicos decorrentes das extensas superfícies envidraçadas, preservando simultaneamente a linguagem arquitetônica original das edificações e reduzindo significativamente a necessidade de climatização artificial.

c) Cobertura verde (Telhado Verde) para controle da condução do calor

A cobertura verde (Fig.7) consiste na implantação de vegetação sobre a cobertura da edificação mediante sistema composto por impermeabilização, camada de proteção mecânica, drenagem, filtro geotêxtil, substrato vegetal e espécies vegetais adaptadas às condições climáticas locais. Trata-se de uma das principais estratégias da arquitetura bioclimática e da infraestrutura verde, promovendo simultaneamente benefícios ambientais, energéticos, hidráulicos e paisagísticos.

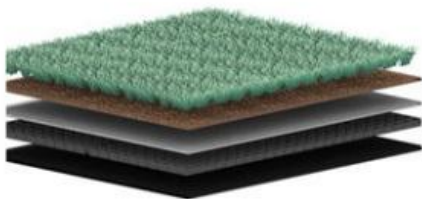


Figura 7 – Cobertura Vegetal Alveolar . Fonte: www.ecotelhado.com



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Seu desempenho térmico decorre principalmente da combinação entre sombreamento da cobertura, evapotranspiração das espécies vegetais e elevada inércia térmica proporcionada pelo substrato. Esses mecanismos reduzem significativamente a transferência de calor por condução através da cobertura, diminuindo a temperatura superficial das telhas e, conseqüentemente, a carga térmica transmitida ao ambiente interno.

Diversos estudos demonstram que coberturas vegetadas podem reduzir a temperatura superficial da cobertura em 20 °C a 40 °C quando comparadas às coberturas convencionais expostas diretamente ao sol. Em consequência, observa-se redução da temperatura interna dos ambientes, normalmente entre 2 °C e 6 °C, além de significativa diminuição do consumo energético destinado à climatização artificial.

Além dos benefícios térmicos, as coberturas verdes desempenham importante função na gestão das águas pluviais, retardando o escoamento superficial, reduzindo picos de vazão durante chuvas intensas e promovendo filtragem inicial da água antes de sua condução aos reservatórios de reaproveitamento. Também contribuem para a mitigação das ilhas de calor urbanas, ampliação da biodiversidade, melhoria da qualidade do ar, retenção de partículas atmosféricas, redução da poluição sonora e aumento da vida útil da impermeabilização da cobertura.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

d) Exaustores eólicos e ventilação por efeito chaminé

Os exaustores eólicos (Fig. 8) constituem dispositivos de ventilação natural destinados à renovação contínua do ar interno das edificações, dispensando consumo de energia elétrica. Seu funcionamento baseia-se na combinação entre a ação dos ventos e o efeito chaminé, fenômeno físico decorrente da diferença de densidade entre o ar quente e o ar frio.



Figura 8 – Exaustor eólico . Fonte: Google

O equipamento é composto por uma turbina metálica dotada de aletas aerodinâmicas montadas sobre rolamentos de baixo atrito. A incidência dos ventos provoca a rotação da turbina, gerando uma região de baixa pressão em seu interior. Simultaneamente, o ar aquecido acumulado próximo à cobertura da edificação, por apresentar menor densidade, tende naturalmente a ascender. A combinação desses fenômenos promove a extração contínua do ar quente do ambiente interno, favorecendo sua substituição por ar externo proveniente de aberturas estrategicamente posicionadas nas fachadas, caracterizando um sistema permanente de ventilação natural.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Além de reduzir a temperatura interna, a renovação constante do ar contribui para a diminuição da umidade, remoção de odores, redução da concentração de dióxido de carbono (CO₂) e melhoria da qualidade do ar, proporcionando melhores condições de conforto ambiental aos usuários.

Quando associado à ventilação cruzada, o sistema apresenta desempenho significativamente superior, pois a retirada do ar quente pela cobertura induz a entrada de ar mais fresco pelas fachadas opostas, aumentando a velocidade do fluxo de ar no interior da edificação e potencializando as trocas térmicas por convecção.

Diversos estudos demonstram que estratégias passivas de ventilação podem reduzir a temperatura interna das edificações entre 2 °C e 5 °C, dependendo das características climáticas, da geometria da cobertura, da orientação da edificação e da eficiência das aberturas de entrada de ar. Embora o desempenho varie conforme cada situação, essa redução pode representar diminuição expressiva na demanda por sistemas mecânicos de climatização, reduzindo simultaneamente o consumo de energia elétrica e os custos operacionais da edificação.

Os fabricantes disponibilizam curvas de desempenho em função do diâmetro do equipamento e da velocidade do vento. Exaustores com diâmetros entre 500 mm e 700 mm normalmente apresentam vazões entre aproximadamente 2.000 e 6.000 m³/h, podendo atingir valores superiores em condições favoráveis de vento.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Nas estações ATR e ASG, os exaustores eólicos foram propostos em conjunto com venezianas estrategicamente posicionadas nas fachadas, formando um sistema de ventilação cruzada associado ao efeito chaminé. Enquanto as venezianas promovem a admissão de ar externo, os exaustores instalados na cobertura realizam a extração contínua do ar aquecido acumulado próximo ao teto, reduzindo a carga térmica interna sem consumo de energia elétrica.

