

Guia sobre
**SUSTENTABILIDADE
AEROPORTUÁRIA**
ENERGIA ELÉTRICA



GUIA SOBRE SUSTENTABILIDADE AEROPORTUÁRIA – ENERGIA ELÉTRICA

Assessoria Internacional e de Meio Ambiente – ASINT

Novembro / 2022

CHEFE DA ASSESSORIA INTERNACIONAL E DE MEIO AMBIENTE – ASINT/ANAC

Marcela Braga Anselmi

COORDENADOR DE MEIO AMBIENTE

Daniel Marcellos Calçado

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

Darlan Silva dos Santos

Henrique Costa Tavares

Tiago Cunico Camara

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Assessoria de Comunicação Social (ASCOM)

DÚVIDAS, SUGESTÕES E CRÍTICAS PODEM SER ENVIADAS PARA O E-MAIL

meioambiente@anac.gov.br

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| APRESENTAÇÃO | 4 |
| 1. CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO | 5 |
| FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA | 5 |
| PROGRAMA DE GESTÃO ENERGÉTICA | 6 |
| DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO | 6 |
| 2. EFICIÊNCIA ELÉTRICA | 7 |
| FATOR HUMANO | 7 |
| ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES | 8 |
| ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÕES | 9 |
| ILUMINAÇÃO | 12 |
| EQUIPAMENTOS | 14 |
| SISTEMA AVAC | 16 |
| 3. ENERGIA RENOVÁVEL | 19 |
| MERCADO LIVRE DE ENERGIA | 20 |
| WEBMAP INTERATIVO DO SISTEMA ENERGÉTICO BRASILEIRO | 21 |
| BIOMASSA | 21 |
| HIDRÁULICA | 22 |
| EÓLICA | 22 |
| SOLAR | 23 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 25 |

APRESENTAÇÃO

O consumo de eletricidade responde por uma parcela significativa dos custos operacionais em aeroportos. Além disso, a produção, a transmissão e o uso de energia elétrica resultam em impactos ambientais que vão desde o uso de recursos naturais até emissão de gases de efeito estufa e geração de resíduos. Dessa maneira, o uso racional e a adoção de práticas sustentáveis no consumo de energia elétrica apresentam-se como oportunidades de ganhos financeiros e ambientais para o operador aeroportuário.

As medidas mais adequadas para determinado aeroporto dependem de características específicas do aeródromo, como porte, infraestrutura existente, perfil de operações e aspectos geográficos do local. Portanto, este material se limita a fornecer uma visão geral das principais medidas relacionadas ao uso de fontes renováveis de energia elétrica e à eficiência energética em instalações aeroportuárias, apresentando exemplos de ações realizadas em aeroportos brasileiros e estrangeiros.

1. CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO

É recomendável que o operador reúna faturas de energia, disponha de indicadores adequados às particularidades do aeroporto e execute um diagnóstico energético para analisar o seu desempenho energético e propor estratégias para economia de energia.

FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

Como ponto de partida, o modelo de contratação de eletricidade deve ser o mais adequado ao perfil de consumo do aeroporto, evitando gastos excessivos e pagamento de multas por excesso de energia reativa e ultrapassagem de demanda.

GRUPOS TARIFÁRIOS

No Brasil, as unidades consumidoras são divididas em dois grupos tarifários. No grupo A estão os consumidores atendidos em tensão maior que 2,3 kV ou por meio de sistemas subterrâneos de distribuição, como indústrias e grandes centros comerciais. Nesse grupo os consumidores ainda são classificados em subgrupos¹ de acordo com a tensão de atendimento. Já o grupo B engloba as unidades consumidoras de baixa tensão, como residências e lojas. Os seus subgrupos² levam em conta a característica da unidade consumidora.

MODALIDADE TARIFÁRIA

As modalidades tarifárias são um conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e à demanda de potência ativa³.

Os consumidores do grupo B são enquadrados de forma compulsória e automática na modalidade tarifária convencional, a qual se caracteriza por uma única tarifa para o consumo de energia, sem segmentação horária no dia. Esses consumidores podem, mediante requisição, ser enquadrados na modalidade horária branca. Nessa modalidade há tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia.

Unidades consumidora do grupo A com tensão de conexão maior ou igual a 69 kV devem ser enquadradas na modalidade horária azul. Essa modalidade exige um contrato específico com a concessionária, com tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência no horário de ponta⁴ e nas horas fora de ponta. Já os demais consumidores do grupo podem decidir-se

1 Subgrupo: A1 - maior ou igual a 230 kV; A2 - maior ou igual a 88 kV e menor ou igual a 138 kV; A3 - igual a 69 kV; A3a - maior ou igual a 30 kV e menor ou igual a 44 kV; A4 - maior ou igual a 2,3 kV e menor ou igual a 25 kV; e AS - menor que 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

2 Subgrupo: B1 - residencial; B2 - rural; B3 - demais classes; e B4 - Iluminação Pública.

3 <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>

4 Período de três horas consecutivas exceto sábados, domingos e feriados nacionais, definido pela concessionária, em função das características de seu sistema elétrico.

pela modalidade horária azul ou pela horária verde. Nessa última há tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia, mas a tarifa de demanda é única.

FATOR DE POTÊNCIA

A energia elétrica é composta pelas parcelas ativa e reativa. A energia ativa é aquela que realmente executa trabalho. Já a energia reativa é a componente da energia elétrica que não realiza trabalho, mas é utilizada na manutenção de campos eletromagnéticos em equipamentos como motores, transformadores e reatores de lâmpadas. O excesso de energia reativa sobrecarrega a infraestrutura da rede de transmissão e gera superaquecimentos e quedas de tensão nas instalações elétricas.

O fator de potência reflete a relação entre as energias ativa e reativa consumidas. A Resolução Normativa nº 1.000 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL⁵ determina que seu limite mínimo é de 0,92. Abaixo deste valor, a concessionária deve cobrar multa na fatura de energia. Uma maneira de se corrigir o fator de potência é pela instalação de banco de capacitores.

PROGRAMA DE GESTÃO ENERGÉTICA

Antes mesmo de preparar um diagnóstico energético, é importante que o operador tenha implementado um programa de gestão energética. O programa objetiva otimizar o consumo de energia com a adoção de processos padronizados e diretrizes bem definidas.

SISTEMAS DE GESTÃO DE ENERGIA

São ferramentas para monitorar, controlar e otimizar o desempenho energético de uma organização, auxiliando na execução do programa de gestão energética. A norma ISO 50.001: Sistemas de gestão de energia pode servir de guia aos operadores aeroportuários que desejam implementar um sistema de gestão de energia.

