17ª Edição do Prêmio ABRAFAC
Melhores do Ano
São Paulo - Brasil

Estudo de Autogeração Fotovoltaico

Ademar Gallo [1], Fernando Matsunaga[2]

ROBERT BOSCH LTDA
[1]Ademar.gallo@br.bosch.com; [2]Fernando.matsunaga@br.bosch.com

RESUMO

O Estudo tem finalidade de apresentar a viabilidade técnica da implantação de sistemas fotovoltaicos nas unidades da ROBERT BOSCH em CAMPINAS e em CURITIBA, levando em consideração as disponibilidades e posicionamentos dos telhados, sombreamentos, capacidade estimada de geração de energia e outros aspectos técnicos, de maneira que auxilie as tomadas de decisões por parte de toda a organização.

Palavras-chave: Autogeração; Sustentabilidade; Eficiência Energética; Neutralidade de carbono

CO_2 neutral
BOSCH

1. INTRODUÇÃO

1.1. Robert Bosch Ltda

Em 1886, Robert Bosch fundou a "Oficina de Mecânica de Precisão e Engenharia Elétrica" em Stuttgart. Essa data marca o nascimento da empresa que, hoje, tem atuação global. Desde o início, a empresa foi caracterizada pela sua força inovadora e pelo seu comprometimento social.

Atualmente, a Robert Bosch Ltda envolve 440 subsidiárias e empresas regionais em 60 países (Fig. 1). A empresa atua em quatro setores de negócios, sendo eles: Soluções para Mobilidade; Tecnologia Industrial; Energia e Tecnologia Predial; e Bens de Consumo.

Figura 1: Dados gerais sobre a Robert Bosch Ltda

***Dados de 12/2021**

Fonte: Robert Bosch Ltda

Na América Latina, está presente em 11 países, conta com aproximadamente 10.000 colaboradores e movimenta cerca de 1,5 bilhões de euros.

A Bosch está comprometida com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS's) da Organização das Nações Unidas (ONU) tanto no que se refere aos seus processos produtivos e ao ambiente de trabalho, quanto ao desenvolvimento de produtos e serviços que contribuem para melhorar a vida das pessoas. Com "*Tecnologias para a Vida*", garantimos o sucesso de nossa empresa no longo prazo. Ao mesmo tempo, contribuímos para a proteção do meio ambiente pensando na atual e nas futuras gerações. A convicção mantida pelo nosso fundador, Robert Bosch, orienta nossas ações ainda hoje: "A longo prazo, uma abordagem

honesta e justa para fazer negócios será a mais rentável". Ações sustentáveis, ecológicas e socialmente responsáveis são, portanto, a base para o sucesso dos nossos negócios.

1.2. Pilares da Sustentabilidade

A Bosch é pioneira na proteção do clima, a promover a expansão das energias renováveis e busca continuamente a eficiência energética.

A metodologia do trabalho desenvolvido nas unidades Campinas e Curitiba é um desdobramento da meta mundial do Grupo Bosch, pautada em cinco principais pilares de atuação:

- **Melhorar a Eficiência Energética**: melhorar o uso de fontes de energia e, consequentemente, reduzir nosso consumo de energia.

- **Geração de Energia Renovável:** gerar energia renovável no local. Nosso foco está na geração de energia solar nas próprias instalações da Bosch. Em Campinas e Curitiba, já foram instalados painéis fotovoltaicos.

- **Compra de Energia Verde:** compramos energia de fontes renováveis e com garantia de origem (por exemplo, energia eólica, energia solar, energia hidrelétrica, etc.). Isto é feito através da compra de certificados chamados *International Rec Standard* (I-REC) ou Certificados de Origem (GO – Green Origin).

- **Compensação por Créditos de Carbono:** para compensar as emissões que não podem ser evitadas, compramos créditos de carbono. Esta compra é feita junto a uma empresa credenciada internacionalmente, que emite o certificado de compensação correspondente à quantidade de toneladas de CO_2 emitidas. Com a compra de créditos de carbono, investimos em projetos de ação climática com impacto verificado e certificado, beneficiando milhões de pessoas e contribuindo para a realização do Acordo de Paris e das Metas de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

- **Comunicação:** promover a reputação da empresa em temas relacionados às sustentabilidade. Compartilhamos nossas boas práticas para colaboradores, clientes e parceiros, reforçamos nossas ações em redes sociais e realizamos constantemente benchmarking com outras empresas.

