

▪ RELATÓRIO TÉCNICO ▪

AVALIAÇÃO TÉCNICA PARA QUARTÉIS DO EXÉRCITO BRASILEIRO TORNAREM-SE INSTALAÇÕES MILITARES DE ENERGIA ZERO COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA



CRO/12 ▪ 20º RCB ▪ 3º RCC ▪ PEF São Joaquim ▪ PEF Porto Índio

Luiz Pereira da Silva Neto ▪ Marcio José Sorgato

▪ RELATÓRIO TÉCNICO ▪

AVALIAÇÃO TÉCNICA PARA QUARTÉIS DO EXÉRCITO BRASILEIRO TORNAREM-SE INSTALAÇÕES MILITARES DE ENERGIA ZERO COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

CRO/12 ▪ 20º RCB ▪ 3º RCC ▪ PEF São Joaquim ▪ PEF Porto Índio

Luiz Pereira da Silva Neto ▪ Marcio José Sorgato



Universidade Federal
de Mato Grosso do Sul



Programa de Pós-Graduação em
Eficiência Energética e Sustentabilidade



Exército
Brasileiro

1ª Edição

PPGEES/FAENG/UFMS

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Av. Costa e Silva, S/N – Pioneiros – CEP: 79.070-900

Campo Grande – MS

2021

ISBN: 978-65-00-29205-3

Citação sugerida:

SILVA NETO, Luiz Pereira da; SORGATO, Marcio José. **Avaliação técnica para quartéis do Exército Brasileiro tornarem-se Instalações Militares de Energia Zero com sistemas fotovoltaicos e sistemas de armazenamento de energia. CRO/12. 20º RCB. 3º RCC. PEF São Joaquim. PEF Porto Índio: Relatório Técnico. Campo Grande, 2021.**

NOTA

Este relatório foi elaborado como um dos produtos técnico-científicos resultantes da pesquisa ***Instalações Militares de Energia Zero: avaliação técnica para quartéis do Exército Brasileiro com sistemas fotovoltaicos e sistemas de armazenamento de energia*** conduzida pelo discente Luiz Pereira da Silva Neto sob orientação do Prof. Dr. Marcio José Sorgato. O discente foi nomeado para o Curso de Mestrado Profissional no Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade (Área de concentração: Eficiência Energética; Linha de pesquisa: Energia e sistemas de produção) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pelo Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro (Aditamento 4E DCEM ao Boletim do DGP nº 134 de 14 de novembro de 2018). As informações desse relatório não representam necessariamente a opinião do Exército Brasileiro, mas dos autores estritamente.

Esse relatório está disponível gratuitamente em <https://ppgees.ufms.br/>.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Silva Neto, Luiz Pereira da
Relatório técnico [livro eletrônico] : avaliação
técnica para quartéis do exército brasileiro
tornarem-se instalações militares de energia zero
com sistemas fotovoltaicos e sistemas de
armazenamento de energia / Luiz Pereira da Silva
Neto, Marcio José Sorgato. -- Campo Grande, MS : Ed.
do Autor, 2021.

PDF

Bibliografia
ISBN 978-65-00-29205-3

1. Energia - Armazenamento 2. Energia -
Conservação 3. Exército brasileiro 4. Recursos
naturais

I. Sorgato, Marcio José. II. Título.

21-77809

CDD-621.042

Índices para catálogo sistemático:

1. Energia : Conservação : Tecnologia 621.042

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Agradecimentos

O presente relatório foi elaborado com apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001 e do Exército Brasileiro – Departamento de Ciência e Tecnologia. Os autores agradecem especialmente aos militares que serviam nos quartéis em 2020 e que forneceram apoio para a obtenção dos dados. Soli Deo Gloria.

Ficha técnica

Autor:

Luiz Pereira da Silva Neto (pesquisador). Egresso do Mestrado Profissional do Programa de Pós-graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (2021). Engenheiro Eletricista pelo Instituto Militar de Engenharia (2014). Capitão do Exército Brasileiro.

E-mail: luizpereira.eb@gmail.com

Orientador:

Marcio José Sorgato (docente orientador). Professor Adjunto na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), no Departamento Acadêmico de Arquitetura e Urbanismo (DEAAU). Docente no curso de graduação de Arquitetura e Urbanismo, e também no Mestrado do Programa de Pós-graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade (PPGEES/FAENG/UFMS). Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Comunitária Regional de Chapecó (2005), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina (2009) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina (2015).

E-mail: marcio.sorgato@ufms.br

Apresentação

Este relatório técnico foi elaborado para tornar público às Organizações Militares interessadas os resultados obtidos pela avaliação técnica da utilização de sistemas fotovoltaicos acoplados a sistemas de armazenamento com o objetivo de tornar quartéis Instalações Militares de Energia Zero, conforme resultados da pesquisa ***Instalações Militares de Energia Zero: avaliação técnica para quartéis do Exército Brasileiro com sistemas fotovoltaicos e sistemas de armazenamento de energia***

O objetivo da Necessidade de Conhecimento Específico aprovada pela Diretoria de Obras Militares (DOM) e pelo Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT) que deu origem a essa pesquisa (NCE 84M2019 – DECEX: M19/DCT-013) foi estudar formas alternativas de atendimento elétrico eficiente e seguro a quartéis do Exército Brasileiro. O escopo estava inicialmente limitado aos Pelotões Especiais de Fronteira. Entretanto, por três razões, o estudo foi ampliado para abranger também quartéis conectados à rede:

- (1) o aumento da geração distribuída utilizando sistemas fotovoltaicos no país após a Resolução nº 482/2012 da ANEEL;
- (2) a necessidade das Forças Armadas do Brasil seguirem a tendência militar internacional de preocupação com a autonomia no atendimento elétrico de instalações militares, sejam conectadas à rede ou isoladas, especialmente após o aceite do país como aliado especial extra-OTAN pelos EUA em 2019; e
- (3) as perspectivas positivas com relação ao mercado e à utilização de baterias de íons de Lítio acopladas a sistemas renováveis conectados à rede. Essa solução econômica, tecnológica e estratégica pode ser alavancada caso haja mudanças no sistema de compensação de créditos de energia estabelecido pela ANEEL.

Dessa forma, o relatório apresenta de forma sucinta os resultados de sistemas fotovoltaicos acoplados a sistemas de armazenamento (baterias de íons de Lítio) em três quartéis conectados à rede e dois quartéis isolados. Os quartéis selecionados para os estudos de caso da Pesquisa foram:

- Conectados à rede: a Comissão Regional de Obras da 12ª Região Militar (CRO/12), o 20º Regimento de Cavalaria Blindado (20º RCB), o 3º Regimento de Carros de Combate (3º RCC); e
- Isolados: o Pelotão Especial de Fronteira de São Joaquim (subordinado à 2ª Brigada de Infantaria de Selva) e o Pelotão Especial de Fronteira de Porto Índio (subordinado ao 17º Batalhão de Infantaria de Fronteira).

O objetivo desse relatório é fornecer direcionamento e assessoramento aos gestores militares envolvidos nos diversos níveis quanto às melhores opções técnicas a serem adotadas nos quartéis, caso seja do interesse da Força.

Lista de Figuras

Figura 1. Módulos fotovoltaicos e inversor solar utilizados nas simulações.....	5
Figura 2. Bancos de baterias e inversor bidirecional utilizados nas simulações	5
Figura 3. Caracterização do consumo da CRO/12	7
Figura 4. Identificação das edificações e superfícies que receberam sistemas fotovoltaicos da CRO/12	8
Figura 5. Fluxos energéticos anuais nos sistemas simulados para a CRO/12 (em MWh)	10
Figura 6. Balanços energéticos anuais com diferentes Fatores de Compensação de Créditos na CRO/12	11
Figura 7. Caracterização do consumo do 20º RCB.....	11
Figura 8. Identificação das edificações e superfícies do 20º RCB.....	13
Figura 9. Fluxos energéticos anuais nos sistemas simulados para o 20º RCB (em MWh)	15
Figura 10. Balanços energéticos anuais com diferentes Fatores de Compensação de Créditos do 20º RCB	16
Figura 11. Caracterização do consumo do 3º RCC.....	17
Figura 12. Identificação das edificações e superfícies do 3º RCC.....	18
Figura 13. Fluxos energéticos anuais nos sistemas simulados para o 3º RCC (em MWh)	20
Figura 14. Balanços energéticos anuais com diferentes Fatores de Compensação de Créditos no 3º RCC	20
Figura 15. Perfil horário de consumo do PEF São Joaquim e consumos totais diário e anual	21
Figura 16. Identificação das edificações e superfícies do PEF São Joaquim.....	22
Figura 17. Fluxos de energia nos sistemas híbridos simulados para o PEF São Joaquim (em MWh)	23
Figura 18. Perfil horário de consumo do PEF Porto Índio.....	24
Figura 19. Identificação das edificações e superfícies do PEF Porto Índio	25
Figura 20. Fluxos de energia dos sistemas híbridos simulados para o PEF Porto Índio (em MWh)	26

Lista de Tabelas

Tabela 1. Sistemas de armazenamentos simulados para a CRO/12.....	7
Tabela 2. Sistemas fotovoltaicos modelados para a CRO/12	8
Tabela 3. Representação e produtividade dos sistemas fotovoltaicos para a CRO/12.....	9
Tabela 4. Sistemas de armazenamentos do 20º RCB	12
Tabela 5. Sistemas fotovoltaicos modelados para o 20º RCB	12
Tabela 6. Representação e produtividade dos sistemas fotovoltaicos para o 20º RCB	14
Tabela 7. Sistemas de armazenamentos do 3º RCC	17
Tabela 8. Sistemas fotovoltaicos modelados no 3º RCC.....	18
Tabela 9. Representação e produtividade dos sistemas fotovoltaicos modelados para o 3º RCC	19
Tabela 10. Sistemas fotovoltaicos simulados no PEF São Joaquim	22
Tabela 11. Representação e produtividade dos sistemas fotovoltaicos do PEF São Joaquim	22
Tabela 12. Sistemas fotovoltaicos simulados no PEF Porto Índio	25
Tabela 13. Representação e produtividade dos sistemas fotovoltaicos do PEF Porto Índio	.25

Sumário

1. Introdução	1
1.1 Oportunidades para quartéis conectados à rede	1
1.2 Oportunidades para quartéis isolados	2
2. Método	4
3. Resultados para quartéis conectados à rede	7
3.1 CRO/12	7
3.2 20º RCB.....	11
3.3 3º RCC.....	17
4. Resultados dos quartéis isolados	21
4.1 PEF São Joaquim.....	21
4.2 PEF Porto Índio	24
5. Considerações finais	27
Referências.....	28

1. Introdução

O meio militar mundial tem entendido a energia como um fator determinante para o planejamento de operações militares bem-sucedidas, o que era anteriormente ignorado. O fornecimento seguro de energia para bases militares tornou-se essencial para a garantia de sucesso em episódios de combate (EEAS, 2012). As bases militares estão sujeitas à vulnerabilidade trazida pela realidade digital e pela conectividade do século XXI. Por isso, é essencial dedicar atenção à forma dos quartéis obterem energia para funcionamento, uma vez que as interrupções não são descartadas e espera-se que a capacidade operacional das Tropas seja mantida em todas as circunstâncias (USA, 2019b).

O Exército Brasileiro deve seguir a tendência global de adaptar a atividade militar às demandas de cuidados ambientais, desenvolvimento sustentável e eficiência energética, especialmente após a aceitação do Brasil como um aliado prioritário extra-OTAN pelos Estados Unidos em 2019 (USA, 2019a).