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Refere-se à avaliação do padrão de consumo de uma organização ou edificação. Ele fornece uma análise completa do uso de energia pelos seus sistemas e equipamentos, apontando desperdícios e oportunidades de melhoria. O objetivo do diagnóstico energético é o aumento da eficiência energética, com redução de custos e ganhos em sustentabilidade. A norma ABNT NBR ISO 50.002 orienta a realização de diagnósticos energéticos.

5 <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>

2. EFICIÊNCIA ELÉTRICA

De maneira simplificada, eficiência energética significa usar menos energia para fazer o mesmo trabalho. Em termos de energia elétrica, há diversas possibilidades para atuação do operador aeroportuário na promoção do seu desempenho energético. No lado ar podemos citar a iluminação de pátios e pistas, hangares e sistemas de suprimento de energia para aeronaves em solo. No lado terra têm-se, por exemplo, iluminação, sistema de ar-condicionado, estabelecimentos comerciais, e equipamentos como esteiras e elevadores. Já as alternativas para otimização do consumo de eletricidade pelo aeroporto incluem desde medidas simples, como treinamento e conscientização dos usuários, a ações mais elaboradas, como troca de equipamentos e reformas estruturais.

Embora não seja voltado especificamente à aeroportos, Guia Interativo de Eficiência Energética em Edificações⁶ fornece subsídios valiosos para o aprimoramento do desempenho, elucidando conceitos chave e apresentando estratégias de atuação de maneira acessível e elucidativa.

FATOR HUMANO

O envolvimento de funcionários e colaboradores é primordial para o sucesso da estratégia de aprimoramento da eficiência energética em uma organização. Assim, é bastante proveitosa a incorporação da sustentabilidade na cultura organizacional.

TREINAMENTO

Além de transmitir a força de trabalho os conceitos de eficiência energética, os treinamentos são essenciais para enraizar a prática da sustentabilidade no dia a dia do aeroporto. São diversos os meios disponíveis para aplicação dos treinamentos, a escolha dependerá de fatores específicos como público-alvo e temática. O ideal é que todos funcionários e colaboradores sejam instruídos ao menos nos conceitos básicos de eficiência energética relacionados às particularidades do aeroporto.

COMUNICAÇÃO E CONSCIENTIZAÇÃO

Pequenas correções oferecem um grande potencial para economia de energia. Mesmo atos simples, como retorno da iluminação e do sistema de ar-condicionado à configuração padrão, podem resultar em uma redução expressiva do consumo, visto que, muitas vezes, diversos grupos, até mesmo cessionários, têm acesso ao controle desses equipamentos. Assim sendo, campanhas regulares de conscientização são recomendadas.

O compartilhamento das ações realizadas pelo aeroporto e os resultados alcançados também é um mecanismo poderoso para imprimir a sustentabilidade na mente dos usuários e incentivar sua participação nas iniciativas adotadas.

6 <https://www.guiaenergiaedificacoes.com.br/>

ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES

A etiquetagem é uma ferramenta relevante para o avanço da eficiência energética em edificações, possibilitando avaliar e classificar o desempenho energético de edifícios com base em normas e regulamentos técnicos.

PBE EDIFICA

No Brasil, a Eletrobrás e o Inmetro lançaram, em 2009, o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações - PBE Edifica. De caráter voluntário, Etiqueta PBE Edifica é emitida por Organismos de Inspeção acreditados pelo Inmetro e pode ser solicitada para edificações novas ou existentes. Ela classifica os edifícios em classes que variam da mais eficiente (A) a menos eficiente (E), baseando-se nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e seus documentos complementares.



Figura 1. Selo PBE Edifica do terminal de passageiros do Aeroporto de Montes Claros – Cortesia: Infraero

SELO PROCEL EDIFICAÇÕES

Adicionalmente, a Eletrobrás instituiu o Selo Procel Edificações que identifica os melhores classificados dentre os detentores da Etiqueta PBE Edifica. Só podem receber o selo as edificações que alcançaram a classe A em cada um dos três sistemas analisados na Etiqueta PBE Edifica. Os detentores do Selo Procel Edificações ainda podem utilizá-lo para comprovar atendimento ao pré-requisito de desempenho

energético mínimo no processo de obtenção da certificação internacional de construções sustentáveis LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*.

PROJETEEE

Objetivando apoiar a concepção do projeto arquitetônico em sua fase inicial, o Ministério do Meio Ambiente, juntamente com o PROCEL/Eletróbrás e a Universidade Federal de Santa Catarina, disponibiliza a plataforma Projeteeee – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes⁷. Trata-se ferramenta que oferece dados climáticos de mais de 400 cidades brasileiras, além de estratégias de projeto mais apropriadas a cada região. O Projeteeee é um instrumento valioso para o alcance de um alto conforto térmico com baixo consumo energético, sobretudo para pequenos aeroportos.

ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÕES

A envoltória é conjunto de elementos construtivos que estão em contato com o meio exterior. Para atingir um desempenho energético satisfatório, é essencial que perdas e ganhos energéticos através da envoltória da edificação sejam reduzidos.

INFILTRAÇÃO DE AR

Para limitar as trocas térmicas com o ar externo, é fundamental que a infraestrutura das edificações aeroportuárias esteja bem vedada. Além disso, portas e aberturas devem ser controladas de maneira que a massa de ar externo só penetre o ambiente interno do aeroporto quando desejado. Sistemas de fechamento de alta velocidade em aberturas com tráfego intenso, como esteiras de bagagem, são alternativas eficazes na prevenção de perdas energéticas.

Uma situação comum em aeroportos nacionais é a aglomeração de motoristas próximos às portas dos terminais em busca de passageiros, o que geralmente resulta em portas constantemente abertas, exigindo que o sistema de climatização trabalhe mais. Possíveis soluções incluem modificações físicas na região das saídas e campanhas de conscientização.

Portas giratórias do Aeroporto de Barcelona⁸

O Aeroporto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat conta com portas giratórias para acesso de pedestres ao terminal T1. As portas evitam flutuações na temperatura devido ao trânsito de pessoas, reduzindo custos com climatização de ar. Em adição, elas também atuam na mitigação do ruído externo.