Figura 2: Pilares da Sustentabilidade

Fonte: Robert Bosch Ltda

Uma ampla colaboração entre setores com o objetivo comum de fomentar a responsabilidade socioambiental da empresa, havendo uma grande atuação do setor de *Facility Management*, *Property* e *Workplace* a fim de organizar e administrar a segurança, manutenção e reparos de nossas unidades e a gestão de nossos recursos (especialmente no quesito de eficiência energética), garantindo a proteção de nossos colaboradores e comunidades.

1.3. Fontes renováveis e não renováveis de energia

As energias renováveis, também chamadas de energias limpas ou alternativas, são aquelas provenientes da natureza e que se renovam naturalmente em uma escala de tempo humana, além de causarem baixo impacto ambiental, como a energia solar e energia eólica. Alguns exemplos de fontes de energia renováveis são a luz e o calor do sol (energia solar), a força dos ventos (energia eólica), a água dos rios (energia hídrica), os diferentes tipos de matéria orgânica (biomassa) e o calor do interior da Terra (energia geotérmica). O uso de fontes renováveis de energia traz diversas vantagens, uma vez que produzem muito menos Gases de Efeito Estufa (GEE) e causam menores impactos ao meio ambiente do que as fontes convencionais, por isso são consideradas fontes de energia limpa. Outra vantagem das energias renováveis é que elas são abundantes e se renovam em uma escala de tempo humana.
As energias não renováveis são energias provenientes de recursos que não se renovam em tempo útil na natureza, ou seja, suas reservas tendem a acabar com o uso no decorrer do tempo, como, por exemplo, o petróleo e o carvão mineral. Da mesma forma, a energia nuclear também é uma fonte não renovável de energia, pois utiliza elementos que levam milhões de anos para se formar na natureza, como o urânio. Caso se esgotem todas as reservas desses elementos, as gerações futuras não terão acesso a eles.
As fontes de energia não renováveis são aquelas provenientes de recursos com reservas limitadas na natureza e que levam milhões de anos para se recompor, podendo se tornar

escassas se utilizadas de forma irresponsável, a exemplo das fontes fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural) e da energia nuclear. A maior parte das fontes não renováveis também geram grandes impactos ambientais devido à emissão de gases poluentes na atmosfera, como o carvão e o petróleo, uma vez que precisam ser queimadas para gerar energia. Por isso, elas são cada vez mais substituídas pelas fontes renováveis.
Desde o começo da industrialização até os dias de hoje, as fontes não renováveis, também chamadas de fontes convencionais de energia, representam a maior parte da matriz energética mundial, pois apresentam grande eficiência e rendimento energético. Dessa forma, já contam com uma ampla infraestrutura em todo o mundo para a sua geração e distribuição.

2. OBJETIVO

A Bosch tem a iniciativa de neutralizar as emissões de CO_2 em toda a empresa, a nível global. Um dos pilares dessa iniciativa é a geração de energia renovável em seus sites. Portanto, é uma opção é instalar sistemas de autogeração (energia fotovoltaica) nas localidades de Campinas e Curitiba. O estudo elaborado nos ajudou no fator decisão para encontrar o potencial de geração fotovoltaico.

2.1 Caracterização da Propriedade

Para que caracterização da propriedade fosse feita de maneira precisa, foi realizado um aerolevantamento da área, para a obtenção de imagens orto-retificadas.
Objetivando a obtenção de imagens aéreas de alta qualidade e nitidez para a geração de produtos-base para o estudo fotovoltaico, como o ortomosaico georreferenciado, foi necessário seguir algumas obrigatoriedades para a realização do trabalho.
As etapas anteriores a realização do trabalho de campo consistiram na revisão da documentação obrigatória para a tomada de imagens aéreas com a Aeronave Remotamente Pilotada (drone), documentação que segue:

- Homologação da aeronave na Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL)
- Certidão de cadastro na Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)
- Autorização concedida pelo aeroporto próximo da área de voo
- Autorização do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) - SARPAS

Figura 3: Drone utilizado para captura de imagens

Após o término de todos os voos e checagem da total cobertura das áreas das unidades Bosch Campinas e Curitiba foi elaborado o processamento dos arquivos brutos de voo, ou seja, as

imagens áreas, as coordenadas e demais informações provenientes do conjunto de equipamentos.