A solução torna-se especialmente adequada ao sistema Aeromóvel, pois estabelece coerência entre a arquitetura da estação e o princípio tecnológico do próprio modal, baseado na movimentação do ar como elemento fundamental de seu funcionamento. Dessa forma, o fluxo natural dos ventos passa a atuar simultaneamente na melhoria do conforto ambiental e na redução do consumo energético da infraestrutura.

Propostas aplicadas nas estações - bioarquitetura ativa

As propostas desenvolvidas foram estruturadas como um conjunto integrado de estratégias ambientais capazes de atuar simultaneamente sobre a eficiência hídrica, o desempenho energético, o conforto ambiental e a resiliência climática das estações estudadas. Em vez da adoção de soluções isoladas, buscou-se integrar sistemas complementares fundamentados nos princípios da bioarquitetura, da arquitetura bioclimática e da infraestrutura verde.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Enquanto a Estação Farrapos foi utilizada como estudo-piloto para implantação de soluções voltadas à gestão hídrica, eficiência energética e educação ambiental, as estações do sistema Aeromóvel concentraram estudos relacionados ao conforto térmico passivo, ao controle das trocas térmicas da envoltória arquitetônica e ao aumento da resiliência da infraestrutura frente a eventos climáticos extremos.

Estação Farrapos: infraestrutura ambiental integrada

Na Estação Farrapos (Fig. 9) foi desenvolvido estudo com sistema integrado de gestão hídrica baseado na captação das águas pluviais por meio da cobertura da estação. A água coletada é conduzida até reservatórios implantados na própria plataforma, que desempenham dupla função, atuando simultaneamente como reservatórios de armazenamento e mobiliário urbano, servindo como bancos para os usuários.

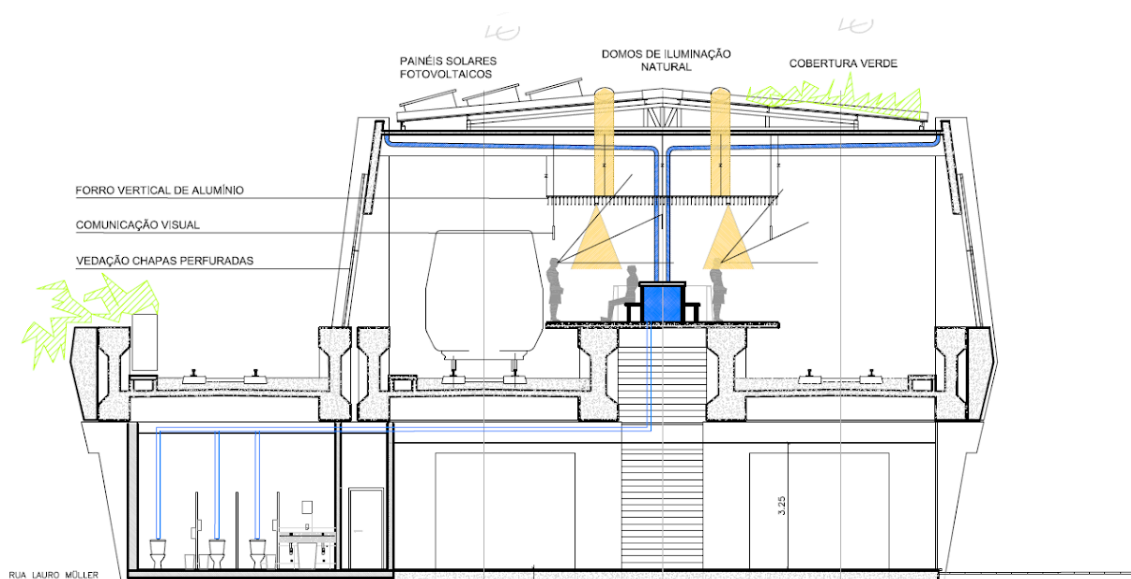


Figura 9 – Proposta estação Farrapos. Corte Transversal. Fonte: Projeto do Autor



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Totens educativos integrados aos reservatórios explicam o ciclo completo da água, desde sua coleta na cobertura até o reaproveitamento nas descargas sanitárias localizadas no pavimento inferior, transformando a própria infraestrutura em instrumento permanente de educação ambiental e conscientização sobre o uso racional dos recursos hídricos.

A cobertura incorpora sistema de telhado verde destinado à melhoria do desempenho térmico da edificação, redução das ilhas de calor urbanas e filtragem inicial das águas pluviais. Espécies vegetais distribuídas nas áreas de circulação e permanência contribuem para o conforto ambiental, qualificação paisagística e ampliação da biodiversidade urbana. Parte dessa vegetação também integra jardins filtrantes destinados ao tratamento das águas cinzas geradas pela própria estação. (Fig.10)



Figura 10 – Perspectiva da proposta para estação Farrapos. Fonte: projeto do autor.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

No campo energético, foram propostos domos de iluminação zenital para maximizar o aproveitamento da luz natural, sistemas de iluminação LED de baixo consumo e painéis fotovoltaicos capazes de suprir parte da demanda energética da estação.