Emprego de cortinas de ar no Aeroporto Internacional JFK em Nova York⁹

Devido a necessidade de aumentar a capacidade de tráfego de pessoas por suas entradas, o Aeroporto Internacional John F. Kennedy optou pela substituição de suas portas giratórias por portas de correr

7 <http://www.mme.gov.br/projeteeee/sobre-o-projeteeee/>

8 <https://www.manusa.com/en/news/sectors/airports-articles/barcelona-prat-airport>

9 <https://www.airtecnics.com/news/airtecnics-air-curtains-land-at-the-jfk-airport-in-new-york-city>

automáticas em conjunto com cortinas de ar. Esses equipamentos agem como uma barreira contra a troca de ar entre os ambientes externos e internos por meio de um fluxo de ar projetado entre esses dois meios.

ISOLAMENTO TÉRMICO

O uso de materiais isolantes nas superfícies das edificações auxilia a reduzir custos com a manutenção da temperatura em seu interior. O emprego de isolamento adicional como mantas térmicas é geralmente menos custoso que a reconstrução da estrutura, no entanto, a solução mais apropriada para envoltórias com baixo desempenho térmico deve ser analisada caso a caso.

Ainda que a envoltória da edificação forneça um nível adequado de isolamento térmico, é importante que o operador avalie a necessidade de readequação da transmitância térmica da cobertura e de paredes externas no futuro, devido aos impactos causados pelas mudanças climáticas.

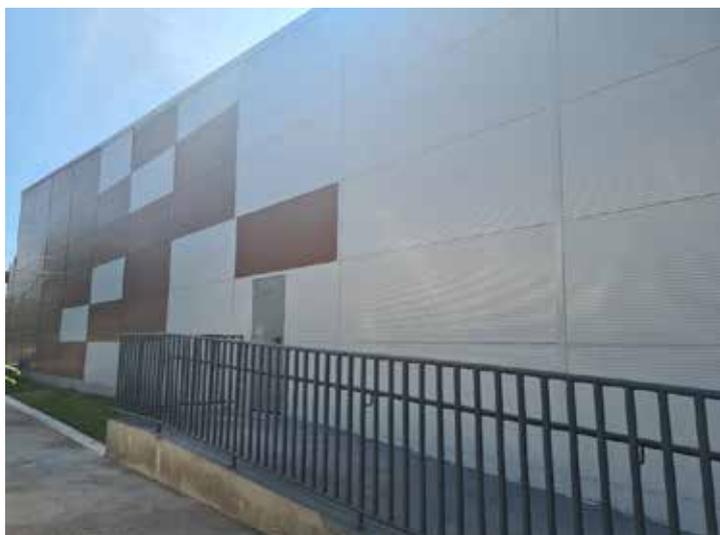


Figura 2. Isolamento termoacústico do terminal do Aeroporto de Montes Claros - Cortesia: Infraero

Aplicação de isolamento térmico na torre de controle do Aeroporto de Manchester¹⁰

Durante a construção de sua nova torre de controle, o Aeroporto de Manchester decidiu pelo uso de material isolante entre as camadas empregadas no teto da torre. Além do isolamento térmico, o material utilizado é resistente ao fogo e não emite fumaça tóxica.

ABSORTÂNCIA¹¹ DE SUPERFÍCIES

Uma das maneiras de se reduzir a carga térmica¹² de resfriamento de ambientes é diminuindo a absorvância das superfícies da edificação. Isso pode ser alcançado por meio do uso de materiais

¹⁰ <https://source.thenbs.com/literature/airport-control-tower-roof-case-study/daAjuh5ixm6qCseCu3LsvD/daAjuh5ixm6qCseCu3LsvD>

¹¹ Definida como a razão entre a energia radiante absorvida e a energia radiante incidente.

¹² Quantidade de calor que deve ser fornecido (aquecimento) ou retirado (resfriamento) de um sistema para se manter as condições térmicas desejadas.

reflexivos ou cores mais claras. Essa medida atenua o aquecimento devido à incidência de radiação térmica, além de contribuir com a claridade de ambientes internos, reduzindo gastos com iluminação e controle de temperatura.

Outro método para mitigar a absorção de calor é a utilização de vegetação sobre as superfícies externas. Quando empregado sobre o teto das edificações, as chamadas coberturas verdes ajudam na retenção da precipitação, atrasando o escoamento para o sistema de drenagem. Contudo, um cuidado especial deve ser tomado na implementação e manutenção dessas coberturas para que não se tornem focos atrativos para fauna. Importante salientar que as soluções apresentadas, quando aplicadas ao teto das edificações, têm potencial para influenciar significativamente o desempenho térmico dos terminais aeroportuários. Já que, tipicamente, esses possuem poucos pavimentos e uma ampla cobertura.

Cobertura verde dos aeroportos internacionais de Chicago¹³

Guiado pelas suas diretrizes de sustentabilidade consolidadas no documento “*Sustainable Airport Manual*”, o departamento de aviação de Chicago instalou 1500 m² de cobertura verde no Aeroporto Internacional Chicago-Midway e mais de 40 mil m² no Aeroporto Internacional de Chicago-O’Hare. Dentre os benefícios da estrutura estão a redução dos custos com climatização, redução do escoamento de água da chuva, isolamento acústico e aprimoramento da qualidade do ar.

ELEMENTOS TRANSPARENTES

Vidraças e claraboias desempenham um papel vital no aquecimento do terminal pela radiação do sol, sobretudo durante o verão e em fachadas voltadas à oeste. Alternativas para amenizar o fluxo de calor através desses elementos incluem uso de vidro duplo, aplicação de películas de controle solar e instalação de *smart glass*¹⁴.

O emprego de sombreamento externo é mais uma maneira para redução da carga térmica de resfriamento no interior de ambientes, ao mesmo tempo que contribui para o aproveitamento da iluminação natural, introduzindo luz refletida e difusa na edificação e evitando ofuscamentos.

Instalação de película no Aeroporto de Málaga¹⁵

O Aeroporto de Málaga-Costa del Sol tem aproximadamente 17 mil m² de películas de controle solar instaladas em diferentes áreas do seu terminal. O objetivo principal é a redução dos gastos com ar-condicionado. Além disso, as películas contribuem com a redução do brilho do sol sobre os painéis do aeroporto nas horas mais críticas do amanhecer e entardecer.

13 <https://www.flychicago.com/community/environment/vegetatedroofs/pages/default.aspx>

14 O *Smart Glass* é composto por duas lâminas de vidro separadas por uma camada de material cuja transmitância é alterada pela aplicação de tensão elétrica.