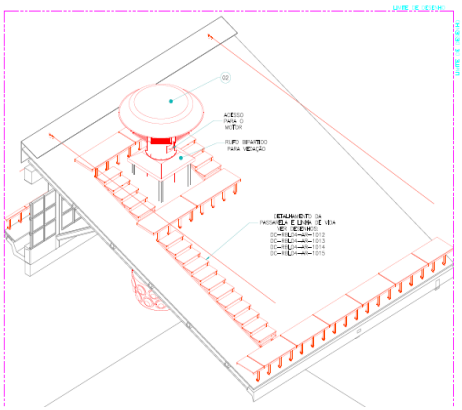
Figura 4: Sobreposição de fotos georreferenciadas no software

Após a realização e processamento do voo, foi necessário a análise predial de cada prédio de cada unidade para assegurar que a estrutura tem capacidade de suportação dos módulos fotovoltaicos.

2.1 Avaliação predial

Um ponto muito importante para equalização dos orçamentos de fornecedores de equipamentos é detalhar o tipo de telhado onde o projeto será implantado. No estudo apresentado, observou-se que parte dos telhados são zipados, o que deve ser claramente apontado no orçamento, pois a forma de fixação é um item que deve ser considerado nas propostas. É importante observar ainda as garantias dos fabricantes e instaladores dos telhados, a fim de garantir que a implantação do projeto fotovoltaico não implicara em problemas de garantia.
Por fim, a sobrecarga que o telhado terá com a implantação do projeto deve ser devidamente dimensionado por um engenheiro civil. A sobrecarga do sistema varia conforme o tipo da placa e da estrutura de fixação, além de forças dos ventos e chuva.

Figura 5: Detalhe do sheed do telhado da unidade Campinas



2.2 Legislação aplicada em projetos fotovoltaicos

O órgão regulador para projetos fotovoltaicos no Brasil é a Agência nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Ela redigiu em 2012 a Resolução Normativa 482 que foi alterada em 2015 pela Resolução Normativa 687. Essas resoluções normativas que viabilizaram a implantação de sistemas fotovoltaicos, uma vez que definiu as regras para o sistema definido como cogeração.
A Resolução Normativa separou em duas categorias a cogeração sendo a microgeração e a minigeração. Projetos de até 75 kW são considerados micro geradores, com exigências mais brandas quanto a sistemas de proteção. Entre 75 kW e 5 MW é considerado minigeração, com exigências superiores quanto aos equipamentos de proteção.
Nessa mesma Resolução Normativa, definiu-se que a energia gerada e não consumida é transformada em crédito para o consumo na mesma unidade ou em outra (desde que na mesma companhia elétrica e mesmo CNPJ/CPF) dentro do prazo de 60 meses.
Para a implantação de projetos fotovoltaicos é necessário a utilização de equipamentos certificado pelo INMETRO e a instalação aprovada pela distribuidora de energia local.

2.3 Energia Solar e consumidores especiais

As unidades Bosch Campinas e Curitiba estão inseridas no Ambiente de Comercialização Livre (ACL) de energia, onde o consumidor compra a energia diretamente do gerador ou comercializador de energia, não tendo nenhuma interlocução com a distribuidora de energia, pagando a ela apenas as componentes que fazem parte da TUSD (tarifa de uso do sistema de distribuição).
Os consumidores inseridos no mercado livre não estão enquadrados na Resolução Normativa 687, ou seja, a energia gerada excedente não pode ser contabilizada como crédito.
Projetos Fotovoltaicos para consumidores que se encontram nessa condição, precisam ser aprovados no seu fornecedor de energia e na companhia de transmissão.
Possivelmente, se o projeto fotovoltaico for de grande escala e interferir na demanda de energia, é necessária uma renegociação com o fornecedor de energia, a fim de se equalizar a demanda e evitar, portanto, multas contratuais.
Na REN ANEEL n° 482/2012 fica bem evidente o enquadramento: “É vedado o enquadramento como microgeração ou minigeração distribuída das centrais geradoras que já tenham sido objeto de registro, concessão, permissão ou autorização, ou tenham entrado em

operação comercial ou tenham tido sua energia elétrica contabilizada no âmbito da CCEE ou comprometida diretamente com concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica".