A fachada principal foi reconfigurada mediante utilização de chapas perfuradas e telas metálicas destinadas ao desenvolvimento de vegetação trepadeira, formando uma fachada ventilada capaz de reduzir os ganhos térmicos da edificação. Integrados a esse sistema encontram-se painéis de LED destinados tanto à comunicação institucional quanto à divulgação de informações relacionadas à sustentabilidade. (Fig. 11)

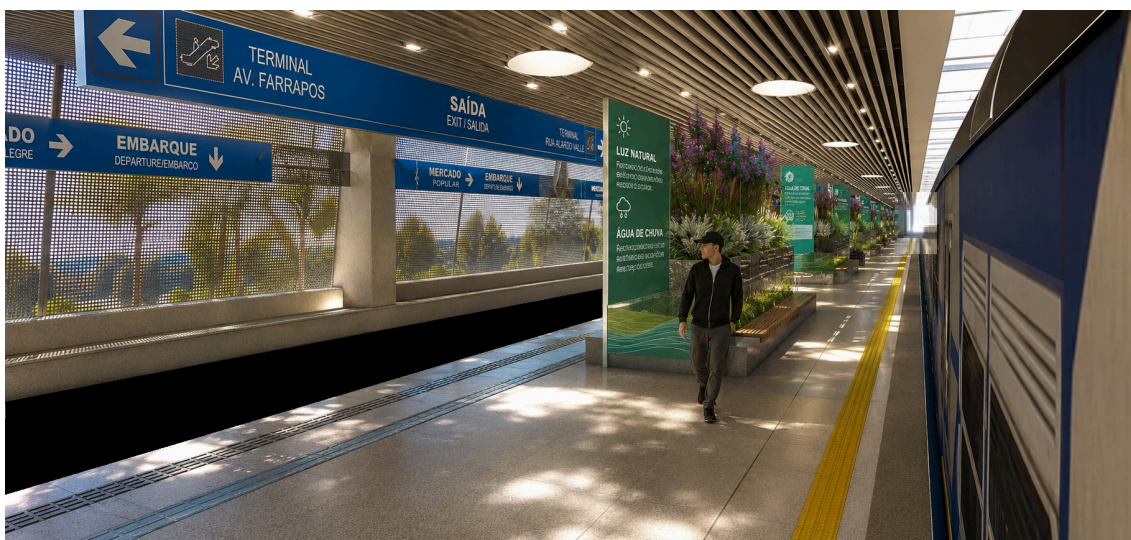


Figura 11 – Perspectiva interna ilustrando conjunto iluminação através de tubos solares combinados com iluminação LED, brises na fachada, mobiliário e paisagismo.
Fonte: projeto do autor.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Estações ATR e ASG: conforto ambiental e eficiência energética

Como estudo complementar, as estações ATR e ASG (Figs. 12 e 13) do sistema Aeromóvel concentraram as proposições voltadas à melhoria do desempenho térmico da envoltória arquitetônica, por meio da aplicação integrada de estratégias passivas de condicionamento ambiental.