15 <https://www.grupoprosol.es/blog/instalaciones-laminas-solares-aeropuertos-prosol/>

Aproveitamento da iluminação solar com isolamento térmico no Aeroporto de Cracóvia¹⁶

O Aeroporto Internacional São João Paulo II de Cracóvia-Balice apresenta um terminal com design inovador em formato de prisma de vidro. Ao mesmo tempo que permite amplo uso da iluminação natural, a estrutura conta com vidros duplos e revestimento com isolamento térmico e controle da luz solar.

Construção de muro cortina no Aeroporto Internacional da Filadélfia¹⁷

Durante a reforma dos terminais D e E, o aeroporto pretende adicionar um muro cortina feito de vidro e alumínio para aprimorar o isolamento térmico da parede exterior sem abrir mão da iluminação natural. O projeto também inclui a reforma dos vestíbulos, aprimorando sua eficiência térmica.

Utilização de vidro insulado no novo píer de aeronaves do Aeroporto Internacional de Salvador

A fachada é formada por dois vidros com ar desidratado entre as peles transparentes, capazes de trazer iluminação natural para a edificação e minimizar os impactos térmicos da luz solar, além de garantir maior isolamento acústico dos ruídos gerados nas atividades aeroportuárias.



Figura 3. Aplicação de vidros insulados no Aeroporto Internacional de Salvador - Cortesia: VINCI Airports

ILUMINAÇÃO

A iluminação é um dos grandes consumidores de energia elétrica em aeroportos. Ela é primordial para o funcionamento de diversos setores e sua aplicação está muitas vezes relacionada a requisitos de segurança e normas de luminosidade em ambientes internos. A modernização da iluminação apresenta uma oportunidade para redução do consumo, melhoria do conforto e produtividade dos usuários e diminuição dos custos com manutenção.

¹⁶ <https://uk.saint-gobain-building-glass.com/en-gb/krakow-airport>

¹⁷ <https://www.phl.org/newsroom/DE-entry>

SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS

Um dos métodos mais comuns para economia de energia, a troca por modelos mais eficientes de lâmpadas possui geralmente um baixo custo associado à uma diminuição significativa no consumo. Além do conhecido desempenho elevado, lâmpadas LED aquecem pouco, reduzindo a exigência sobre o sistema de ar-condicionado. Por outro lado, embora não seja uma situação comum no Brasil, essa característica pode ser desvantajosa em climas frios, onde a iluminação das pistas está sujeita à formação de geada.

Substituição dos refletores LED do Aeroporto de Glasgow¹⁸

O aeroporto está atualizando seus refletores LED por um modelo que é 25% mais eficiente. Além de maior brilho, o novo modelo possui vida útil mais longa. O projeto também incorpora o conceito de energia circular, com a contratação de empresa especializada para realizar a coleta e reciclagem das lâmpadas antigas.

Instalação de lâmpadas LED nos pátios do Aeroporto Internacional de Salvador

O aeroporto empregou iluminação LED em áreas de manobra e movimento de aeronaves, a qual é mais criteriosa, por conta da utilização aeronáutica. Ao substituir a iluminação convencional por LED é preciso garantir que as cores sejam percebidas corretamente independentemente da distância do observador e das atenuações atmosféricas presentes, dentre outras exigências.

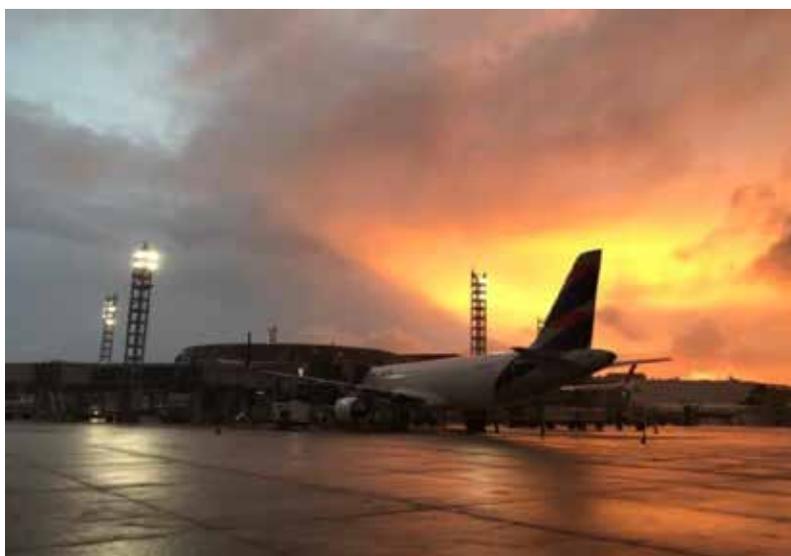


Figura 4. Lâmpadas LED no pátio de aeronaves do Aeroporto Internacional de Salvador - Cortesia: VINCI Airports

Substituição de luminárias no terminal 1 do Aeroporto Internacional de Confins

Todas as luminárias do terminal foram trocadas por lâmpadas LED mais eficientes, resultando em uma redução de 72 toneladas de carbono equivalente por ano.

18 <https://www.glasgowairport.com/media-centre/2022/led-light-switch-ensures-glasgow-airport-s-airfield-even-more-energy-efficient/>



Figura 5. Uso de lâmpadas LED no terminal de passageiros 1 do Aeroporto Internacional de Confins - Cortesia: BH Airport

CONTROLE DA ILUMINAÇÃO

Sensores de presença e temporizadores são uma solução interessante para áreas com tráfego reduzido de pessoas ou horários de ocupação bem definidos. Sensores fotossensíveis habilitam o sistema de iluminação a se adaptar à iluminação natural. Sistemas mais complexos permitem ainda regular a iluminação de acordo a incidência de luz solar em regiões específicas, reduzindo a utilização de iluminação artificial na proximidade de janelas, por exemplo.

Quando o controle da iluminação do terminal é centralizado, existe a possibilidade de o operador aeroportuário contar com dados desagregados por setores, sendo de grande serventia para o estabelecimento do programa de reposição das lâmpadas do terminal.

Controle da iluminação do Aeroporto de Istambul¹⁹

Um dos maiores projetos de controle de iluminação do mundo, o sistema do aeroporto é totalmente automatizado, contando com monitoramento em tempo real para detecção de anomalias e sensores para aproveitamento da luz natural.