3. DIMENSIONAMENTO

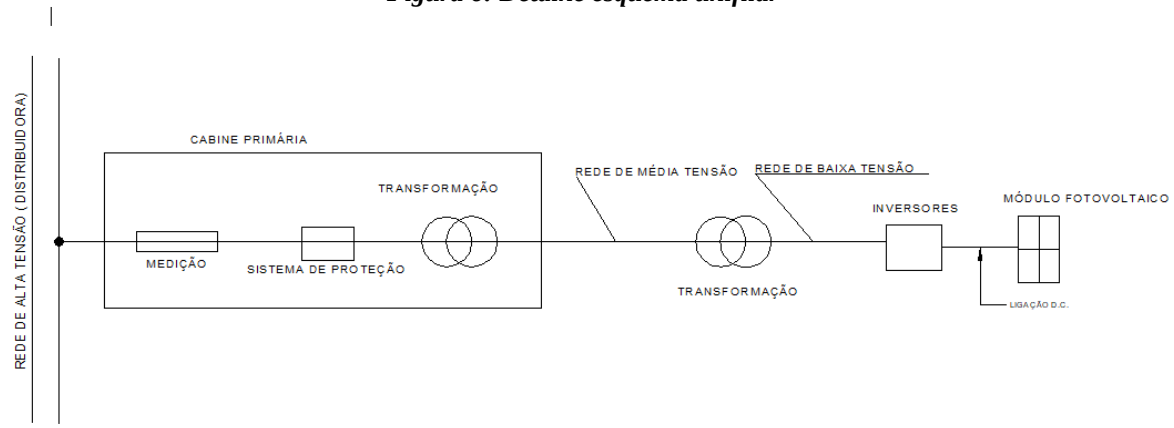
3.1 Certificações

Todos os equipamentos fotovoltaicos utilizados no Brasil precisam ter certificado INMETRO ou de entidades internacionais certificadora com reconhecimento do INMETRO. Recomenda ainda que os equipamentos estejam cadastrados na distribuidora de energia, quando for o caso. Somente equipamentos nessas condições podem ser utilizados.

3.2 Tensões de trabalho

A voltagem que os equipamentos, em especial os inversores, irão trabalhar deve ser avaliada na decisão de onde será injetado a tensão gerada.
No nosso estudo foi avaliado todo o esquema unifilar da subestação de alimentação do prédio e fizemos a conexão da energia gerada na saída de um transformador de baixa tensão 440V.

Figura 6: Detalhe esquema unifilar



3.3 Dimensionamento

Os inversores permitem uma sobrecarga de potência, onde cada fabricante apresenta, em ficha técnica, essa capacidade de sobrecarga. Dessa maneira, recomenda-se que sejam aceitos projetos com sobrecarga nos inversores desde que dentro da faixa e condições de temperatura estabelecidas pelos fabricantes.
A composição das *strings*, de placas ligadas em serie e em paralelos, também devem respeitar as faixas de tensões e potências estabelecidas pelos fabricantes das placas e inversores, dentro das amplitudes térmicas mais extremistas possíveis para cada região.

3.4 Geradores internos

Não é recomendado que o sistema fotovoltaico seja instalado em paralelo aos sistemas de geradores diesel de emergência. Ou seja, o sistema fotovoltaico precisa estar isolado quando os geradores forem acionados.

3.5 Aterramento e SPDA

O aterramento do sistema fotovoltaico, desde as placas, estrutura de fixação e inversores devem estar devidamente executados conforme dimensionamento do projeto executivo.
Já os sistemas de proteção contra surto, fugas e equalizações com a rede elétrica devem ser apresentados e aprovados no projeto executivo.
Para a elaboração do projeto executivo é importante observar as normas brasileiras NBR 14039 – Instalações de Média Tensão, NBR 5419 – Proteção contra descargas atmosféricas, NBR 5410 – Instalações de Baixa Tensão, entre outras.