O lançamento do Programa Exército Brasileiro Sustentável, em 2019, foi um marco histórico para o desenvolvimento do tema de energias renováveis dentro da Força. Uma das áreas específicas do Programa é Energia, com enfoque em geração distribuída (GD), aplicada a quartéis conectados à rede seguindo a regulamentação da ANEEL, e na melhoria do atendimento elétricos a quartéis isolados.

1.1 Oportunidades para quartéis conectados à rede

Valendo-se dos benefícios da legislação brasileira para geração distribuída pode-se obter redução considerável nos gastos públicos com energia. A ANEEL estabeleceu as condições gerais a microgeração e minigeração distribuída e sua conexão aos sistemas de distribuição de energia elétrica com definição de sistema de compensação de energia elétrica por meio da Resolução Normativa nº 482/2012. Isso deu origem aos usuários da rede de distribuição das concessionárias que, ao mesmo tempo, consomem energia da rede e exportam energia para a rede (chamados de prossumidores).

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2021 (ano base 2020), a geração distribuída aumentou 137% comparando-se 2020 com 2019, gerando um total de 5.269 MWh, apesar da pandemia de covid-19 (EPE, 2021). Dentre os tipos de fontes renováveis utilizados na geração distribuída no país, destaca-se a energia solar (usinas fotovoltaicas). Elas têm sido responsáveis pela maior parte da potência instalada de geração distribuída no Brasil, decorrente dos excelentes níveis de irradiação que o país possui e pela redução do preço dos componentes dos sistemas fotovoltaicos, especialmente dos módulos (DESCHAMPS; RÜTHER, 2019). Em julho de 2021 a potência instalada de sistemas fotovoltaicos em geração distribuída superava os 6 GW, distribuídos em mais de 520.000 UCs (ANEEL, 2021).

A geração distribuída também tem crescido no Poder Público depois das regulamentações da ANEEL. Há um total de 1.847 usinas de geração distribuída em prédios

públicos brasileiros, que atendem um total de 2.541 unidades consumidoras, totalizando uma capacidade instalada de 70.561 kW (em julho de 2021). Apenas em 2020, foram adicionadas 767 novas usinas. Dentre o número total, apenas 5 não são por sistemas fotovoltaicos (ANEEL, 2021). Entretanto, a geração distribuída ainda é responsável por uma pequena geração em comparação ao consumo do poder público.

Estão previstas alterações na Resolução Normativa 482 da ANEEL. Segundo a Agência, o não pagamento, por parte das Unidades Consumidoras (UC) com geração distribuída, dos valores do uso da rede de distribuição (custo de transporte, encargos e perdas) prejudica os consumidores que não possuem sistema de geração distribuída, que precisam compensar esse não recebimento em suas próprias faturas. Além disso, como as UC com geração distribuída são conectadas à rede, a rede de distribuição alimenta a UC quando não há geração local, ou seja, os prossumidores também utilizam a rede da concessionária (ANEEL, 2019b). Por isso, a ANEEL objetiva mudar o sistema de compensação, taxando os consumidores que exportam energia para a rede, com taxas referentes ao uso da rede e encargos de transmissão e distribuição (ANEEL, 2019a). Na prática, isso ocasiona uma redução da energia exportada para a rede pelos prossumidores que pode ser utilizada para compensação da energia importada.

Essa taxa, entretanto, pode levar o mercado a se ajustar às novas regras e incentivar os prossumidores a se desconectarem completa ou parcialmente da rede utilizando sistemas de armazenamento de energia. Os preços dos sistemas de armazenamento reduziram 73% entre 2013 e 2018 e sua popularização abrirá caminho para que os consumidores fiquem isolados, produzindo e consumindo a energia de seus próprios sistemas, independente das redes das concessionárias. Dessa forma, o prossumidor passará a ser um gerador completa ou parcialmente autônomo (IDEAL, 2019; RODRIGUES, 2019).

De acordo com Green e Newman (2017), à medida que a eletricidade proveniente de energia solar fotovoltaica e de sistemas de armazenamento se torna mais barata que as alternativas da rede, esse novo suprimento inundará o mercado, aumentando a oferta de energia e criando um preço mais baixo para a eletricidade. Ou seja, com a tendência de declínio dos preços dos sistemas fotovoltaicos, o aumento contínuo dos preços da eletricidade e a taxa dos que exportam energia para a rede das distribuidoras, o número de prossumidores com sistemas de armazenamento crescerá vertiginosamente.

1.2 Oportunidades para quartéis isolados

O fornecimento de energia elétrica para edificações isoladas é um grande desafio. A localização remota e o difícil acesso são os principais motivos da não interligação dessas cargas ao sistema elétrico de distribuição, o que inviabiliza técnico-economicamente a expansão das redes das concessionárias (YILMAZ et al., 2015). Esse é o caso de alguns Pelotões Especiais de Fronteira (PEF), localizados no Pantanal e na Região Amazônica, que não possuem conexão elétrica com o Sistema Interligado Nacional (SIN). A solução mais

adotada para o fornecimento de energia elétrica às cargas desses quartéis é a utilização de múltiplos geradores a diesel que operam alternadamente.

Em alguns lugares, são utilizadas fontes renováveis disponíveis no local. Na década de 1990, muitos PEF receberam Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH). No entanto, muitas dessas PCH estão inativas devido à difícil, cara e precária manutenção. Aproveitando os elevados níveis de irradiação solar no país e a redução no preço dos componentes dos sistemas ocorrida na última década, alguns PEF têm recebido a instalação de usinas fotovoltaicas (BRASIL, 2017; DESCHAMPS; RÜTHER, 2019; RIBEIRO, 2018).

Como toda fonte renovável, entretanto, os sistemas fotovoltaicos fornecem energia de forma intermitente e, por isso, os geradores a diesel ainda são necessários. Além de serem prejudiciais ao meio ambiente devido ao uso de combustíveis fósseis e serem considerados um investimento economicamente inviável, os geradores também demandam logística para o transporte do combustível até o local, o que diminui a eficiência do sistema de geração, pois os custos de transporte devem ser considerados e, devido à dificuldade de acesso à localidade, são elevados (HARTRANFT, 2007; KALINCI et al., 2015; MITRA; VALLEM, 2012; YILMAZ et al., 2015).

Além disso, é comum a ocorrência de problemas no abastecimento de diesel, forçando a limitação do período de operação dos geradores. Os usuários precisam controlar a carga, ajustando a curva de consumo para se adequar à curva de geração com base no fornecimento de diesel (IQBAL; IQBAL, 2019). Isso resulta na redução do conforto para os usuários e, no caso específico das instalações militares, diminui a capacidade operacional e reduz a prontidão da tropa devido a baixa confiabilidade do fornecimento de energia (MITRA; VALLEM, 2012).

Para mitigar esse problema, é viável o acréscimo de sistemas de armazenamento para fornecimento de energia à instalação isolada quando os outros dois sistemas são insuficientes ou estão inoperantes por quaisquer motivos (RAMESH; SAINI, 2020). O uso dos sistemas de armazenamento permite que sejam utilizados geradores a diesel de menores potências e, uma vez que a carga necessária para ser alimentada por eles é reduzida, a eficiência do sistema aumenta e o consumo de diesel diminui consideravelmente (DWI ATMAJA et al., 2018).

2. Método

As estimativas de geração dos sistemas fotovoltaicos das edificações e os fluxos de energia entre os sistemas fotovoltaicos e os sistema de armazenamento foram obtidas por meio de simulação computacional no programa SAM (*System Advisor Model*), versão 2020.11.29 (SAM, 2021).

Os projetos das edificações dos quartéis foram obtidos junto às respectivas Comissões Regionais de Obras (CRO/12, CRO/9 e CRO/5). De acordo com a disponibilidade de projetos e de seus detalhes (cortes, fachadas e plantas de cobertura), as edificações foram modeladas tridimensionalmente, de acordo com suas posições nos Planos Diretores das Organizações Militares (PDOM).

Os níveis de irradiação que cada superfície de cobertura dos quartéis recebe anualmente foram comparados aos níveis de irradiação nas melhores condições de instalação (quando a inclinação é igual à latitude e o ângulo azimutal é nulo em relação ao norte, conforme (GASPARIN; KRENZINGER, 2017; SABER et al., 2014)). As superfícies foram classificadas da menor para a maior diferença entre a média anual do plano da superfície e a média anual da irradiação ideal, para que os módulos fossem integrados nas superfícies com maiores desempenhos (maximizando a geração de energia com menor potência instalada). Foram excluídas superfícies parcial ou completamente sombreadas devido a volumes próximos, que possuíam áreas inferiores a 100 m² e superfícies com perdas de irradiação solar superiores a 5%.

A quantidade de superfícies utilizadas por quartel para a modelagem dos sistemas fotovoltaicos foi escolhida após análise preliminar da quantidade de módulos necessária para gerar energia superior ao consumo pelo quartel ao longo do ano. Utilizando a quantidade total de módulos por quartel obtida no cálculo preliminar, os sistemas fotovoltaicos foram modelados nas superfícies com menores perdas de irradiação, até que a quantidade total de módulos fosse superior à quantidade preliminar total em no máximo 20%.

Para os quartéis conectados à rede, os consumos de eletricidade foram obtidos por meio das memórias de massa de consumo solicitadas às distribuidoras de energia durante o período de um ano. Para os PEF, o consumo foi obtido através do levantamento do consumo de diesel nos geradores que alimentam as cargas. O consumo de diesel (em litros) foi convertido em consumo de energia (em kWh) por regressão linear do consumo em litros de diesel por hora de acordo com a carga do gerador *Cummins 680D6* (100 kVA/80kW – *Stand-by*). Não foram consideradas variações sazonais (perfil de consumo diário constante ao longo do ano), considerou-se um consumo de diesel linear ao longo do tempo e de acordo com o consumo de diesel por hora dos quartéis e os PEF sendo atendidos por geradores a diesel por 24 horas/dia. Nas horas em que não há funcionamento dos geradores, foi considerada a metade do consumo das horas em que este equipamento está operando.

Foram escolhidos dois módulos com tecnologias de células fotovoltaicas diferentes para avaliação dos desempenhos: módulos de silício policristalino (mc-Si) e módulos de

Telureto de Cádmio (CdTe). Os sistemas fotovoltaicos foram simulados com inversores *Fronius Symo* com potência variando entre 12 kWca a 24 kWca. Os modelos de módulos e inversores são representados na Figura 1.



Foram utilizados sistemas de armazenamento da *TESVOLT*, com módulos de baterias compostos de baterias prismáticas da Samsung de íons de Lítio de Níquel, Manganês e Cobalto (NMC) acoplados por meio de Inversores *SMA STPS 60* (Figura 2).



As gerações anuais e mensais de energia pelos sistemas fotovoltaicos foram analisadas, mostrando se houve ou não excedente de energia em cada mês e no ano. Diagramas de Sankey com os totais anuais com os fluxos de energia entre as cargas elétricas,

os sistemas fotovoltaicos, os sistemas de armazenamento e a rede (quartéis conectados) e entre as cargas elétricas, os sistemas fotovoltaicos, os sistemas de armazenamento e os geradores a diesel (quartéis isolados) foram elaborados para cada sistema e cenário.

Para os quartéis conectados à rede, considerou-se 4 cenários para as simulações dos sistemas de armazenamento:

- (1) Base, em que o quartel possui apenas os sistemas fotovoltaicos (sem sistemas de armazenamento);
- (2) Ponta, em que o quartel possui sistema de armazenamento dimensionado para suprir o consumo no horário de ponta (as baterias só puderam descarregar no horário de ponta);
- (3) Noite, em que o quartel possui sistema de armazenamento dimensionado para suprir o consumo noturno (as baterias só puderam descarregar no horário noturno, considerado das 18h às 5:59h); e
- (4) Dia, em que o quartel possui sistema de armazenamento dimensionado para suprir o consumo da instalação militar em um dia completo (as baterias puderam descarregar todo o dia).