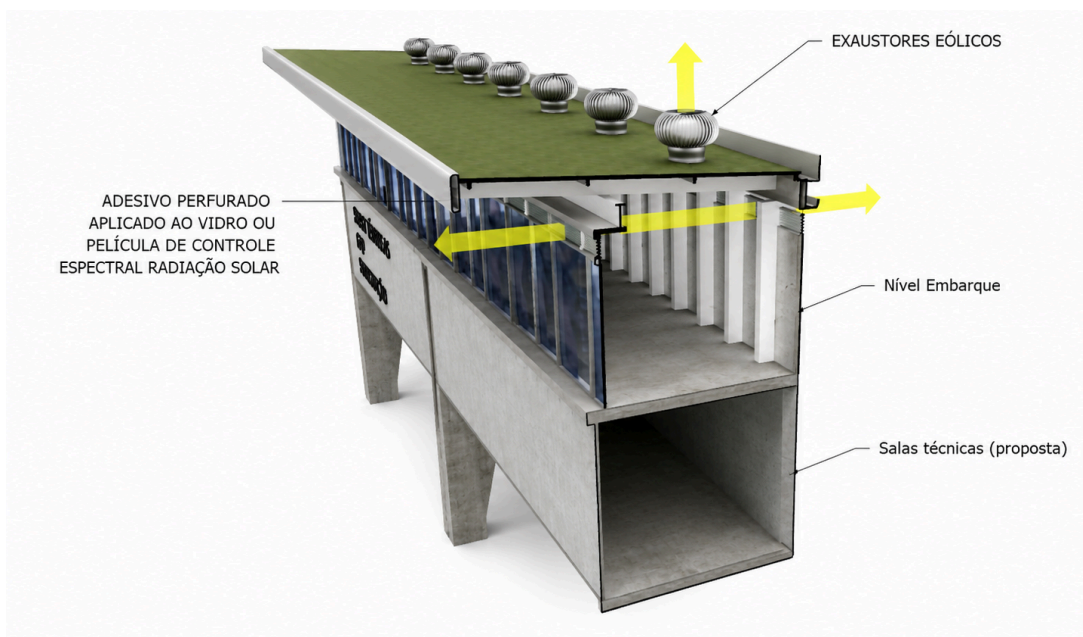


Figura 12 – Proposta para a estação ATR. Fonte: Projeto do Autor

Para reduzir os ganhos térmicos pela cobertura, propõe-se a implantação de coberturas verdes associadas a camadas de isolamento térmico em lã de rocha sob a cobertura existente. Nas superfícies envidraçadas, são propostas películas de controle solar e, nos pontos de maior incidência da radiação, elementos complementares de sombreamento. Essas intervenções buscam reduzir os ganhos de calor pela envoltória



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

sem comprometer a iluminação natural e a transparência que caracterizam a arquitetura das estações.

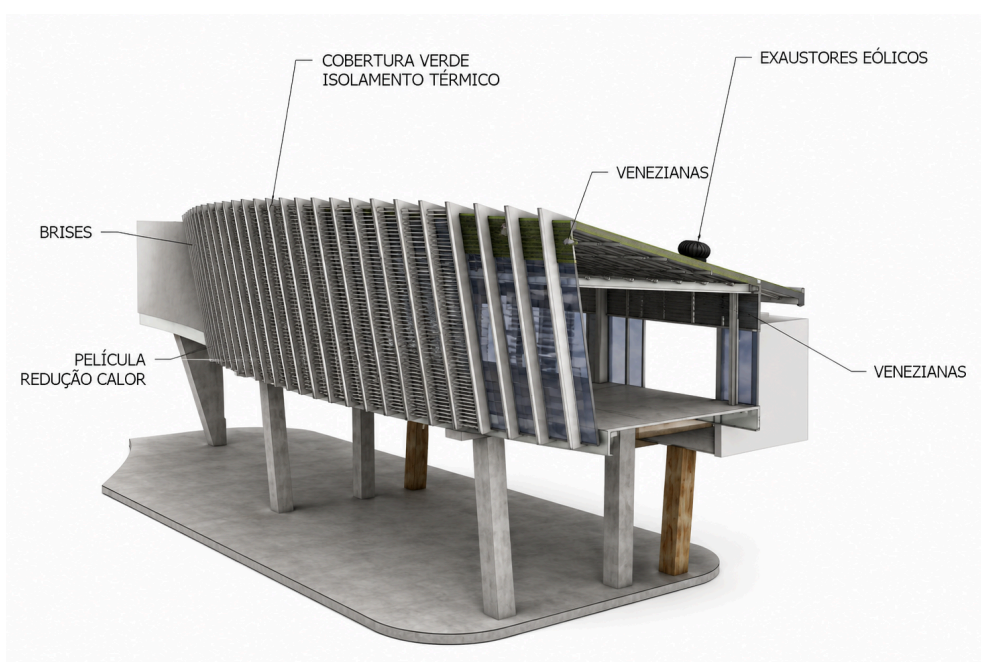


Figura 13 – Proposta para a estação ASG. Fonte: Projeto do Autor

Em relação à ventilação natural, propõe-se a substituição de parte dos painéis fixos de vidro por esquadrias dotadas de venezianas, estrategicamente posicionadas para favorecer a admissão e a circulação do ar. Associada a essa estratégia, prevê-se a instalação de exaustores eólicos na cobertura, potencializando a extração do ar aquecido acumulado na parte superior das edificações por meio do efeito chaminé. A atuação combinada da ventilação cruzada e da exaustão natural favorece a renovação contínua do ar interno e contribui para reduzir a dependência de sistemas mecânicos de climatização.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

No caso específico do Aeromóvel, essas estratégias assumem significado adicional ao estabelecer maior coerência entre a arquitetura das estações e os princípios tecnológicos do próprio sistema de transporte. Assim como os veículos são movimentados pelo fluxo de ar gerado nos dutos de propulsão, as edificações passam a utilizar o movimento natural do ar como elemento ativo de condicionamento ambiental, reforçando os conceitos de eficiência energética, sustentabilidade e inovação associados ao sistema.

Análise preliminar de custo-benefício e retorno do investimento

Além dos benefícios ambientais, foi realizada uma análise preliminar da relação entre o investimento necessário para implantação das estratégias passivas propostas e os custos associados à adoção de uma solução convencional baseada na climatização artificial integral das estações.

Para essa comparação, foram consideradas as características físicas das edificações. A Estação ATR possui aproximadamente 100 m² de área construída, volume interno de 300 m³, 75 m² de superfícies envidraçadas e 100 m² de cobertura. A Estação ASG apresenta 275 m² de área construída, volume aproximado de 1.375 m³, 210 m² de superfícies envidraçadas e 275 m² de cobertura.