3.6 Detalhamento

Para os orçamentos fotovoltaicos, uma informação muito importante é a distribuição de onde os equipamentos serão instalados. As distâncias entre os módulos fotovoltaicos e os inversores e dos inversores aos pontos de conexões. Dessa maneira a imagem ortomosaico pode auxiliar no fornecimento de informações. Quanto a bitola e composição do cabeamento, cabe ao projeto executivo determinar.
Para a conexão do projeto fotovoltaico e instalações atuais, as preocupações básicas devem ser:

- Perfeito dimensionamento do cabeamento A.C. (corrente alternada). Para isso, só é possível o cálculo após definir o tamanho (potência) do projeto. Cabe ao projeto executivo detalhar;

- Conexão em locais de potência existe maior ou igual ao implantado pelo projeto fotovoltaico. Esse item é importante que, apesar das subestações serem de grande porte, existem a distribuição da energia em baixa voltagem nos prédios que podem estar com bitolas de cabeamento inferiores a demanda do fotovoltaico. Dessa maneira, recomenda-se sempre que possível que as conexões sejam feitas nas subestações;

- Considerar todos reles de segurança de maneira que eventuais não conformidades na geração fotovoltaica não interfira na rede existente e vice-versa;

- Não paralelismo com sistema de geradores de emergência.

Para as devidas manutenções e limpezas, além do aproveitamento máximo de geração dos módulos fotovoltaicos devem-se: manter caminhos de, pelo menos 0,5 metros entre um conjunto de placas; deixar pelo menos 1 metros entre as placas e os beirais dos telhados; procurar o melhor posicionamento do telhado; e evitar a instalação dos módulos próximos a potenciais sombreamentos.

3.7 Responsável técnico do projeto e instalação

Para sistemas fotovoltaicos é necessário um responsável técnico para o projeto e outro para o acompanhamento da execução, podendo ser o mesmo engenheiro, desde que tenha a atribuição reconhecida pelo CREA e esteja em dia com seu registro e anuidades. Faz-se necessário uma ART para cada atividade.

3.8 Monitoramento Remoto

Ao adquirir os equipamentos fotovoltaicos, o projeto e instalação, recomenda-se frisar que o monitoramento remoto esteja incluso na proposta.
Existem diversos métodos de monitoramento remoto. No estudo apresentados nessa simulação os softwares utilizados foram: Solar View e PVSyst. Trata-se de um datalogger como um dispositivo de registro de dados que tem a função fundamental de registrar e memorizar os dados, mas não necessariamente ele terá conexão online para enviá-los para um banco de dados, nuvem, ou um programa, por exemplo. Nos sistemas fotovoltaicos, os dataloggers possuem conexão com a internet, seja via cabeamento (Ethernet), rede móvel 3G, ou Wi-Fi.

3.9 Garantias e Assistências Técnicas

Sugere-se que, ao abrir cotação dos materiais, observe-se as garantias dos equipamentos e, muito importante, se eles têm assistência técnica, oficina e reposição de peças no Brasil. Uma vez que se trata de um projeto de longo prazo e alto valor agregado e, também, perspectivas sobre os resultados de produção, essa sugestão agilizaria o reparo no equipamento danificado. Muitos fabricantes de inversores dão garantia de 5 anos e os de módulos fotovoltaicos de 10 anos.
Já a garantia sobre a instalação dos equipamentos também é recomendada de, pelo menos, um ano. Esse tempo é necessário para que os equipamentos passem por todas as estações do ano, já que, como mencionado, os equipamentos são influenciados pelo clima.

4. METODOLOGIA

4.1 Distribuição dos módulos

Para o estudo aqui presente, foi realizado, um aerolevantamento. Esse aerolevantamento permitiu uma melhor visualização das interferências dos telhados e distribuição dos módulos fotovoltaicos por prédio.
Assim, foi possível definir os prédios de maiores potenciais para as instalações dos sistemas fotovoltaicos e o número de módulos fotovoltaicos possíveis de serem instalados em cada um dos prédios. Foi possível observar também a inclinação dos telhados, azimute em relação ao norte e os sombreamentos.
Para o a unidade da Bosch de Campinas, foram identificados 9 prédios, restaurante e administração como melhor potencial de estudo.
Para o a unidade da Bosch de Curitiba, foram identificados 13 prédios como melhor potencial de instalação. O posicionamento dos telhados em relação ao norte não é o ideal, já que tem a face a noroeste, mas ainda assim é viável a implantação.