EQUIPAMENTOS

O uso de modos de economia de energia ou até mesmo o desligamento em função da baixa demanda é uma opção de baixo custo que pode ser aplicada em diversos aparelhos presentes no terminal. A substituição por modelos mais modernos e eficientes também é uma alternativa, mas períodos longos de retorno do investimento em alguns equipamentos como elevadores muitas vezes não justificam a troca, sendo mais vantajoso atualizar o equipamento na ocasião da substituição programada.

¹⁹ <https://helvar.com/es/case-studies/transport/istanbul-airport/>

EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE

Esteiras de bagagem, escadas e esteiras rolantes podem se beneficiar do uso de inversores de frequência e sensores de carga e movimento para reduzir seu consumo, com benefício adicional de prolongamento da vida útil desses equipamentos. O emprego de correias com baixo atrito em esteiras de bagagem é mais uma medida útil.

Substituição dos motores dos sistemas de bagagem dos aeroportos de Houston²⁰

Centenas de motores dos sistemas de bagagem do Aeroporto Intercontinental George Bush e do Aeroporto William P. Hobby foram trocados por modelos mais eficientes. O esforço para economia de energia também incluiu medidas como iluminação com LED e atualização do controle de iluminação.

Modernização de equipamentos do Aeroporto Internacional de Salvador

Ao assumir a concessão do Aeroporto de Salvador, a VINCI *Airports*, investiu na modernização dos principais equipamentos, como elevadores, escadas rolantes, esteiras de bagagem e máquinas de ar-condicionado por outros mais modernos e eficientes. Como alguns desses são equipamentos que não podem ter seu funcionamento interrompido durante as 24h diárias de operação aeroportuária, foi dada uma atenção especial à eficiência energética na hora da renovação. Além disso, foram implementadas melhorias operacionais para diminuir o consumo energético, como o modo *stand-by* e sensores de aproximação.



Figura 6. Equipamentos instalados no Aeroporto internacional de Salvador - Cortesia: VINCI *Airports*

PAINÉIS ELETRÔNICOS

O simples desligamento de painéis de voo e de publicidade em ambientes vazios é uma excelente oportunidade para cortar custos com energia elétrica. Há possibilidade de automação do desligamento desses aparelhos de acordo com o cronograma de voos e fluxo de pessoas por determinados setores do aeroporto.

20 <https://www.fly2houston.com/newsroom/articles/houston-airports-recognized-2021-energy-management-top-performer-award>

ELETRODOMÉSTICOS E APARELHOS DE ESCRITÓRIO.

Mesmo aeroportos de pequeno porte contam com uma variedade de equipamentos de uso diário, desde computadores de trabalho até eletrodomésticos utilizados em seus escritórios e estabelecimentos comerciais. Além de campanhas para promover o desligamento de aparelhos ociosos, é recomendado que o aeroporto incentive a aquisição de aparelhos mais eficientes, como aqueles detentores do Selo Procel de Economia de Energia²¹.

SISTEMA AVAC²²

A manutenção do conforto térmico em terminais aeroportuários pode ser desafiadora. Essas edificações usualmente apresentam características arquitetônicas únicas e contam com um intenso fluxo de pessoas que, muitas vezes, estão vestidas de acordo com as condições climáticas de suas regiões de origem.

Com relação ao consumo de energia elétrica, a climatização quase sempre ocupa a primeira posição em aeroportos. Consequentemente, essa área apresenta um elevado potencial para aplicação de um Sistema de Automação Predial²³. O monitoramento e controle automático do sistema AVAC permite ajustar a temperatura de acordo com as condições em tempo real dos mais diversos setores do terminal.

Para que a automação seja efetiva, é primordial que o aeroporto implemente o isolamento térmico e controle independente de diferentes zonas, como sala de bagagens e cozinhas de restaurantes, por exemplo, reduzindo assim a carga térmica sobre as demais áreas do terminal. Outra medida fundamental é a calibração dos sensores, evitando leituras incorretas que resultarão em desperdício de energia e desconforto aos usuários.

Automatização com BMS do Aeroporto Internacional de Salvador

A implementação do *Build Management System (BMS)* pelo Aeroporto de Salvador trouxe para o Centro de Controle de Operações (CCO) do aeroporto o comando e as informações de diversos equipamentos elétricos que atuam na operação aeroportuária. A partir de indicadores coletados no software é possível analisar custos de energia da operação, além de automatizar o processo através programação horária. O sistema também traz um ganho operacional grande na redução de deslocamento de equipes em campo, pois todo o acionamento é feito remotamente.

21 <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632%7D>

22 AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (do inglês HVAC: *Heating, Ventilating and Air Conditioning*), refere-se às funções básicas e primordiais dos sistemas de climatização.

23 *Building Automation System – BAS* ou *Building Management System –BMS* é o controle centralizado e automático dos sistemas de um edifício, tais como AVAC e Iluminação.

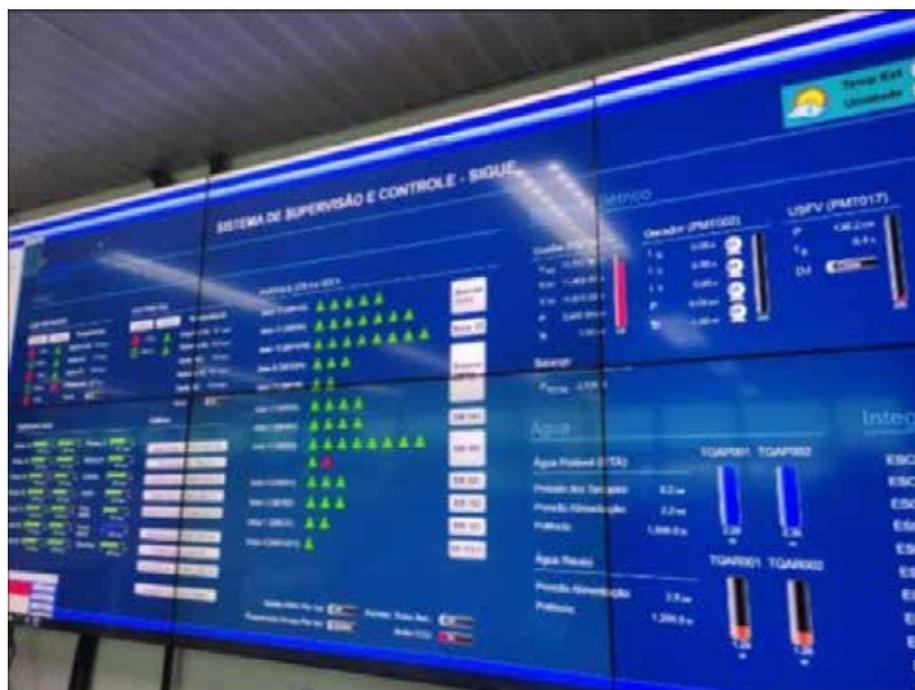


Figura 7. Painel de gerenciamento do BMS do Aeroporto Internacional de Salvador - Cortesia: VINCI Airports

VENTILAÇÃO

Necessária para introdução e circulação de ar fresco, a ventilação também é uma fonte de perdas energéticas, extraindo a massa de ar condicionado da edificação e substituindo-a por ar exterior a ser aquecido ou resfriado. Uma forma de mitigar esse efeito é pelo uso de sistemas de ventilação de recuperação de energia, os quais realizam a troca de calor e umidade entre o ar que é removido do meio e aquele que é introduzido no ambiente.