Nos quartéis conectados à rede, calculou-se a compensação da energia importada da rede para atender a carga nos quatro cenários por meio do Fator de Compensação de Créditos (FCC), que se refere à proporção da energia exportada que pode ser utilizada para a compensação da energia. Considerou-se $FCC=1$ (situação atual da regulamentação da ANEEL, em que toda a energia exportada pode ser utilizada para compensação), $FCC=0,6$ (perdas de 40% na energia exportada para compensação) e $FCC=0,3$ (perdas de 70% na energia exportada para compensação). Considerou-se também um Fator Tarifário de 1,7, aplicado à energia importada no horário de ponta, que deve ser compensada, de acordo com a Resolução 482/2012 da ANEEL, atentando para as diferenças tarifárias (ANEEL, 2012). A compensação considerou primeiro a energia importada no horário solar. Em seguida, a energia importada no horário noturno fora ponta e, por último, a energia importada no horário ponta.

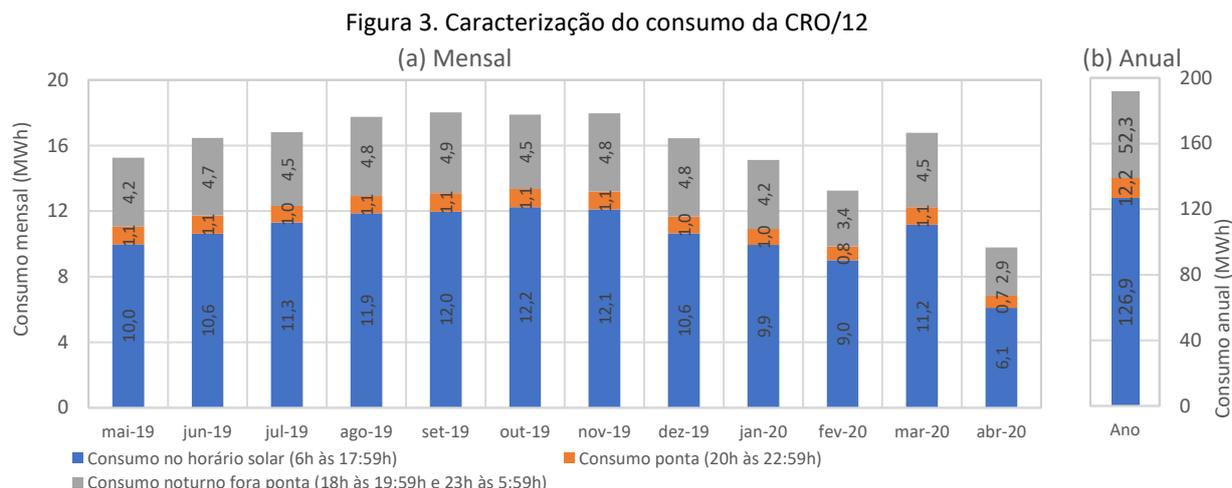
Após o processo de compensação (parcial ou total) da energia importada em cada período do dia, o balanço energético mensal foi calculado. Em cada mês, se houver compensação total nos três períodos considerados, o resultado foi positivo e o quartel pode ser classificado como Instalação Militar de Energia Zero. Se, em determinado mês, houve compensação parcial em um ou mais dos períodos considerados, o balanço energético foi negativo. A soma dos resultados mensais do balanço resultou no balanço anual.

Para os quartéis isolados, considerou-se apenas dois cenários: sem sistema de armazenamento (apenas sistemas fotovoltaicos) e com sistema de armazenamento capaz de suprir o consumo do quartel por 3 dias. Explicitou-se, nos quartéis isolados, a redução do desperdício de energia fotovoltaica e a redução do uso dos geradores a diesel pela utilização dos sistemas de armazenamento.

3. Resultados para quartéis conectados à rede

3.1 CRO/12

A CRO/12 localiza-se em Manaus, AM, cidade com níveis de irradiação anual de 5,98 kWh/m²/dia. Obteve-se, junto à Amazonas Energia, o consumo horário de eletricidade da CRO/12 no período de 01 MAI 2019 a 30 ABR 2020 (UC 86992-9), conforme Figura 3.



O maior consumo no horário de ponta (das 20:00h às 22:59h) foi de 92 kWh, no horário noturno (das 18:00h às 5:59h) de 337 kWh e o maior consumo diário foi de 975 kWh. Dessa forma, os sistemas de armazenamento modelados para cada cenário constam na Tabela 1. O consumo total nesse período foi de 191.487 kWh.

Tabela 1. Sistemas de armazenamentos simulados para a CRO/12

Cenário	Ponta	Noite	Dia
Capacidade total requerida no cenário (kWh)	92	337	975
Quantidade de sistemas	2	6	16
Capacidade de armazenamento total (kWh)	134	402	1.216
Potência total em CA (nº de inversores x Pot em kW)	1 x 60	2 x 60	4 x 60

O cálculo preliminar da quantidade de módulos necessários para geração superior ao consumo anual resultou em 411 módulos de mc-Si e 396 módulos de CdTe. As edificações da CRO/12 foram modeladas tridimensionalmente de acordo com os projetos disponíveis. Excluiu-se superfícies sombreadas ou com áreas inferiores a 100 m². A irradiação solar incidente em cada superfície de cobertura foi calculada e foram modelados sistemas fotovoltaicos nas 7 melhores superfícies para integração, de acordo com os níveis de irradiação solar incidente em comparação aos níveis das condições ideais (6.067 Wh/m²). A planta de situação da CRO/12 com as superfícies das edificações que receberam a integração dos sistemas fotovoltaicos é apresentada na Figura 4. No total, foram integrados 435 módulos de mc-Si (961 m² e 176,3 kWcc) e 417 módulos de CdTe (1.032,1 m² e 181,5 kWcc), com detalhes de modelagem e de desempenho apresentados na Tabela 2 e na Tabela 3.

Figura 4. Identificação das edificações e superfícies que receberam sistemas fotovoltaicos da CRO/12

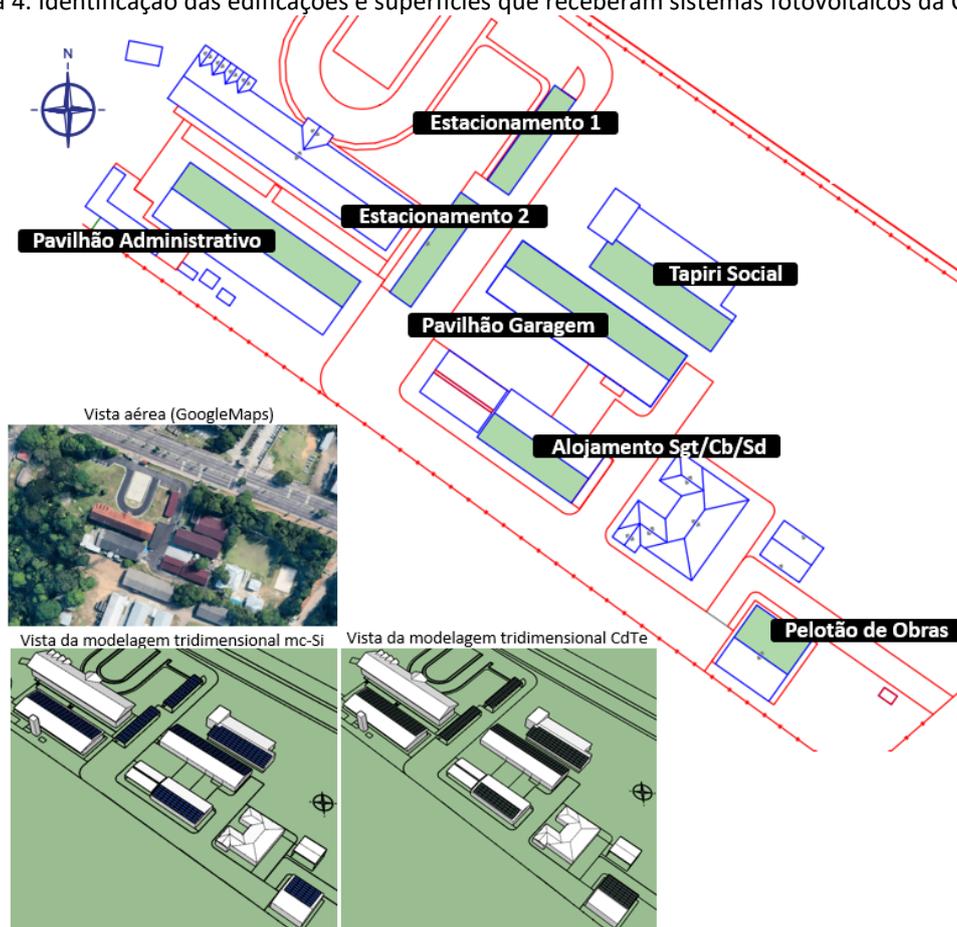
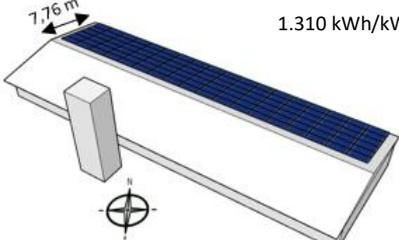
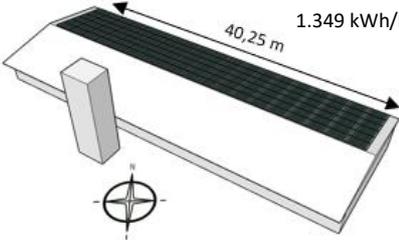
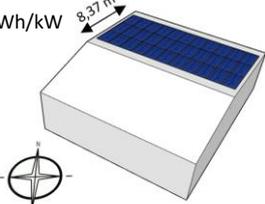
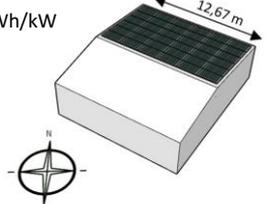
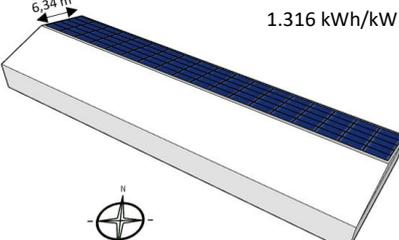
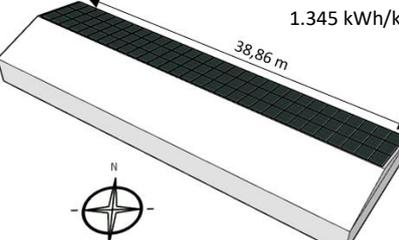
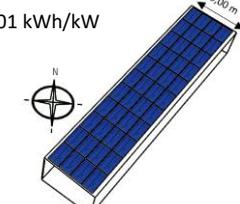
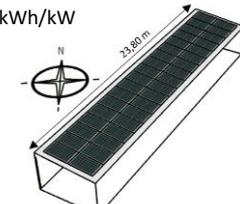
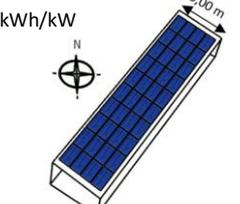
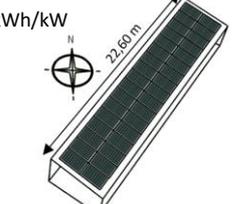
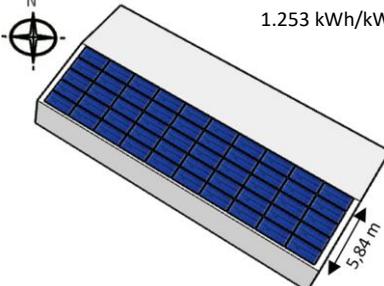
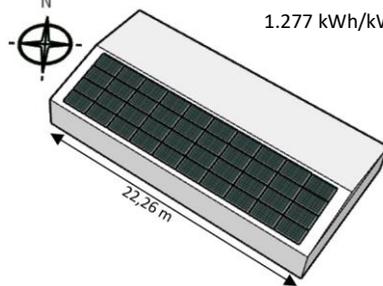
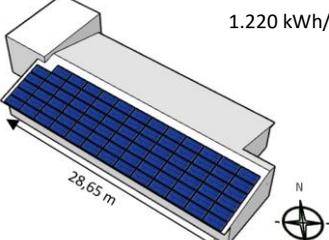
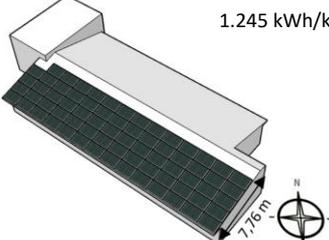