No cenário convencional, estimou-se preliminarmente uma capacidade de climatização de aproximadamente 120.000 BTU/h para a ATR e 360.000 BTU/h para a ASG,



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

totalizando 480.000 BTU/h, equivalentes a oito equipamentos comerciais de 60.000 BTU/h. Considerando aquisição, instalação e infraestrutura complementar, o investimento inicial foi estimado em aproximadamente R\$ 138 mil.

Adotando potência elétrica média nominal de aproximadamente 5 kW por equipamento e funcionamento das estações durante 18 horas diárias, o consumo anual varia de acordo com o fator efetivo de utilização dos sistemas. Para fatores médios de carga entre 40% e 80%, estima-se um consumo entre aproximadamente 105.120 e 210.240 kWh/ano. Considerando, para fins comparativos, uma tarifa média de R\$ 1,00/kWh, o custo anual de energia destinado à climatização situar-se-ia entre aproximadamente R\$ 105 mil e R\$ 210 mil, sem considerar reajustes tarifários, manutenção e futura substituição dos equipamentos.

Em contraposição, o cenário baseado em estratégias passivas atua diretamente sobre as causas do superaquecimento das edificações. As intervenções propostas incluem películas de controle solar sobre aproximadamente 285 m² de superfícies envidraçadas, substituição parcial dos painéis fixos por esquadrias com venezianas, instalação de exaustores eólicos, isolamento térmico com lã de rocha e implantação de aproximadamente 375 m² de cobertura verde.

O investimento preliminar para o conjunto completo dessas intervenções foi estimado em aproximadamente R\$ 355 mil. Considerando apenas as medidas diretamente relacionadas à redução da carga térmica e da demanda de climatização — películas de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

controle solar, venezianas, exaustores eólicos e isolamento térmico —, o investimento estimado é de aproximadamente R\$ 187 mil.

A comparação econômica deve considerar, entretanto, que o investimento nas estratégias passivas substitui, total ou parcialmente, a necessidade de implantação inicial dos sistemas convencionais de climatização. Dessa forma, o retorno do investimento não decorre apenas da economia anual de energia, mas também do custo evitado com aquisição e instalação dos equipamentos de ar-condicionado, além das despesas futuras com manutenção e substituição.

Em uma análise simplificada, a relação entre os custos de implantação das estratégias passivas e o consumo energético potencialmente evitado permite estabelecer diferentes cenários de retorno do investimento. Considerando a estimativa preliminar obtida a partir da relação direta entre o custo das intervenções e a economia anual de energia, foi identificada uma faixa teórica de retorno entre aproximadamente 0,9 e 3,4 anos. No cenário mais conservador, associado ao maior investimento inicial e à menor redução estimada do consumo energético com climatização convencional, o período de retorno tende a se aproximar do limite superior dessa faixa. Por outro lado, no cenário mais favorável, considerando menores custos de implantação e maior potencial de economia energética, o retorno do investimento ocorre em período significativamente inferior.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Entretanto, esses valores devem ser interpretados com cautela, pois representam uma aproximação simplificada e pressupõem elevada substituição da climatização artificial pelas estratégias passivas. O desempenho efetivo dependerá da redução real da carga térmica, das condições climáticas, do regime de funcionamento das estações e da eventual necessidade de climatização complementar.

Por essa razão, a análise apresentada não pretende estabelecer um *payback* definitivo, mas demonstrar a pertinência econômica da comparação entre as duas alternativas. A complexidade das variáveis envolvidas indica a oportunidade de desenvolvimento de um estudo específico de viabilidade técnico-econômica, contemplando simulação termoenergética das edificações, dimensionamento preciso das cargas térmicas, desempenho combinado das estratégias passivas, definição dos sistemas complementares de climatização, levantamento de custos executivos, tarifas de energia, custos de manutenção e vida útil dos componentes.

Esse aprofundamento permitiria avaliar o custo global das alternativas ao longo do ciclo de vida da infraestrutura e determinar com maior precisão o período de retorno do investimento. Ainda assim, a análise preliminar evidencia uma diferença fundamental entre os dois modelos: enquanto a climatização convencional depende continuamente do consumo de energia para retirar o calor acumulado nos ambientes, as estratégias passivas atuam sobre a própria arquitetura para reduzir a entrada de calor e favorecer sua dissipação natural.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Nesse sentido, a proposta busca inverter a lógica convencional de condicionamento ambiental: antes de consumir energia para remover o calor acumulado, procura-se reduzir sua entrada e favorecer sua dissipação por meios passivos, utilizando a climatização artificial apenas de forma complementar, quando necessária.