A troca por equipamentos mais eficientes e adequação do seu funcionamento à ocupação do ambiente são maneiras de se reduzir a demanda energética do sistema de ventilação. Neste sentido, a exploração da ventilação natural por meio do chamado efeito chaminé²⁴ é mais uma opção para redução do consumo de eletricidade.

AQUECIMENTO

Comuns em aeroportos localizados em zonas temperadas, caldeiras apresentam um dispêndio energético intenso, embora não particularmente relacionado a eletricidade, já que esses equipamentos geralmente funcionam a base de gás natural. Algumas soluções para melhoria do seu desempenho incluem substituição por múltiplas unidades menores e pré-aquecimento do ar.

Aquecedores solares são uma alternativa viável sobretudo para aeroportos menores e pequenas instalações. Esses equipamentos destacam-se por sua robustez e custo relativamente baixo.

²⁴ Ar frio é fornecido próximo ao chão e então, ao absorver calor do ambiente, torna-se menos denso e ascende ao teto onde escapa pelos exaustores.

RESFRIAMENTO

O sistema central de água gelada é bastante utilizado em ambientes com grande circulação de pessoas como terminais aeroportuários. Ele é composto de equipamentos como chiller²⁵, torre de resfriamento²⁶, fancolete²⁷ e bomba. É possível que a central de água gelada do aeroporto se torne superdimensionada como resultado de intervenções para aumentar a eficiência energética em outras áreas como iluminação e isolamento térmico, a substituição por equipamentos mais adequados à demanda energética atual contribuirá para conservação de energia.

Medidas para aumento da eficiência incluem aplicação de inversores de frequência para controle da velocidade de bombas e ventiladores, redução da temperatura da água que entra no condensador, reajuste da temperatura da água gelada para valores mais altos e limpeza regular dos trocadores de calor.

Adicionalmente, o uso de várias torres de resfriamento é mais eficiente que o emprego de um menor número em potência máxima, e chillers do tipo centrífugo e parafuso apresentam alta eficiência e são uma boa opção para substituição de equipamentos antigos.

Equipamentos de ar-condicionado do tipo *Split*²⁸ e *Multi Split*²⁹ podem ser encontradas em áreas específicas ou aeroportos menores. A economia com o uso desses aparelhos passa pela substituição por modelos mais eficientes e uso moderado. Uma prática proveitosa, também aplicável a outros sistemas de resfriamento, é o incremento gradual da temperatura padrão ao longo de algumas semanas, propiciando tempo para os usuários se adaptarem.

Já o VRF³⁰ é um sistema flexível e de fácil adaptação ao sistema de automação predial. Ele proporciona alta eficiência energética e conforto térmico, embora tenha um custo de aquisição relativamente alto. Assim como os sistemas Split, o VRF não promove a renovação do ar interno, necessitando de sistema de distribuição de ar externo, o que aumentará a carga térmica de resfriamento.

25 Chillers são responsáveis pela refrigeração de um fluido, normalmente água, que por sua vez resfriará o ar que circula pelo ambiente interno.

26 Promove o arrefecimento do fluido de trabalho, tipicamente água, através do contato com o ar externo.

27 O fancolete realiza a filtragem do ar que circulará pelo ambiente e sua troca de calor com a água gelada proveniente do chiller. Em inglês *Fan Coil*.

28 Composto de unidade evaporadora instalada no ambiente interno e unidade condensadora instalada na parte externa.

29 Semelhante ao Split, permite climatizar vários ambientes pelo uso de várias evaporadoras com apenas uma unidade condensadora.

30 Variable Refrigerant Flow ou Fluxo de Refrigerante Variável é um sistema de ar-condicionado central, que funciona com várias evaporadoras e apenas uma condensadora, mas suporta um número bem maior de evaporadoras que o *Multi Split*.

3. ENERGIA RENOVÁVEL

O consumo de energia elétrica é imprescindível para o desenvolvimento humano. No longo prazo, o aumento no uso de eletricidade per capita está relacionado ao Índice de Desenvolvimento Humano – IDH de um País³¹. Essa relação é ilustrada no Gráfico 1, que exibe a comparação entre o IDH e o consumo de eletricidade per capita, relativos ao ano de 2019, para alguns países selecionados para representatividade econômica e geográfica.