Tabela 2. Sistemas fotovoltaicos modelados para a CRO/12

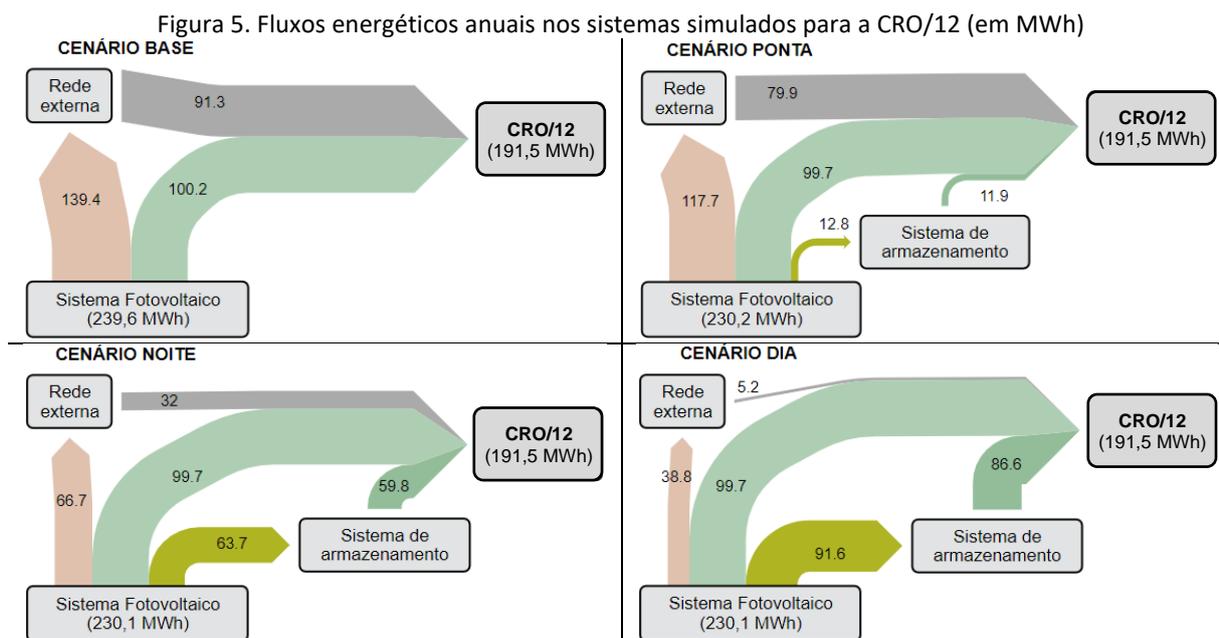
Sistema	Azimute (°)	Inclinação (°)	Irradiação da superfície (Wh/m ²)	Área para integração (m ²)	Tecnologia módulos	Número de strings	Módulos por string	Qtde de módulos	Potência em CC (kW)	Área integrada (m ²)	Qtde de inversores	Pot. inversores (kW)	Potência em CA (kW)
Pavilhão Administrativo	35	10	6.151	312	mc-Si	9	12	108	43,8	239	2	17,5	35
					CdTe	38	3	114	49,6	282	2	22,7	45,4
Pelotão de Obras	35	10	6.151	106	mc-Si	3	11	33	13,4	73	1	12,5	12,5
					CdTe	12	3	36	15,7	89	1	12,5	12,5
Pavilhão Garagem	35	15	6.104	246	mc-Si	9	10	90	36,5	199	2	15	30
					CdTe	30	3	90	39,2	223	2	17,5	35
Estacionamento 2	125	6	6.096	120	mc-Si	4	11	44	17,8	97	1	15	15
					CdTe	12	3	36	15,7	89	1	12,5	12,5
Estacionamento 1	125	10	6.046	115	mc-Si	4	10	40	16,2	88	1	15	15
					CdTe	11	3	33	14,4	82	1	12,5	12,5
Alojamento Sgt/Cb/Sd	215	10	6.013	130	mc-Si	3	16	48	19,5	106	1	17,5	17,5
					CdTe	13	3	39	17,0	96	1	17,5	17,5
Tapiri Social	215	15	5.901	220	mc-Si	6	12	72	29,2	159	2	12	24
					CdTe	23	3	69	30,0	171	2	12,5	25
Quartel	-	-	-	1.249	mc-Si	-	-	435	176,3	961	10	-	149,0
					CdTe	-	-	417	181,5	1.032	10	-	160,4

Tabela 3. Representação e produtividade dos sistemas fotovoltaicos para a CRO/12

Tecnologia	mc-Si	CdTe
Pavilhão Administrativo	 <p>1.310 kWh/kW</p>	 <p>1.349 kWh/kW</p>
Pelotão de Obras	 <p>1.302 kWh/kW</p>	 <p>1.342 kWh/kW</p>
Pavilhão Garagem	 <p>1.316 kWh/kW</p>	 <p>1.345 kWh/kW</p>
Estacionamento 2	 <p>1.301 kWh/kW</p>	 <p>1.329 kWh/kW</p>
Estacionamento 1	 <p>1.305 kWh/kW</p>	 <p>1.331 kWh/kW</p>
Alojamento Sgt/Cb/Sd	 <p>1.253 kWh/kW</p>	 <p>1.277 kWh/kW</p>
Tapiri Social	 <p>1.220 kWh/kW</p>	 <p>1.245 kWh/kW</p>

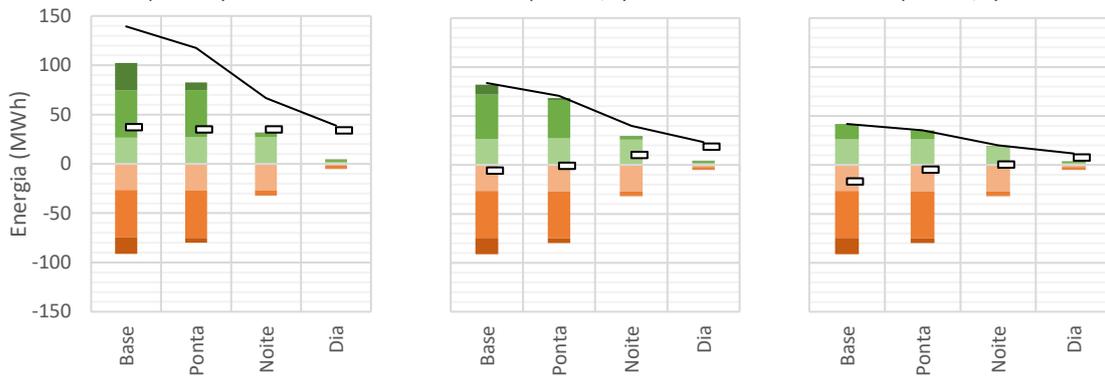
Os sistemas com módulos de CdTe apresentaram as maiores produtividades *(yields)* em relação aos sistemas com módulos de mc-Si. Os melhores desempenhos para as duas tecnologias de módulos utilizadas foram dos sistemas integrados na cobertura do Pavilhão Administrativo. Considerando a produtividade de todos os sistemas fotovoltaicos simulados para a CRO/12 ponderados de acordo com a potência de módulos instalada em cada um, resultou-se em *yield* de 1.288 kWh/kW para os sistemas com módulos de mc-Si e de 1.320 kWh/kW para os sistemas com módulos de CdTe. Portanto, módulos de Telureto de Cádmio são mais recomendados para o clima de Manaus que os Silício Policristalino.

Considerando apenas os resultados dessa tecnologia mais recomendada, na Figura 5 são apresentados os fluxos energéticos anuais considerando todos os sistemas da CRO/12 nos quatro cenários considerados. Quando não há sistemas de armazenamento (Cenário Base), os sistemas fotovoltaicos exportaram para a rede 139,4 MWh no ano e importaram 91,3 MWh para atender às cargas. Com o acréscimo dos sistemas de armazenamento, as quantidades de energia exportadas e importada diminuiriam. A diferença no Cenário Ponta não foi expressiva (importação de 79,9 MWh e exportação de 117,7 MWh). No Cenário Noite, a energia importada reduziu para 32 MWh e a energia exportada foi de 78,2 MWh. Apesar da pequena energia importada no Cenário Dia (5,2 MWh), os sistemas de armazenamento desse cenário não evitaram a exportação de energia de 38,8 MWh.



Os resultados anuais da energia exportada compensável, as parcelas de energia importada compensadas em cada período e o balanço energético resultante em cada cenário e FCC de todos os sistemas da CRO/12 são apresentados na Figura 6. Nas condições atuais de compensação de energia (FCC=1), a energia exportada para a rede foi maior que a importada em todos os cenários. Houve a compensação total da energia importada em todos os períodos do dia e o excedente anual foi de 48 MWh no Cenário Base e próximos a 34 MWh nos demais cenários. Dessa forma, se a ANEEL mantiver as condições atuais de compensação de energia pelos prossumidores, a utilização dos sistemas de armazenamento não impacta na compensação da energia importada.

Figura 6. Balanços energéticos anuais com diferentes Fatores de Compensação de Créditos na CRO/12
Atual sistema de compensação (FCC=1) *Perdas de 40% na compensação (FCC=0,6)* *Perdas de 70% na compensação (FCC=0,3)*

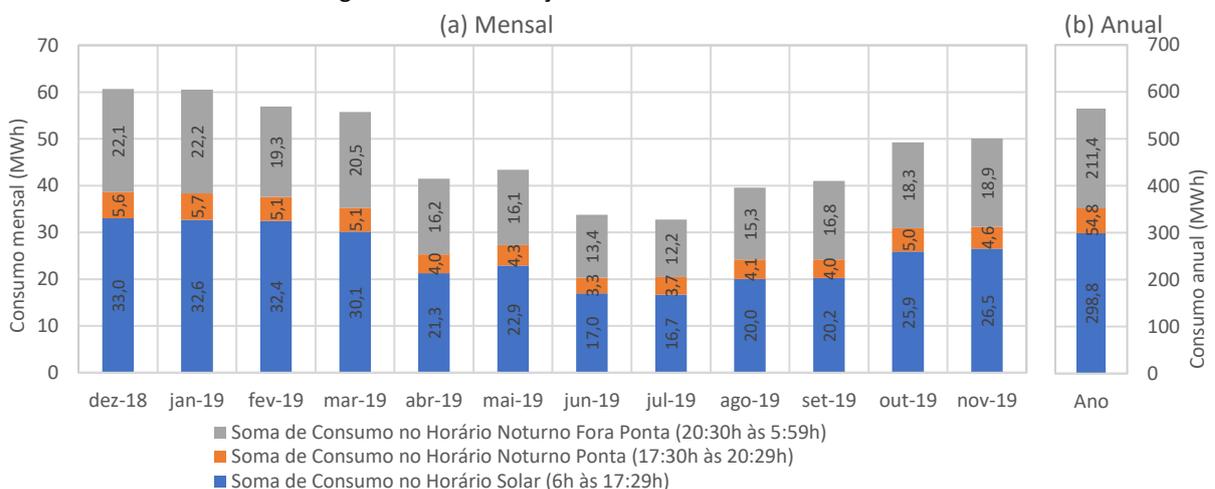


Entretanto, percebe-se que com as reduções das parcelas compensáveis da energia exportada em 40% (FCC=0,6) e em 70% (FCC=0,3), os sistemas de armazenamento foram necessários para que houvesse compensação completa da energia importada. Nesses casos, quando não há sistemas de armazenamento, o quartel não exportou energia suficiente para compensar toda a importação (ou seja, na prática, precisará pagar pelo restante da energia que importou da rede). Isso também ocorreu com o acoplamento de sistemas de armazenamento configurados para despacho apenas no horário de ponta. Apenas com o acoplamento dos sistemas de armazenamento configurados para o Cenário Noite e Cenário Dia o balanço energético tornou-se positivo. Ou seja, se houver uma redução da parcela compensável energia por parte da ANEEL, sistemas de armazenamento com despacho programado para o período noturno, pelo menos, são necessários para que os sistemas renováveis da CRO/12 compensem toda a energia importada da rede no ano.