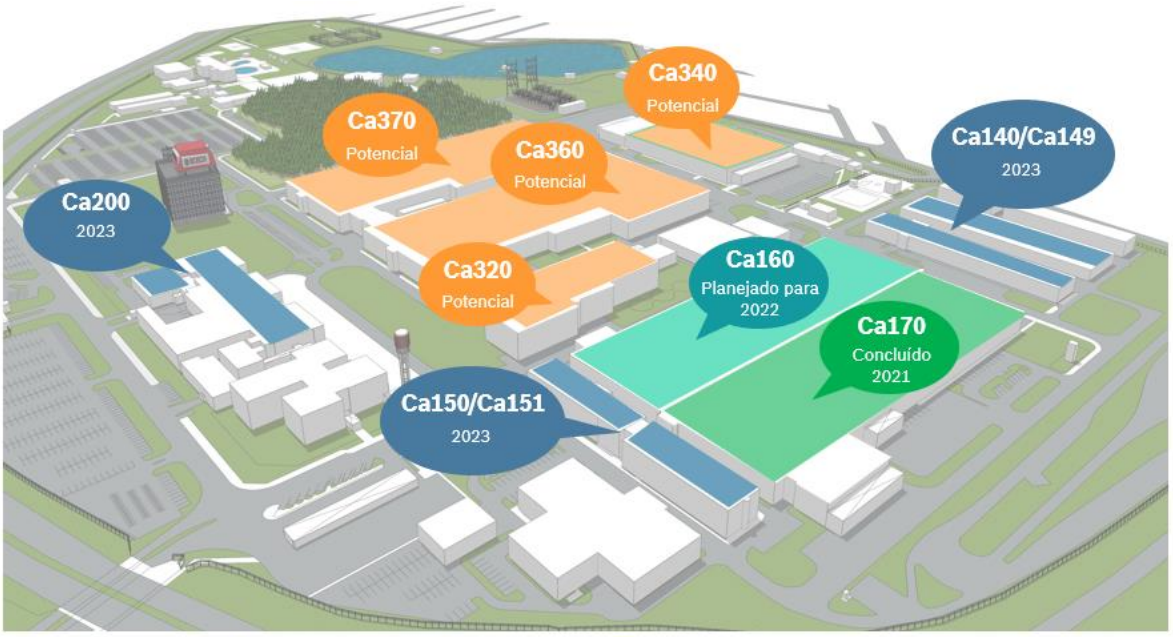
4.2 Dados para simulação

Para que seja possível simular o potencial de cada telhado, além de definir a capacidade do número de módulos fotovoltaicos de cada telhado, é necessário pré-definir o modulo fotovoltaico utilizado e seu respectivo inversor. Dessa maneira, para o estudo foi definido o modulo fotovoltaico RSM-156-6-445-M, da marca Risen e inversor SUN2000-100KTL-M1-400Vac da marca Huawei Technologies.
Nessas condições de simulação, foi definido modulo de um inversor para cada 320 módulos solares e assim equalizado com a disponibilidade de área de cada telhado.

5. RESULTADOS

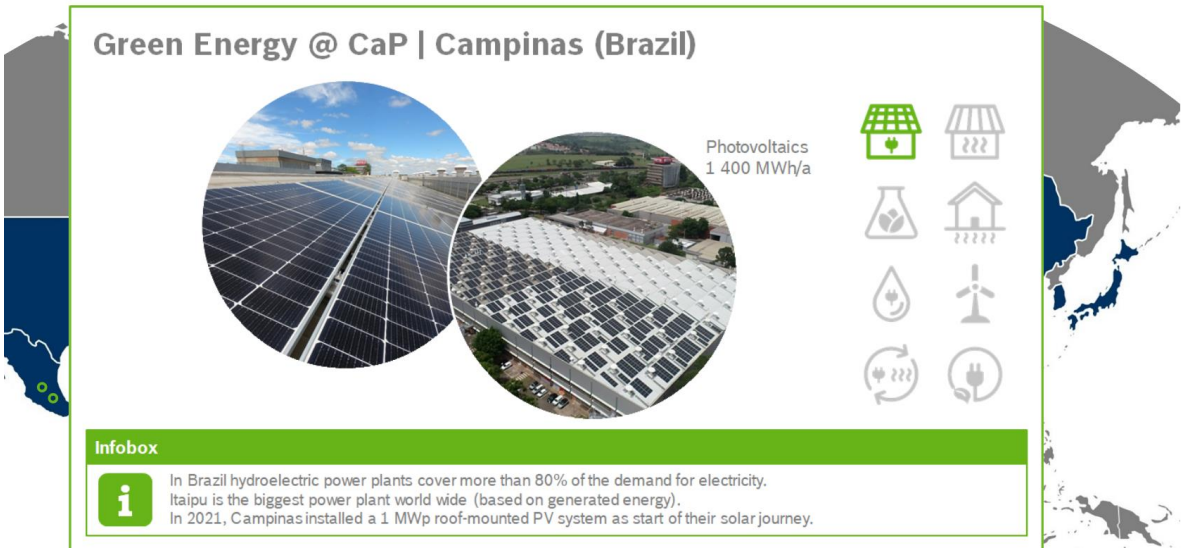
Os resultados obtidos pelo simulador foram divididos por prédio, assim, facilitam a tomada de decisão por parte das unidades de Campinas e Curitiba.