Cabe destacar, ainda, que uma comparação exclusivamente financeira ou energética tende a subestimar os benefícios das soluções propostas. A cobertura verde, além de contribuir para a redução dos ganhos térmicos, atua na retenção e no retardamento do escoamento das águas pluviais, na proteção da impermeabilização, na mitigação das ilhas de calor e na ampliação da biodiversidade. Da mesma forma, a ventilação natural e a renovação permanente do ar proporcionam benefícios relacionados à qualidade ambiental dos espaços que não são diretamente contabilizados no cálculo do *payback*.

Assim, o maior investimento inicial associado às estratégias bioclimáticas deve ser avaliado em relação ao ciclo de vida da infraestrutura e aos benefícios ambientais proporcionados. Enquanto a climatização convencional implica consumo contínuo de energia, manutenção e substituição periódica dos equipamentos, as soluções passivas passam a integrar permanentemente a própria arquitetura das estações, contribuindo para seu desempenho térmico, ambiental e energético.

Biomimética aplicada à arquitetura das estações do Aeromóvel

As enchentes que atingiram Porto Alegre em 2024 evidenciaram a vulnerabilidade dos equipamentos eletromecânicos instalados ao nível do solo, entre eles os Grupos



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Moto-Propulsores (GMP) e as subestações elétricas, essenciais ao funcionamento do sistema Aeromóvel. Os danos provocados pela inundação demonstraram que a recuperação do sistema não deveria representar apenas a reposição da infraestrutura existente, mas também uma oportunidade para ampliar sua resiliência climática, eficiência operacional e desempenho ambiental.

Nesse contexto, as propostas desenvolvidas para as estações ATR e ASG (Fig.14 e Fig.15) incorporam princípios da biomimética, utilizando a natureza como referência para a organização e o funcionamento integrado dos sistemas arquitetônicos e operacionais. Propõe-se a elevação das salas técnicas, dos Grupos Moto-Propulsores e dos demais equipamentos essenciais para o nível das estações, incorporando-os à própria estrutura das edificações e reduzindo sua exposição a futuras inundações.

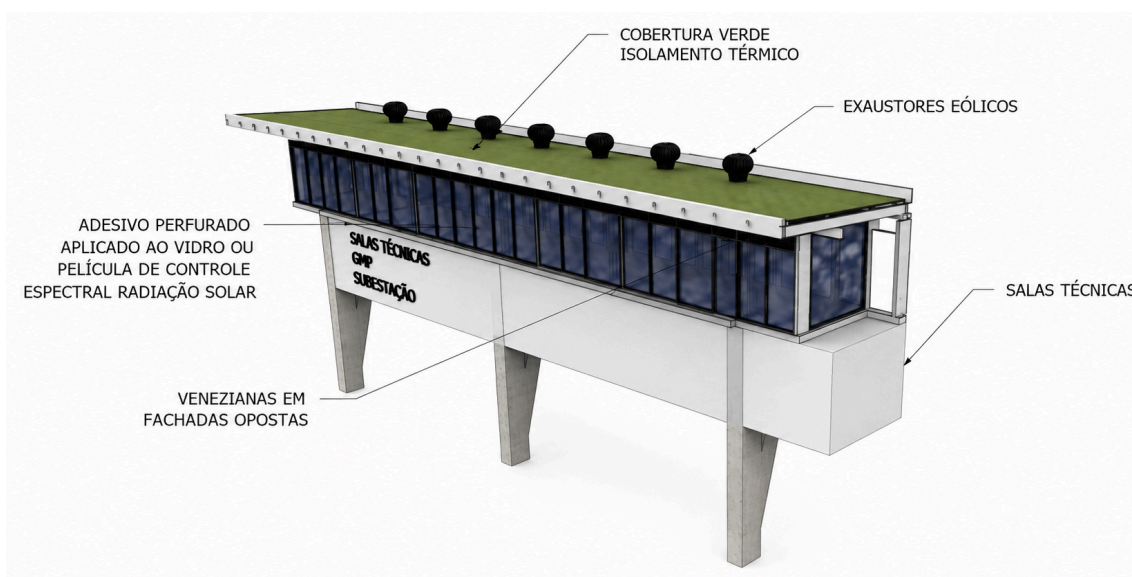


Figura 14 - Proposta Estação ATR. Fonte: Projeto do Autor.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Essa abordagem transforma a recuperação da infraestrutura em uma estratégia de adaptação e resiliência climática. A adoção de princípio semelhante ao desenvolvido para a proposta da linha urbana do Aeromóvel em Canoas permite corrigir vulnerabilidades evidenciadas pelas enchentes de 2024 e estabelecer maior integração entre arquitetura, infraestrutura e operação.