3.2 20º RCB

O 20º RCB localiza-se em Campo Grande, MS, cidade com níveis de irradiação anual de 6,29 kWh/m²/dia. Obteve-se, junto à Energisa MS, o consumo horário de eletricidade do 20º RCB no período de 01 DEZ 2018 a 30 NOV 2019 (UC 10/9000973-9), conforme Figura 7.

Figura 7. Caracterização do consumo do 20º RCB



O maior consumo no horário de ponta (das 17:30h às 20:29h) foi de 559 kWh, no horário noturno (das 18:00h às 5:59h) de 1.460 kWh e o maior consumo diário foi de 3.113 kWh. Dessa forma, os sistemas de armazenamento modelados para cada cenário constam na Tabela 4. O consumo total nesse período foi de 565.002 kWh.

Tabela 4. Sistemas de armazenamentos do 20º RCB

Cenário	Ponta	Noite	Dia
Capacidade total requerida no cenário (B) (kWh)	559	1.460	3.113
Quantidade de sistemas	9	24	2 x 28
Capacidade de armazenamento total (kWh)	684	1.824	2 x 1.876
Potência total em CA (nº de inversores x Pot em kW)	3 x 60	6 x 60	2 x 7 x 60

O cálculo preliminar da quantidade de módulos necessários para geração superior ao consumo anual resultou em 1.013 módulos de mc-Si e 976 módulos de CdTe. As edificações do 20º RCB foram modeladas tridimensionalmente de acordo com os projetos disponíveis. Conforme Tabela 5, foram modelados sistemas fotovoltaicos nas 10 melhores superfícies para integração de acordo com os níveis de irradiação solar incidente em comparação aos níveis das condições ideais (6.810 Wh/m²), excluindo-se as superfícies sombreadas parcial ou completamente e aquelas com áreas inferiores a 100 m².

Tabela 5. Sistemas fotovoltaicos modelados para o 20º RCB

Sistema	Azimute (°)	Inclinação (°)	Irradiação da superfície (Wh/m ²)	Área para integração (m ²)	Tecnologia módulos	Número de strings	Módulos por string	Qtde de módulos	Potência em CC (kW)	Área integrada (m ²)	Qtde de inversores	Pot. inversores (kW)	Potência em CA (kW)
Pavilhão Oficina (1)	0	15	6.788	270	mc-Si	10	8	80	32,4	177	2	15	30
					CdTe	28	3	84	36,6	208	2	15	30
Área de lazer	0	11	6.744	138	mc-Si	3	16	48	19,5	106	1	17,5	17,5
					CdTe	16	3	48	20,9	119	1	22,7	22,7
Pavilhão Oficina (2)	0	8	6.680	375	mc-Si	10	14	140	56,7	309	2	22,7	45,4
					CdTe	38	3	114	49,6	282	2	22,7	45,4
Pavilhão Comando	315	7	6.593	346	mc-Si	8	16	128	51,9	283	2	22,7	45,4
					CdTe	36	3	108	47,0	267	2	22,7	45,4
Pavilhão 3º Esq Fuz Bld	0	2	6.525	410	mc-Si	8	16	128	51,9	283	2	22,7	45,4
					CdTe	40	3	120	52,2	297	2	22,7	45,4
Pavilhão 4º Esq Fuz Bld	0	2	6.525	410	mc-Si	10	16	160	64,9	353	3	22,7	68,1
					CdTe	48	3	144	62,7	356	3	22,7	68,1
Pavilhão 1º Esq Car Cmb	0	2	6.525	360	mc-Si	8	15	120	48,6	265	2	22,7	45,4
					CdTe	35	3	105	45,7	260	2	22,7	45,4
Pavilhão 2º Esq Car Cmb	0	2	6.525	236	mc-Si	6	15	90	36,5	199	2	17,5	35,0
					CdTe	26	3	78	33,9	193	2	17,5	35,0
Pavilhão Esq CCAp	0	2	6.525	461	mc-Si	10	15	150	60,8	331	3	17,5	52,5
					CdTe	45	3	135	58,7	334	2	24	48,0
Pavilhão Rancho	0	2	6.525	536	mc-Si	3	16	48	19,5	106	1	17,5	17,5
					CdTe	16	3	48	20,9	119	1	22,7	22,7
Quartel	-	-	-	3.542	mc-Si	-	-	1.092	443	2.412	20	-	402
					CdTe	-	-	984	428	2.435	19	-	408

A planta de situação do 20º RCB com as superfícies das edificações que receberam a integração dos sistemas fotovoltaicos é apresentada na Figura 8. No total, foram integrados 1.092 módulos de mc-Si (2.412 m² e 433 kWcc) e 984 módulos de CdTe (2.435 m² e 428 kWcc), com detalhes de modelagem e de desempenho apresentados na .

Figura 8. Identificação das edificações e superfícies do 20º RCB

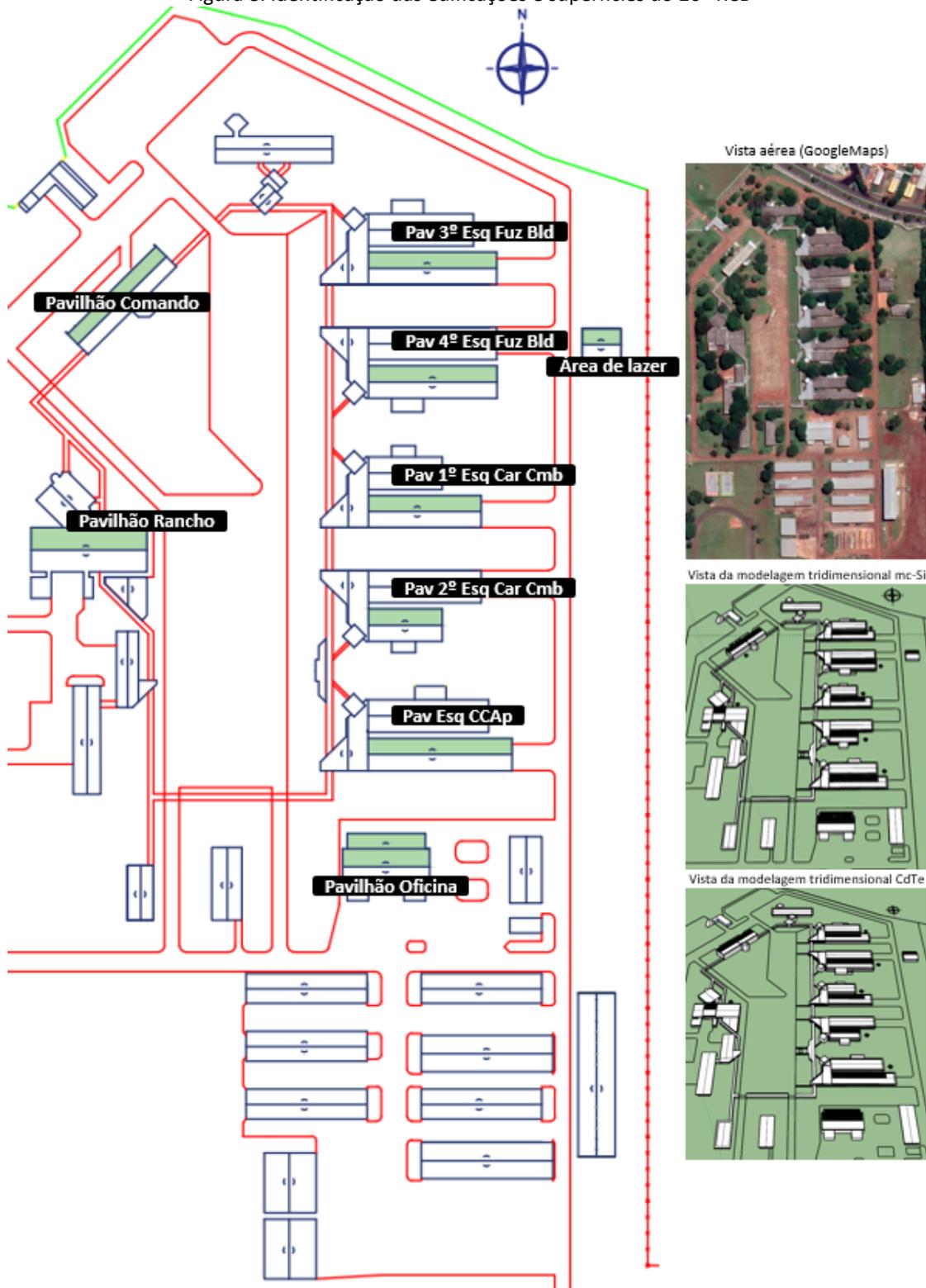


Tabela 6. Representação e produtividade dos sistemas fotovoltaicos para o 20º RCB (continua)