Figura 7: Telhados com Potencial para instalação fotovoltaica Unidade Campinas



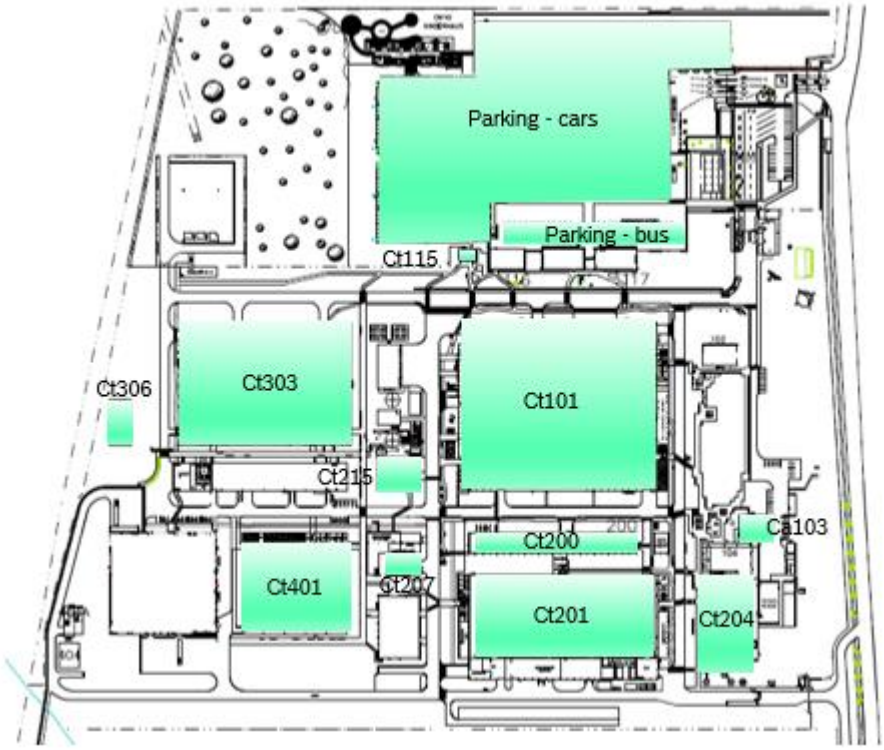
Os outros prédios foram estudados e não recomendados para implantação fotovoltaica, pois estão em posição desfavorável ao norte, sombreamento excessivo ou o telhado não é o ideal. Ainda assim, por último, uma área de estacionamento é fortemente arborizada e, portanto, também descartada para o projeto.

Figura 8: Projeto implementado na unidade Campinas



Foram instalados 2240 modulos fotovoltaicos em 2021 com potencia de 996 kWp e capacidade de geração de 1400 MWh/ano.

Figura 9: Telhados com Potencial para instalação fotovoltaica Unidade Curitiba



O posicionamento dos telhados em relação ao norte não é o ideal, como é a noroeste, mas ainda é possível implementá-lo.

Figura 10: Resumo da unidade Campinas

Foram instalados 794 modulos fotovoltaicos em 2019 e 2021 com potencia de 200 kWp e capacidade de geração de 400 MWh/ano.