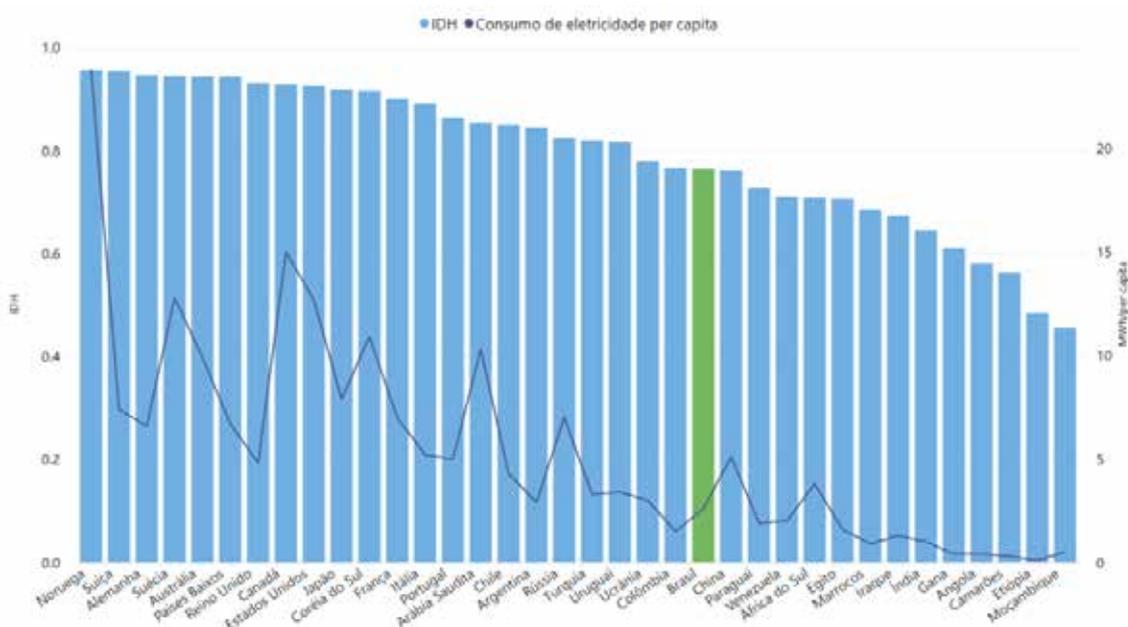


Gráfico 1. Comparação entre IDH³² e consumo de eletricidade per capita³³, por País, para o ano de 2019.

Essa tendência de aumento no consumo é expressa no Plano Decenal de Expansão de Energia 2031³⁴, o qual estima um crescimento de 34% no consumo de eletricidade per capita brasileiro para o ano de 2031, quando comparado ao ano de 2021. Portanto, a busca por fontes alternativas de energia, com menor impacto sobre o meio ambiente, é vital para o desenvolvimento sustentável do País, aliando preservação de recursos naturais com criação de oportunidades para seus habitantes, e assegurando sua saúde e bem-estar.

Ainda que a matriz elétrica brasileira seja majoritariamente composta por fontes renováveis, ao contrário da realidade mundial, como demonstrado pelo Gráfico 2, há amplo espaço para aperfeiçoamento. A maior parcela da energia elétrica produzida no Brasil vem de grandes centrais hidrelétricas, enquanto outras fontes renováveis apresentam uma participação ainda tímida em face do potencial que o país oferece.

31 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544213008372>

32 <https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index#/indicies/HDI>

33 <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/-1118783123/1>

34 https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202031_RevisaoPosCP_rvFinal.pdf

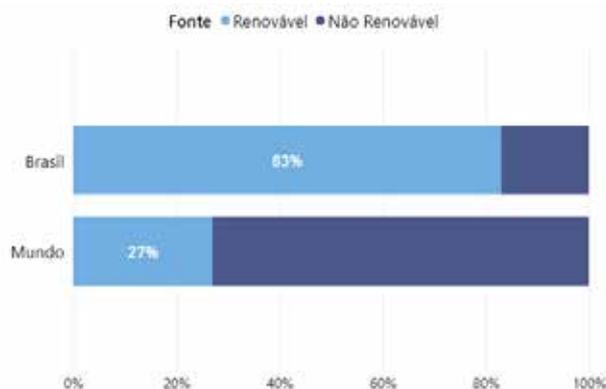


Gráfico 2. Participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira e mundial. Ano: 2019³⁵.

A diversidade de fontes, especialmente com a instalação de usinas geradoras nas proximidades do sítio aeroportuário, contribui para a segurança energética³⁶ do aeroporto, tornando-o menos suscetível à oscilação de preços e escassez. Quando utilizadas fontes limpas e renováveis, o aeroporto ainda pode reduzir seu impacto ambiental relacionado ao consumo de eletricidade.

MERCADO LIVRE DE ENERGIA

O mercado livre de energia possibilita a compra de energia elétrica de fornecedores localizados em qualquer parte do país, negociando aspectos comerciais como preço, prazo, quantidade contratada etc. O mercado livre estimula o desenvolvimento de fontes mais limpas de energia ao possibilitar que os consumidores optem por elas. Ademais, os compradores podem contratar energia incentivada. Trata-se de modalidade estabelecida pelo Governo Federal na qual o comprador recebe descontos na tarifa de uso do sistema de distribuição ao adquirir energia de geradores de fontes renováveis limitados a 30 MW de potência, como pequenas centrais hidrelétricas, usinas de biomassa, energia eólica e solar.

Uso de fontes renováveis pelo Aeroporto de Bristol³⁷

O Aeroporto firmou acordo com o fornecedor de energia elétrica para que sua demanda seja suprida inteiramente por fontes renováveis. Além disso, o Aeroporto de Bristol tem geração própria de eletricidade por meio de painéis fotovoltaicos.

Aquisição de energia proveniente de fontes renováveis pelo Aeroporto Internacional de Confins

100% da energia adquirida pelo aeroporto provém de fontes renováveis. Em função disso, a BH *Airport*, concessionária do Aeroporto de Confins, obteve a Certificação de Energia Limpa e Renovável (I-REC), emitida pela Companhia Energética de Minas Gerais.

³⁵ <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

³⁶ Oferta e disponibilidade de serviços energéticos a todo momento, em quantidade suficiente e a preços acessíveis.

³⁷ <https://www.bristolairport.co.uk/about-us/news-and-media/news-and-media-centre/2019/9/bristol-airport-switches-to-100-per-cent-renewable-electricity>



Figura 8. O Certificado Cemig REC obtido pelo Aeroporto Internacional de Confins - Cortesia: BH Airport

WEBMAP INTERATIVO DO SISTEMA ENERGÉTICO BRASILEIRO

A Empresa Brasileira de Pesquisa Energética – EPE disponibiliza uma ferramenta interativa que possibilita acessar a localização geográfica e características básicas do sistema elétrico brasileiro atual e planejado. Por meio do WEBMAP EPE³⁸, o operador aeroportuário dispõe de dados sobre a distribuição das fontes de energia elétrica no território nacional e sua relação com áreas protegidas, como unidades de conservação, sítios arqueológicos e terras indígenas.

BIOMASSA

A biomassa é um recurso energético primário renovável cuja utilização, assim como de outras fontes, pode resultar em impactos ambientais, exigindo certos cuidados quanto a sua origem de forma a garantir a preservação da vida selvagem e o manejo sustentável do solo. Apesar disso, a biomassa é uma opção viável de substituição aos combustíveis fósseis utilizados nas termelétricas, sendo menos poluente que esses.