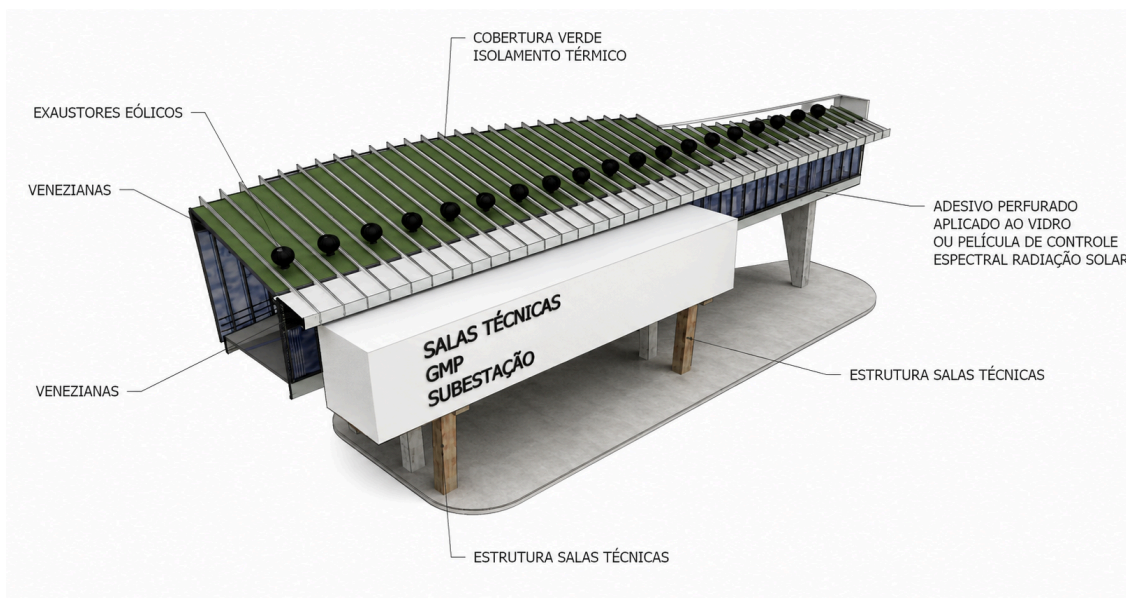


Figura 15 – Proposta Estação ASG. Fonte: Projeto do autor.

Sob a ótica conceitual, essa integração estabelece uma analogia com o funcionamento do organismo humano. Os Grupos Moto-Propulsores representam o “coração” do sistema, responsável por impulsionar o fluxo de ar que movimenta os veículos; a estação atua como o “pulmão”, acolhendo os usuários e promovendo a circulação e a renovação natural do ar; os dutos de propulsão desempenham função análoga às artérias; e os veículos podem ser associados às hemácias, responsáveis pelo transporte



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

dos passageiros ao longo da rede. Paralelamente, a envoltória arquitetônica, entendida como a “pele” da estação, atua no controle das trocas térmicas por meio de estratégias de proteção solar, ventilação natural, cobertura verde e isolamento térmico.

A integração entre “coração”, “pulmão” e “pele” ultrapassa, portanto, o caráter conceitual e se traduz em benefícios concretos para o desempenho da infraestrutura. A elevação dos equipamentos essenciais reduz a vulnerabilidade diante de eventos climáticos extremos, enquanto a qualificação da envoltória e o aproveitamento dos fluxos naturais de ar contribuem para a redução da carga térmica e da dependência de climatização artificial.

Dessa forma, a proposta amplia o conceito de bioarquitetura ao integrar arquitetura, infraestrutura e operação em um único sistema funcional. A estação deixa de atuar apenas como abrigo para passageiros e passa a constituir um organismo ativo, no qual envoltória arquitetônica, ventilação natural, infraestrutura técnica e sistema de propulsão trabalham de forma integrada, reforçando os princípios de eficiência energética, resiliência climática, sustentabilidade e inovação que caracterizam o próprio sistema Aeromóvel.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Dispositivos de geração energética local integrados às estações

Além das estratégias passivas relacionadas ao conforto ambiental e à redução da demanda energética, observa-se também o potencial de investigação da incorporação de dispositivos de geração de energia associados à própria infraestrutura das estações. Enquanto na estação Farrapos a proposta de geração energética está vinculada à implantação de painéis fotovoltaicos integrados à cobertura, aproveitando a disponibilidade de radiação solar e as características geométricas da edificação, nas estações do Aeromovel surge uma possibilidade complementar relacionada ao aproveitamento dos fluxos de ar presentes no sistema. Considerando a incidência dos ventos predominantes sobre as fachadas e a movimentação do ar resultante das características aerodinâmicas do modal, pequenas turbinas eólicas integradas poderiam ser estudadas como elementos de captação da energia cinética dos fluxos de ar.

Essa abordagem estabelece uma aproximação conceitual entre o funcionamento do Aeromovel e os princípios da navegação à vela, frequentemente associado à ideia de um “barco a vela invertido”, no qual o deslocamento ocorre a partir da interação entre o veículo e o ar. De forma análoga aos sistemas de recuperação de energia já empregados em veículos metroferroviários, como a frenagem regenerativa, que converte parte da energia cinética dissipada durante a desaceleração em energia elétrica reaproveitável, a captação dos fluxos de ar poderia representar uma estratégia



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

complementar de aproveitamento energético associado ao funcionamento do sistema.

A energia gerada por pequenos dispositivos eólicos integrados às estações poderia ser avaliada para alimentação de componentes auxiliares da infraestrutura, iluminação, sistemas de informação ou outros equipamentos de baixo consumo, contribuindo para a redução da demanda energética operacional.