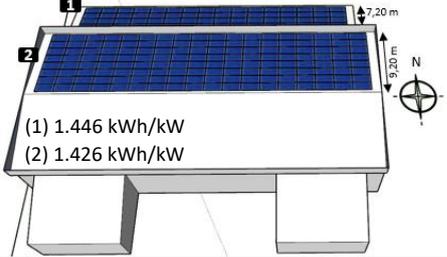
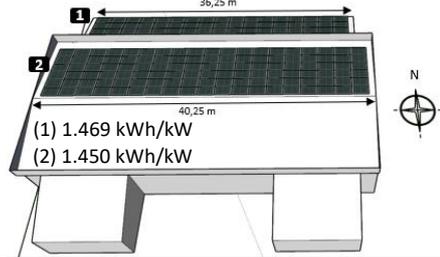
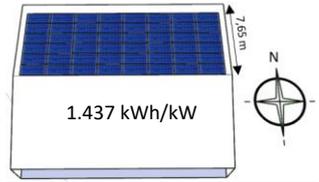
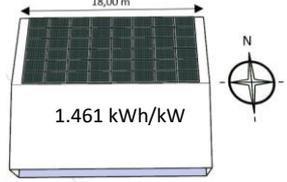
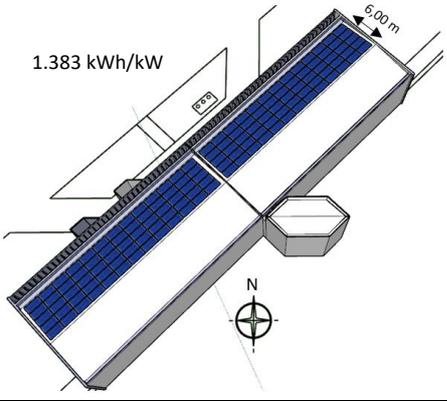
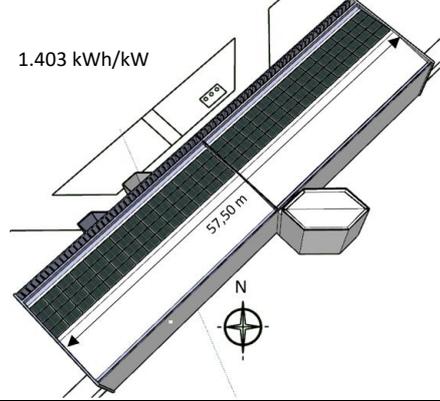
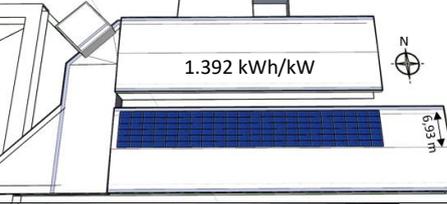
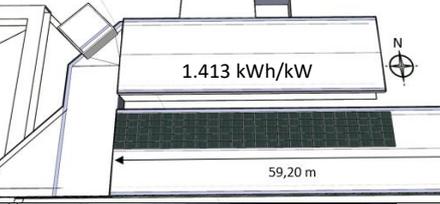
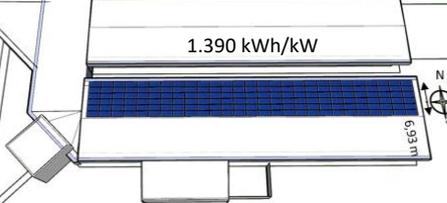
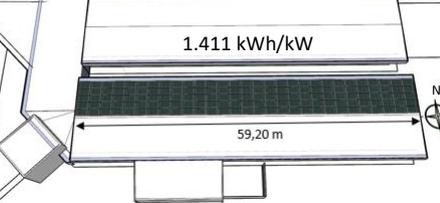
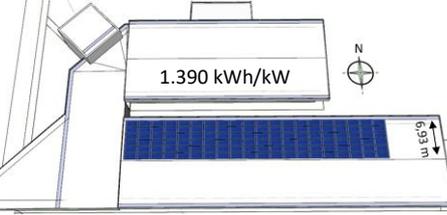
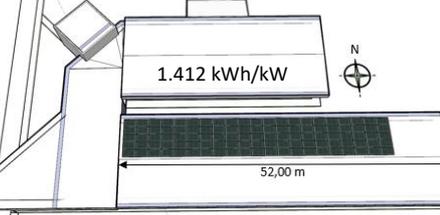
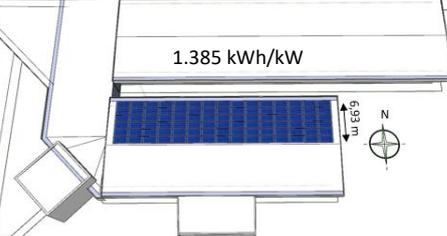
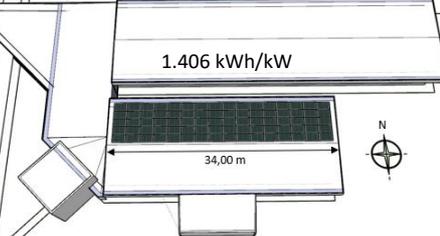
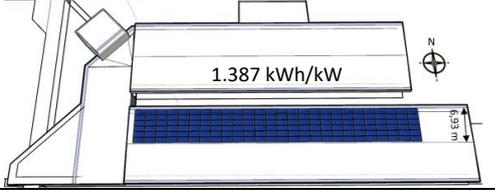
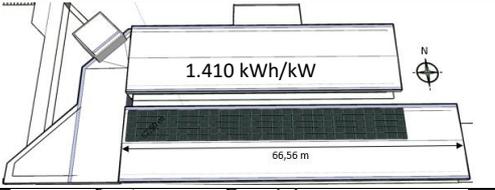
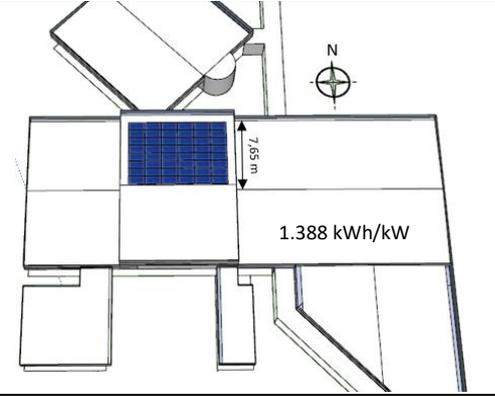
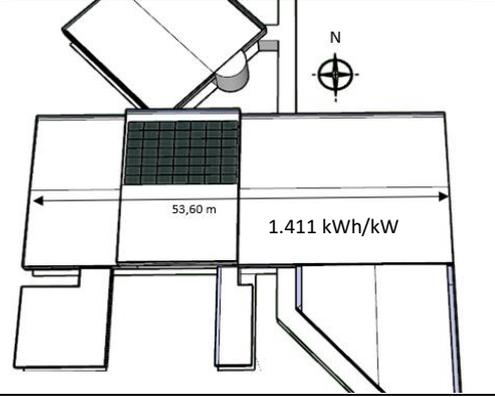
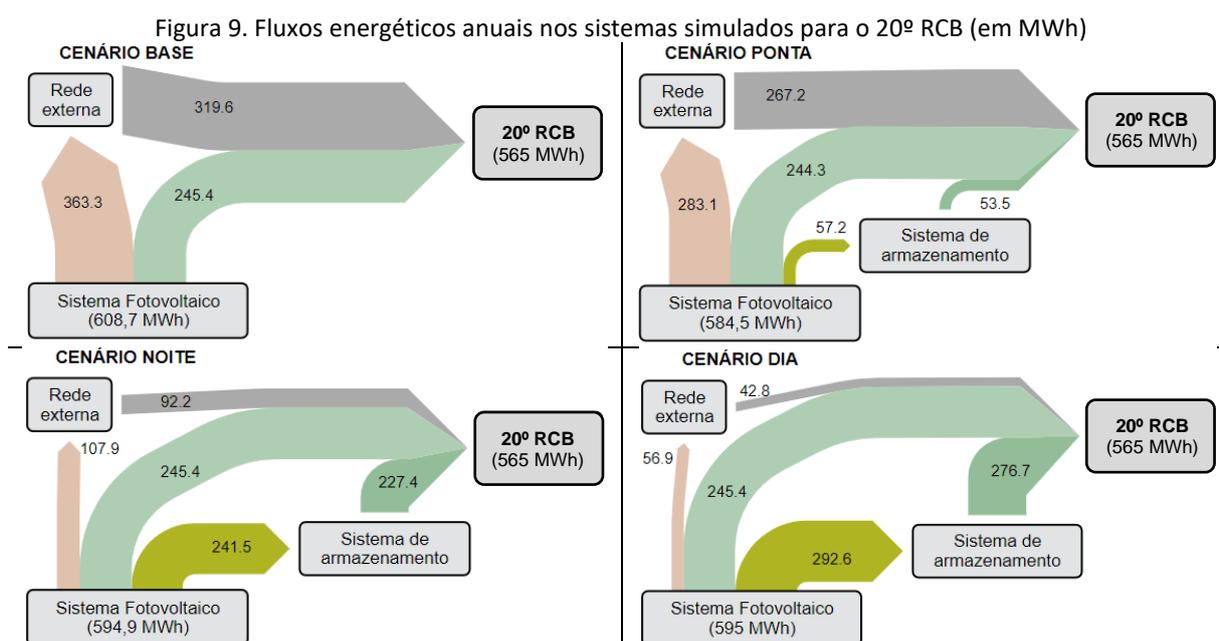
Tecnologia	mc-Si	CdTe
Pavilhão Oficina (1) e (2)	 <p>(1) 1.446 kWh/kW (2) 1.426 kWh/kW</p>	 <p>(1) 1.469 kWh/kW (2) 1.450 kWh/kW</p>
Área de lazer	 <p>1.437 kWh/kW</p>	 <p>1.461 kWh/kW</p>
Pavilhão Comando	 <p>1.383 kWh/kW</p>	 <p>1.403 kWh/kW</p>
Pavilhão 3º Esq Fuz Bld	 <p>1.392 kWh/kW</p>	 <p>1.413 kWh/kW</p>
Pavilhão 4º Esq Fuz Bld	 <p>1.390 kWh/kW</p>	 <p>1.411 kWh/kW</p>
Pavilhão 1º Esq Car Cmb	 <p>1.390 kWh/kW</p>	 <p>1.412 kWh/kW</p>
Pavilhão 2º Esq Car Cmb	 <p>1.385 kWh/kW</p>	 <p>1.406 kWh/kW</p>

Tabela 6 Representação e produtividade dos sistemas fotovoltaicos para o 20º RCB (fim)

<p>Pavilhão Esq CCAp</p>	 <p>1.387 kWh/kW</p>	 <p>1.410 kWh/kW 66,56 m</p>
<p>Pavilhão Rancho</p>	 <p>1.388 kWh/kW 7,65 m</p>	 <p>1.411 kWh/kW 53,60 m</p>

Os sistemas com módulos de CdTe apresentaram as maiores produtividades (*yields*) em relação aos sistemas com módulos de mc-Si. Os melhores desempenhos para as duas tecnologias de módulos utilizadas foram dos sistemas integrados na cobertura do Pavilhão Oficina, e os sistemas dos Esquadrões apresentaram desempenhos similares. Considerando a produtividade de todos os sistemas fotovoltaicos simulados para o 20º RCB ponderados de acordo com a potência de módulos instalada em cada um, resultou-se em *yield* de 1.399 kWh/kW para os sistemas com módulos de mc-Si e de 1.422 kWh/kW para os sistemas com módulos de CdTe. Portanto, módulos de Telureto de Cádmio são mais recomendados para o clima de Campo Grande que os Silício Policristalino.

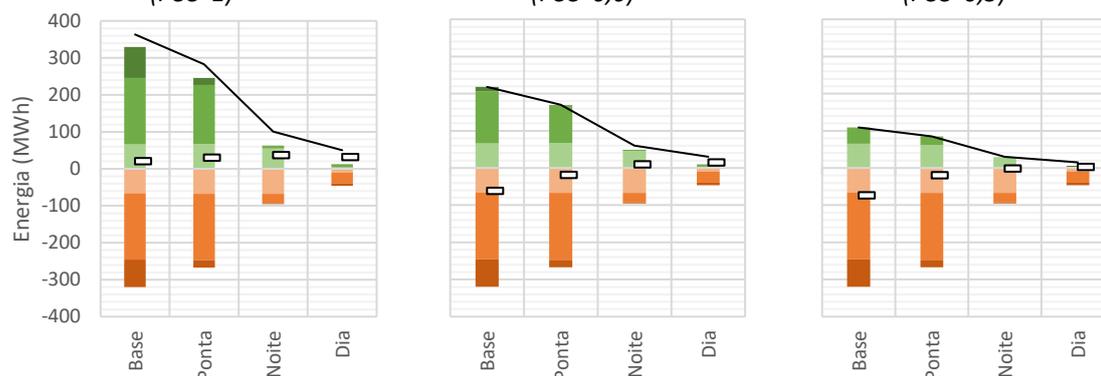
Considerando apenas os resultados dessa tecnologia mais recomendada, na Figura 9 são apresentados os fluxos energéticos anuais considerando todos os sistemas do 20º RCB nos quatro cenários considerados.