Tabela 1: Resumo da unidade Campinas

Site: Ca								
Ranking position	Building	Annual production capacity [MWh]	% in relation to local consumption*	Expected annual savings [TBRL]**	Expected annual savings [tCO_2]	Estimated cost of installation [TBRL]	Estimated cost of preventive maintenance [TBRL]	Pay- back [years]***
1	Ca160	1.943	2,88	622	233	3.510	160	7,6
2	Ca170	1.700	2,5	544	204	3.071	140	7,6
3	Ca360	971	1,44	311	117	1.755	80	7,6
4	Ca370	971	1,44	311	117	1.755	80	7,6
5	Ca140 + Ca149	727	1,07	233	87	1.316	60	7,6
6	Ca340	485	0,72	155	58	877	40	7,6
7	Ca200 + Ca220	485	0,72	155	58	877	40	7,6
8	Ca320	243	0,36	78	29	439	20	7,6
9	Ca150 + Ca151	136	0,2	44	16	310	11	9,5
Maximum potential		7.661	11,33	2.452	919	13.910	631	7,82

*Refers to Mar/2021 | **Considering the cost of 0,32 R$/KWh (basis 2020 to Campinas) | ***Considering intallation + preventive maintenance costs

A unidade Bosch Campinas tem um potencial de geração anual de 7,6 GWh, o que representa 11% do consumo anual de todo o site.

Tabela 2: Resumo da unidade Curitiba

Site: Ct								
Ranking position	Building	Annual production capacity [MWh]	% in relation to local consumption*	Expected annual savings [TBRL]**	Expected annual savings [tCO_2]	Estimated cost of installation [TBRL]	Estimated cost of preventive maintenance [TBRL]	Pay- back [years]***
1	Parking - cars	5.027	6	1.307	603	12.000	460	14,2
2	Ct101	1.271	1,52	330	153	2.633	120	12,5
3	Ct201	847	1,01	220	102	1.755	80	12,5
4	Ct303	635	0,76	165	76	1.316	60	12,5
5	Ct401	424	0,51	110	51	878	40	12,5
6	Ct200	424	0,51	110	51	878	40	12,5
7	Parking - bus	424	0,51	110	51	1.030	40	14,7
8	Ct204	218	0,26	57	26	438	20	11,9
9	Ct215	75	0,09	20	9	180	7	14,4
10	Ct207	41	0,05	11	5	97	4	14,6
11	Ct306	41	0,05	11	5	97	4	14,6
12	Ct103	31	0,04	8	4	77	3	15,2
13	Ct115	31	0,04	8	4	77	3	15,2
Maximum potential		9.489	11,35	2.467	1.139	21.456	881	13,6

*Refers to Dec/2020 | **Considering the cost of 0,26 R$/KWh (basis 2020 to Curitiba) | *** Considering intallation + preventive maintenance costs

A unidade Bosch Curitiba tem um potencial de geração anual de 9,4 GWh, o que representa 11% do consumo anual de todo o site.

6. CONCLUSÃO

Alcançar saúde sustentável, proteção ambiental e segurança do trabalho em nível de referência para fornecer forte base para os processos de negócios isso foi o que buscamos nesse estudo.

Conforme o estudo apresentado, ficou evidente a viabilidade técnica e econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos nas unidades da Bosch em Campinas e Curitiba.

Proteger o meio ambiente, conservar os recursos naturais e mitigar as mudanças climáticas são exemplos de desafios que todos, incluindo empresas como a Bosch, devem assumir essa responsabilidade, pelas atuais e futuras gerações. Quanto mais esperar para tomar medidas decisivas, mais difícil será atenuar o aquecimento global.

As ações apresentadas estão bem alinhadas com a política e estratégia de carbono neutro da Bosch, melhorando a competitividade da empresa e trazendo mais benefícios para o meio ambiente.

7. REFERÊNCIAS

ANEEL, *Agência Nacional de Energia Elétrica* [online]. https://www.gov.br/aneel/pt-br

ANATEL, *Agência Nacional de Telecomunicações*[online] https://www.gov.br/anatel/pt-br

ANAC, *Agência Nacional de Viação Civil* [online] https://www.gov.br/anac/pt-br

PVSYST, *Software de simulação fotovoltaica* [onlie] https://www.pvsyst.com/