A escolha do tipo de biomassa para geração de eletricidade dependerá da disponibilidade da matéria-prima e sua adequação a tecnologia empregada na termelétrica. Exemplos de biomassa incluem: lodo de estação de tratamento de esgoto, resíduos sólidos urbanos, resíduos da indústria madeireira e de papel e celulose e resíduos de culturas vegetais, como bagaço de cana, cascas de arroz e palhas de soja. Esse recurso se destaca por ser uma fonte de geração controlável, ao contrário da eólica e solar, por exemplo, que possuem geração variável. Outra vantagem é sua elevada adaptabilidade, já que as termelétricas podem ser instaladas mesmo em locais onde o aproveitamento de outras fontes é impraticável.

38 <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/webmap-epe>

Projeto de usina de biogás para suprir o Aeroporto de Bangalore com biometano e eletricidade³⁹

O Aeroporto Internacional Kempegowda, na Índia, pretende utilizar seus resíduos orgânicos para gerar energia elétrica para seu consumo e biometano para alimentar sua frota de veículos. O processo escolhido ainda permite o uso dos resíduos da produção de biogás como fertilizantes.

HIDRÁULICA

Trata-se de fonte renovável com flexibilidade na geração de energia e competitividade econômica. No Brasil, hidrelétricas são responsáveis pela maior parte da eletricidade produzida. Quando a potência instalada é de até 5 MW, o empreendimento é chamado de Central Geradora Hidrelétrica com Capacidade Instalada Reduzida – CGH, já a Pequena Central Hidrelétrica – PCH possui capacidade instalada entre 5 MW e 30 MW⁴⁰. CGH e PCH apresentam menor impacto ambiental que as usinas hidrelétricas de grande porte e podem ser operadas em rios de pequeno e médio porte, qualificando-se como alternativa para geração descentralizada de energia renovável.

EÓLICA

O aproveitamento da energia dos ventos para geração de eletricidade já é a terceira maior fonte do Brasil, ocupando o primeiro lugar entre as renováveis com um total de 17 GW de capacidade instalada em 2020⁴¹. Entretanto, o potencial de geração de energia eólica em terra (*onshore*) do Brasil é estimado em cerca de 500 GW⁴².

Aerogeradores de pequena escala e projetos alternativos de geradores eólicos são uma alternativa aos desafios técnicos de instalação de parques eólicos habituais nas proximidades do sítio aeroportuário. Já que as hélices e torres de dimensões avantajadas podem impor riscos às operações aéreas, como penetração no espaço aéreo navegável e interferência nos serviços de comunicação e navegação aérea.

Instalação de turbinas eólicas no Aeroporto de East Midlands⁴³

O Aeroporto Internacional de East Midlands, na Inglaterra, conta duas turbinas eólicas em escala comercial projetadas para suprir 5% da demanda por energia elétrica do aeroporto. O projeto, juntamente com outras iniciativas ambientais, permitiu que o Aeroporto de East Midlands se tornasse o primeiro aeroporto neutro em carbono do Reino Unido no ano de 2012.

39 <https://www.renewableenergymagazine.com/biogas/genia-bioenergy-to-supply-biomethane-to-an-20211230>

40 <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020875.html>

41 <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>

42 <https://revistapesquisa.fapesp.br/ventos-promissores-a-caminho/#:~:text=O%20potencial%20de%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de,atual%20de%20energia%20do%20Brasil.>

43 <https://www.bbc.com/news/uk-england-13343937>

Adoção de geradores eólicos de eixo vertical pelo Aeroporto de Mumbai⁴⁴

A solução encontrada pelo Aeroporto Internacional de Chhatrapati Shivaji consiste em combinar painéis fotovoltaicos com turbinas eólicas de eixo vertical para maximizar o aproveitamento de energia renovável e reduzir a dependência de fontes convencionais.

SOLAR

Trata-se de fonte renovável largamente utilizada em aeroportos. Assim como a eólica, essa fonte não emite poluentes no processo de geração de eletricidade. Ademais, os painéis fotovoltaicos são silenciosos e o custo para sua aquisição tem diminuído consideravelmente. A desvantagem reside na geração intermitente de energia, já que esses equipamentos obviamente necessitam da luz solar.

Aeroportos possuem características singulares que favorecem a implementação de usinas fotovoltaicas, como a cobertura ampla dos terminais e áreas abertas vastas e sem sombra de vegetação. Um cuidado deve ser tomado, no entanto, com relação à localização dos painéis, de maneira que o reflexo da luz do sol não prejudique as operações aéreas. Contudo, os painéis são projetados para absorver o máximo de radiação solar possível, o que faz com que reflitam significativamente menos luz que vidraças e espelhos d'água, por exemplo.

Usina solar do Aeroporto Internacional de Minneapolis-St. Paul⁴⁵

O Aeroporto conta com usina solar de 4,3 MW de capacidade instalada sobre seus edifícios-garagem. Adicionalmente, foram substituídas mais de 12 mil lâmpadas por modelos LED e instaladas 8 estações de carregamento de veículos elétricos. É estimado que o aeroporto deixe de emitir mais de 9 mil toneladas de CO₂ anualmente em função dessas medidas.

Usina solar do Aeroporto Santos Dumont

O Aeroporto foi equipado pela Infraero com painéis fotovoltaicos. Informações adicionais estão disponíveis no *link*: https://www.linkedin.com/posts/infraero_semanadomeioambiente-umasaejterra-onlyoneearth-activity-6937758398696321025-jx-B?utm_source=linkedin_share&utm_medium=android_app

Usina solar do Aeroporto Internacional de Salvador

A usina solar do Salvador Bahia *Airport* está instalada ao lado da pista principal, atendendo 30% de todo o consumo mensal de energia do aeroporto. O investimento tem vida útil de 25 a 30 anos e se pagará antes da sua primeira década.

44 <https://www.aci-asiapac.aero/media-centre/perspectives/mumbai-s-csmia-launches-first-of-its-kind-vertical-axis-wind-turbine-and-solar-pv-system>

45 <https://www.ameresco.com/portfolio-item/minneapolis-saint-paul-international-airport/>



Figura 9. Imagem aérea da usina solar do Aeroporto Internacional de Salvador - Cortesia: VINCI Airports

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este guia busca reunir informações e melhores práticas que auxiliem os operadores aeroportuários na melhoria da gestão da sustentabilidade dos aeroportos brasileiros. As ações aqui apresentadas são meramente exemplificativas e pretende-se que o documento seja atualizado constantemente com vistas a incluir avanços na matéria. Dessa maneira, os aeroportos nacionais que tenham implementado iniciativas de sustentabilidade relacionadas ao conteúdo deste guia e desejem que essas façam parte do documento podem encaminhar sugestões para avaliação da ANAC por meio do e-mail meioambiente@anac.gov.br.