Quando não há sistemas de armazenamento (Cenário Base), a rede foi a principal fonte de energia para as cargas do quartel (319,6 MWh, o que foi 56% do consumo), enquanto os sistemas fotovoltaicos exportaram para a rede 363,3,4 MWh no ano. Com o acréscimo dos sistemas de armazenamento com acionamento no horário de ponta apenas, a rede continuou sendo a principal fonte de alimentação para as cargas (267,2 MWh, equivalendo a 47% do consumo). A energia exportada nesse cenário diminuiu para 283,1 MWh. Nos Cenários Base e Ponta, a maior parte da energia gerada nos sistemas fotovoltaicos foi exportada para a rede (65% no Base e 55% no Ponta). No Cenário Noite, os sistemas fotovoltaicos foram a principal fonte de alimentação das cargas do quartel, pois a energia importada reduziu para 92,2 MWh e houve a exportação de 107,9 MWh. No Cenário Dia, os sistemas de armazenamento foram a principal forma de alimentação das cargas (49%), a rede forneceu apenas 42,8 MWh para as cargas do quartel e houve a exportação de 56,9 MWh gerados nos sistemas fotovoltaicos.

Na Figura 10 são apresentadas as parcelas de energia importada anualmente de acordo com o período do dia e as compensações resultantes de acordo com o FCC. Observa-se que o FCC=1 resultou em balanços positivos para todos os cenários e o 20º RCB pôde ser classificado como Instalação Militar de Energia Zero. O maior balanço foi obtido no Cenário Noite (37 MWh) e o menor no Cenário Base (20 MWh).

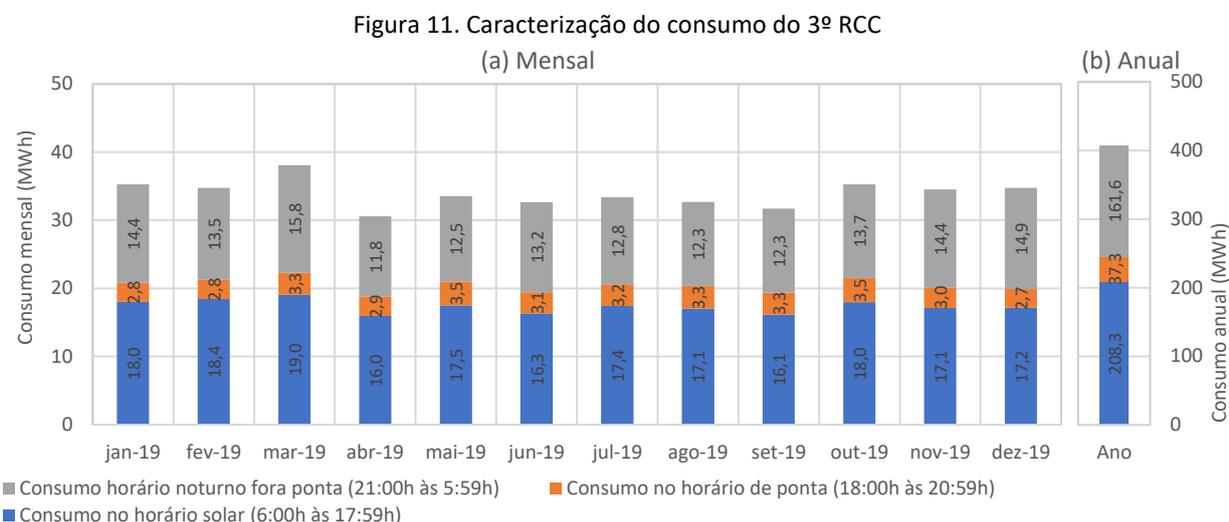
Figura 10. Balanços energéticos anuais com diferentes Fatores de Compensação de Créditos do 20º RCB
Atual sistema de compensação (FCC=1) *Perdas de 40% na compensação (FCC=0,6)* *Perdas de 70% na compensação (FCC=0,3)*



Quando não há perdas na parcela compensável da energia exportada, o balanço energético foi positivo mesmo sem o acoplamento dos sistemas de armazenamento. Isso não ocorreu quando o FCC foi reduzido para 0,6 ou 0,3. Com perdas de 40% na energia compensável, o balanço energético foi negativo nos Cenários Base e Ponta e tornou-se positivo apenas nos Cenários Noite e Dia, possibilitando a classificação do 20º RCB como Instalação Militar de Energia Zero. Quando há perdas de 70% na parcela compensável (FCC=0,3), o balanço foi negativo também no Cenário Noite. Com perdas acentuadas na parcela exportada compensável, apenas os sistemas com capacidade de armazenamento elevada e configuração de despacho ampliada (Cenário Dia) possibilitaram ao 20º RCB o balanço positivo: balanço de 3 MWh. Percebe-se, portanto, que os sistemas de armazenamento impactam fortemente os prossumidores quando são contabilizadas as interações de energia com a rede. Os sistemas do Cenário Dia reduziram grandemente as importações de energia para a rede e as exportações nessa condição permitiram compensação total no ano.

3.3 3º RCC

O 3º RCC localiza-se em Ponta Grossa, PR, cidade com níveis de irradiação anual de 5,42 kWh/m²/dia¹. Obteve-se, junto à COPEL, o consumo horário de eletricidade do 3º RCC no período de 08 DEZ 2018 a 07 DEZ 2019 (UC 85195537), conforme Figura 11.



O maior consumo no horário de ponta (das 18:00h às 20:59h) foi de 233 kWh, no horário noturno (das 18:00h às 5:59h) de 776 kWh e o maior consumo diário foi de 1.545 kWh. Dessa forma, os sistemas de armazenamento modelados para cada cenário constam na Figura 7. O consumo total nesse período foi de 407.238 kWh.

Tabela 7. Sistemas de armazenamentos do 3º RCC

Cenário	Ponta	Noite	Dia
Capacidade total requerida no cenário (kWh)	233	776	1.545
Quantidade de sistemas	4	12	28
Capacidade de armazenamento total (kWh)	304	1.072	2.128
Potência total em CA (nº de inversores x Pot em kW)	2 x 60	4 x 60	7 x 60

O cálculo preliminar da quantidade de módulos necessários para geração superior ao consumo anual resultou em 837 módulos de mc-Si e 807 módulos de CdTe. As edificações do 3º RCC foram modeladas tridimensionalmente de acordo com os projetos disponíveis (Figura 12). Nenhuma superfície foi excluída por sombreamento. As coberturas do Pavilhão Garagem Comando e Apoio e do Pavilhão Garagem 1º Esquadrão de Carros de Combate são idênticas, metálicas e curvas. Foram alocados módulos em 4 seções dessas coberturas, cada uma com 2 metros de largura. Os sistemas modelados para os Pavilhões Garagem de Viaturas Leste e Oeste também foram iguais. Foram utilizadas 6 edificações com um total de 12 sistemas fotovoltaicos modelados nas superfícies com menores perdas de irradiação em comparação às condições ideais. A modelagem dos sistemas é apresentada na Tabela 8 e a representação e os resultados de desempenho dos sistemas (*yield*) são apresentados na Tabela 9.

¹ Os dados climáticos para Ponta Grossa são indisponíveis. Por isso, utilizou-se os dados para Castro, PR, cidade mais próxima a Ponta Grossa com os dados disponíveis.

Figura 12. Identificação das edificações e superfícies do 3º RCC

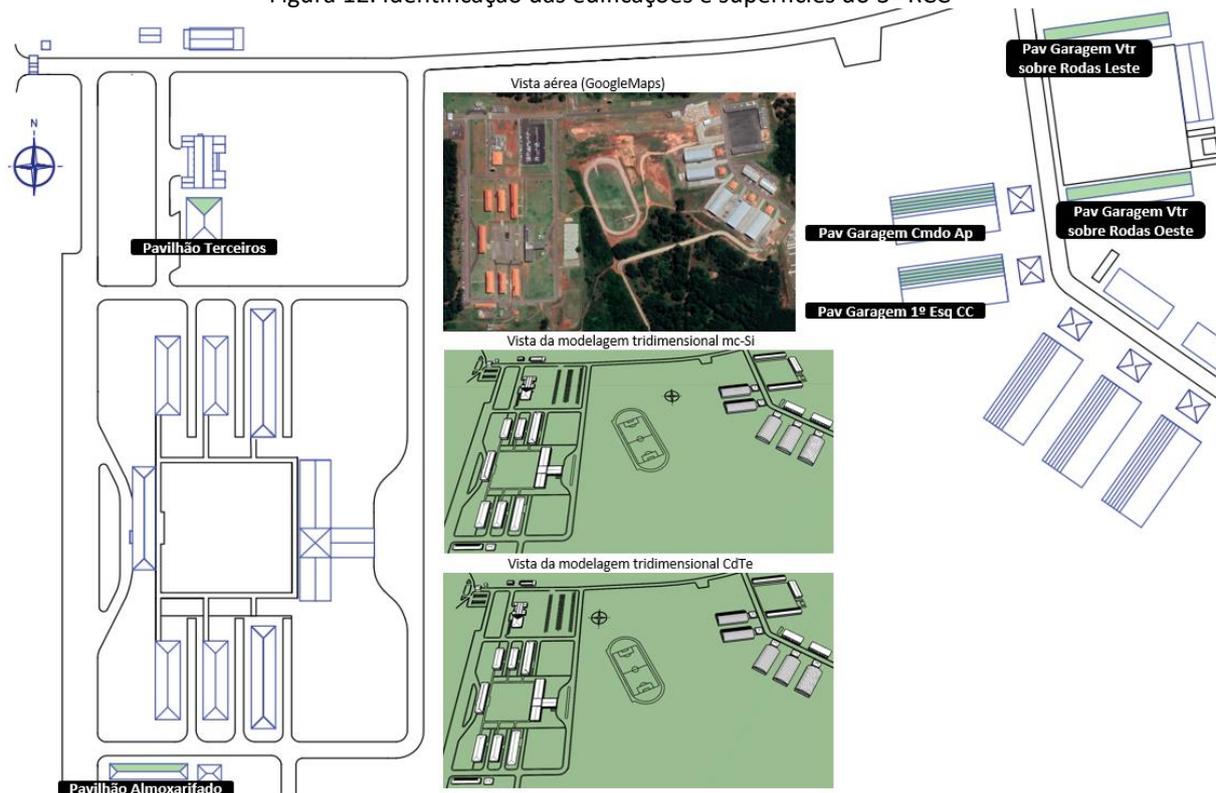
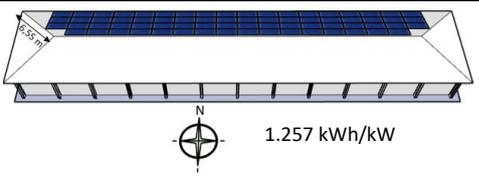
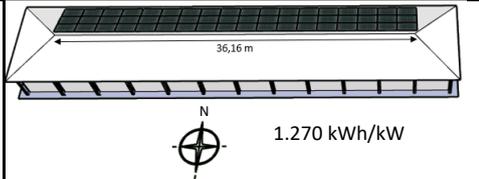
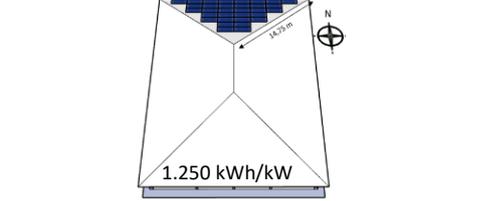
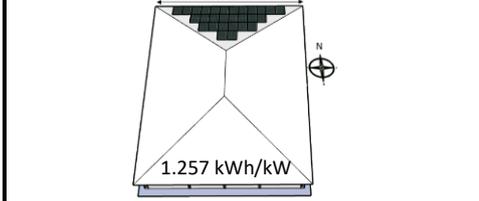
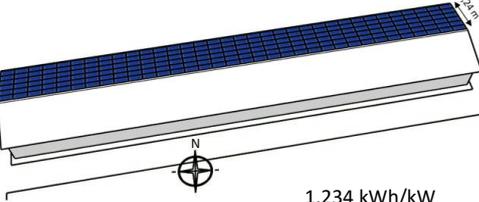
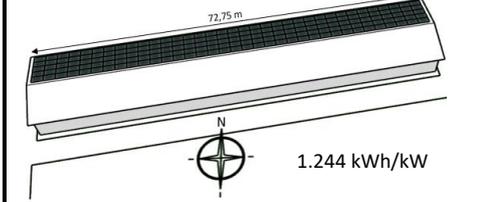
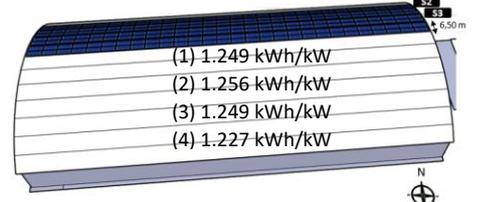
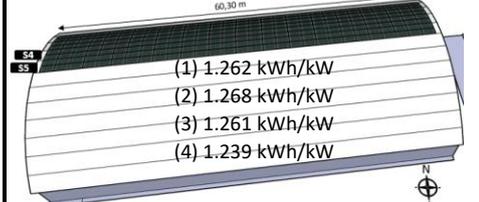