Embora essa hipótese dependa de estudos específicos relacionados ao desempenho aerodinâmico, disponibilidade dos ventos, eficiência dos equipamentos e balanço energético, constitui uma possibilidade de investigação futura na busca por sistemas de transporte mais integrados às condições ambientais locais, nos quais os próprios fenômenos físicos associados à operação possam ser convertidos em recursos energéticos. Nesse sentido, as estações metroferroviárias devem ser compreendidas como infraestruturas adaptáveis, capazes de incorporar diferentes estratégias conforme as características climáticas, urbanas, construtivas e operacionais de cada implantação. Como modelos de experimentação e aplicação de soluções ambientais, as estações permitem que tecnologias distintas sejam avaliadas e combinadas, não como uma solução única padronizada, mas como um conjunto de estratégias capazes de responder às especificidades de cada contexto.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CONCLUSÕES

Os estudos desenvolvidos demonstram que as estações metroferroviárias possuem potencial para atuar como Infraestruturas Ambientais Ativas, integrando mobilidade urbana, eficiência energética e hídrica, conforto ambiental, resiliência climática e educação para a sustentabilidade. Nessa perspectiva, as estações deixam de ser apenas estruturas destinadas ao transporte de passageiros e passam a desempenhar papel ativo na qualificação ambiental das cidades.

As propostas evidenciam que princípios da bioarquitetura, da arquitetura bioclimática, da biomimética e da infraestrutura verde podem ser incorporados tanto em edificações existentes quanto em processos de reconstrução e modernização. Estratégias passivas de controle solar, ventilação natural, isolamento térmico, coberturas verdes, aproveitamento da iluminação natural, geração fotovoltaica e reuso de águas pluviais podem reduzir o consumo de recursos e a dependência de sistemas mecânicos, contribuindo simultaneamente para o conforto dos usuários.

Na Estação Farrapos, o estudo demonstra a possibilidade de integrar sistemas hídricos, energéticos, ecológicos e educativos em uma mesma infraestrutura pública, tornando visíveis os processos de captação e reuso da água, geração de energia e incorporação da vegetação. A própria estação passa, assim, a atuar como instrumento permanente de educação ambiental.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Nas estações do Aeromóvel, as estratégias propostas estabelecem maior coerência entre a arquitetura e os princípios tecnológicos do sistema. Assim como os veículos são movimentados pelo fluxo de ar, as edificações passam a utilizar o movimento natural do ar como elemento ativo de condicionamento ambiental. Paralelamente, a integração entre arquitetura e infraestrutura técnica amplia a resiliência do sistema diante de eventos climáticos extremos.

As soluções apresentadas não constituem um modelo único, mas demonstram que os princípios da bioarquitetura podem ser adaptados às características arquitetônicas, operacionais e ambientais de cada estação. O presente estudo busca, sobretudo, ampliar o debate sobre o papel das infraestruturas de transporte no enfrentamento dos desafios ambientais contemporâneos, estimulando novas pesquisas e aprofundamentos técnicos nessa direção. Investigações futuras poderão avaliar o desempenho real das estratégias propostas, incluindo análises de viabilidade energética, econômica e operacional, contribuindo para a consolidação de novos paradigmas de integração entre mobilidade, arquitetura, natureza e tecnologia. Conclui-se, portanto, que a transformação das estações metroferroviárias em Infraestruturas Ambientais Ativas pode constituir uma diretriz para futuras intervenções na Trensurb e em outros sistemas de transporte, promovendo maior eficiência, resiliência e sustentabilidade urbana.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BENYUS, Janine M. Biomimicry: Innovation Inspired by Nature. New York: HarperCollins Publishers, 1997.

BEATLEY, Timothy. Biophilic Cities: Integrating Nature into Urban Design and Planning. Washington: Island Press, 2011.

DUNNETT, Nigel; KINGSBURY, Noël. Planting Green Roofs and Living Walls. 2. ed. Portland: Timber Press, 2008.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. Manual de conforto térmico. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2007.

GEHL, Jan. Cidades para Pessoas. 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 2015.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

GIVONI, Baruch. Climate Considerations in Building and Urban Design. New York: John Wiley & Sons, 1998.

HERZOG, Cecília Polacow. Cidades para todos: (re)aprendendo a conviver com a natureza. Rio de Janeiro: Mauad X, 2013.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva: IPCC, 2023.

LYNCH, Kevin. A Imagem da Cidade. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2011.

MASCARÓ, Juan Luis. O custo das decisões arquitetônicas. 5. ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2010.

MASCARÓ, Juan Luis; MASCARÓ, Lúcia. Ambiência Urbana. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2009.

OLGYAY, Victor. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Updated edition. Princeton: Princeton University Press, 2015. Original publicado em 1963.

UNITED NATIONS. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations, 2015.

YEANG, Ken. EcoDesign: A Manual for Ecological Design. London: Wiley-Academy, 2006.