Tabela 8. Sistemas fotovoltaicos modelados no 3º RCC

Sistema	Azimute (°)	Inclinação (°)	Irradiação da superfície (Wh/m ²)	Área para integração (m ²)	Tecnologia módulos	Número de strings	Módulos por string	Qtde de módulos	Potência em CC (kW)	Área integrada (m ²)	Qtde de inversores	Pot. inversores (kW)	Potência em CA (kW)
Pavilhão Almojarifado	0	19	5.903	194	mc-Si	5	14	70	28,4	154,6	1	24	24
					CdTe	3	18	54	23,5	133,7	1	22,7	22,7
Pav Gar Cmdo Ap (2) Pav Gar 1º Esq CC (2)	352	24	5.896	152	mc-Si	4	14	56	22,7	123,7	1	22,7	22,7
					CdTe	3	19	57	24,8	141,1	1	22,7	22,7
Pav Gar Cmdo Ap (3) Pav Gar 1º Esq CC (3)	352	17	5.896	152	mc-Si	4	14	56	22,7	123,7	1	22,7	22,7
					CdTe	3	19	57	24,8	141,1	1	22,7	22,7
Pavilhão Terceiros	0	16	5.888	109	mc-Si	2	16	32	13,0	70,7	1	12,5	12,5
					CdTe	2	14	28	12,2	69,3	1	12	12
Pav Gar Vtr sobre Rodas Leste/Oeste	352	11	5.832	527	mc-Si	14	14	196	79,4	433,0	3	22,7	68,1
					CdTe	3	58	174	75,7	430,7	3	22,7	68,1
Pav Gar Cmdo Ap (5) Pav Gar 1º Esq CC (5)	352	10	5.824	152	mc-Si	4	14	56	22,7	123,7	1	22,7	22,7
					CdTe	3	19	57	24,8	141,1	1	22,7	22,7
Pav Gar Cmdo Ap (1) Pav Gar 1º Esq CC (1)	352	30	5.823	152	mc-Si	4	14	56	22,7	123,7	1	22,7	22,7
					CdTe	3	19	57	24,8	141,1	1	22,7	22,7
Quartel	-	-	-	2.573	mc-Si	-	-	942	382	2.081	16	-	355
					CdTe	-	-	886	386	2.193	16	-	353

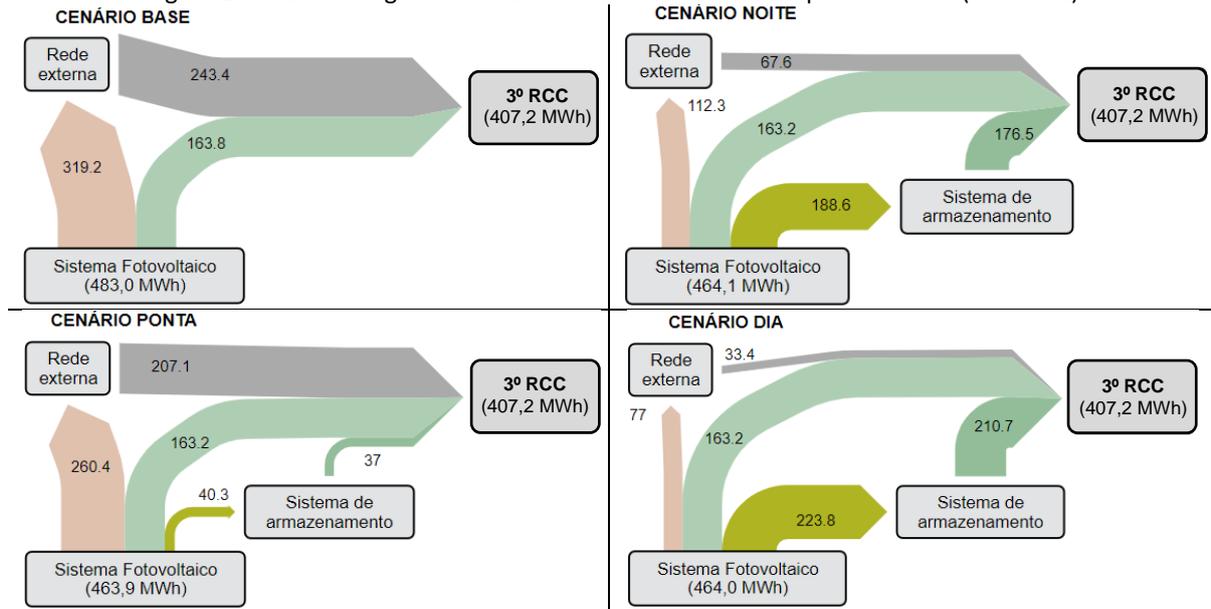
Tabela 9. Representação e produtividade dos sistemas fotovoltaicos modelados para o 3º RCC

Tecnologia	mc-Si	CdTe
Pavilhão Almoarifado		
Pavilhão Terceiros		
Pav Garagem Vtr sobre Rodas Leste/Oeste		
Pav Garagem Cmdo Ap (1-4) Pav Garagem 1º Esq CC (1-4)		

No total, foram integrados 942 módulos de mc-Si (2.081 m² e 382 kWcc) e 886 módulos de CdTe (2.193 m² e 386 kWcc). O *yield* considerando todos os sistemas simulados para o 3º RCC foi de 1.242 kWh/kW com módulos de mc-Si e de 1.253 kWh/kW com módulos de CdTe. Identificou-se que a diferença de desempenho entre os sistemas é pequena, com pouca vantagem dos módulos de Telureto de Cádmiio. Para as condições climáticas em que o 3º RCC se localiza, as duas tecnologias apresentam desempenho tecnicamente similar e, por isso, a escolha do melhor módulo deve considerar outros parâmetros (econômicos e/ou disponibilidade no mercado, por exemplo).

Os diagramas de Sankey com os fluxos anuais de energia entre a rede, o sistema fotovoltaico com módulos de CdTe, o sistema de armazenamento e as cargas do 3º RCC são apresentados na Figura 13. Dos 407 MWh consumidos pelo quartel no ano, aproximadamente 243,4 MWh (60%) são atendidos por importação de energia da rede da COPEL quando não há sistema de armazenamento (Cenário Base) e 319,2 MWh são exportados dos sistemas fotovoltaicos para rede nesse cenário. Quando os sistemas de armazenamento com despacho apenas no horário de ponta foram acoplados (Cenário Ponta), a energia importada da rede para atender a carga reduziu para 207,1 MWh e a energia exportada foi de 260,4 MWh (mais de 56% da energia gerada nos sistemas fotovoltaicos ainda foi exportada). As maiores reduções nas importações e exportações de energia ocorrem nos Cenários Noite e Dia. A quantidade de energia importada no Cenário Noite foi de 67,6 MWh e no Cenário Dia foi de 33,4 MWh. A energia exportada no Cenário Noite foi equivalente a 24% da energia gerada total (112,3 MWh) e, no Cenário Dia, o percentual da energia exportada sobre a total foi de apenas 16% (77 MWh).

Figura 13. Fluxos energéticos anuais nos sistemas simulados para o 3º RCC (em MWh)



Na Figura 14 são apresentados os balanços energéticos anuais dos sistemas simulados para o 3º RCC. Considerando as condições atuais de compensação de energia adotadas pela ANEEL, todos os sistemas renováveis simulados resultaram em balanço energético positivo (apenas com sistemas fotovoltaicos e com sistemas de armazenamento acoplados aos sistemas fotovoltaicos). Ou seja, toda a energia importada da rede da COPEL para atender as cargas ao longo do ano foi compensada. Houve um excedente de 55 MWh no Cenário Noite, de 52 MWh nos Cenários Ponta e no Dia e de 49 MWh no Cenário Base.

Figura 14. Balanços energéticos anuais com diferentes Fatores de Compensação de Créditos no 3º RCC
 Atual sistema de compensação (FCC=1) Perdas de 40% na compensação (FCC=0,6) Perdas de 70% na compensação (FCC=0,3)



Quando FCC=0,6, os balanços energéticos foram negativos sem sistemas de armazenamento (Cenário Base, -37 MWh) e quando os sistemas foram configurados para despacho apenas no horário de ponta (Cenário Ponta, -12 MWh). O balanço tornou-se positivo nos Cenários Noite (19 MWh) e Dia (25 MWh). O mesmo ocorreu quando FCC=0,3, sendo diferentes apenas os valores de déficits ou excedentes: -54 MWh (Base), -16 MWh (Ponta), 1 MWh (Noite) e 9 MWh (Dia). Dessa forma, se a ANEEL reduzir o percentual da parcela de energia exportada que pode ser utilizada para compensação, sistemas de armazenamento com despacho no período noturno ou em todo o dia são um opção para que haja compensação total da energia importada da rede da COPEL para atender as cargas do 3º RCC.

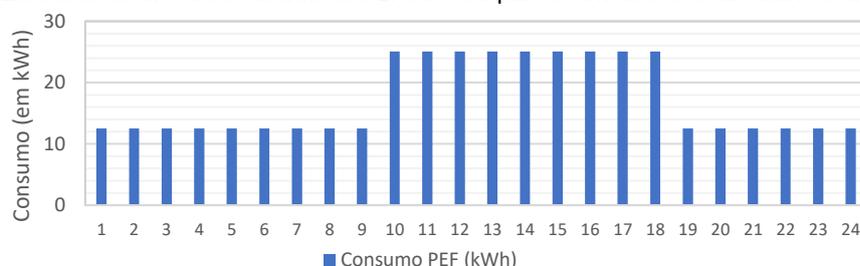
4. Resultados dos quartéis isolados

4.1 PEF São Joaquim

O PEF de São Joaquim está localizado dentro de uma reserva indígena na Floresta Amazônica, no extremo noroeste do Brasil, distando cerca de 3 quilômetros da fronteira Brasil-Colômbia e cerca de 325 km de São Gabriel da Cachoeira. A única forma de acesso ao PEF é por avião (Força Aérea Brasileira ou voos fretados). Também há acesso fluvial pelos rios Negro e Içana, mas algumas cachoeiras precisam ser transpostas o que torna o acesso muito perigoso e demorado, especialmente na época da seca do rio. Junto do PEF, há uma comunidade de indígenas Kuripaco. Na década de 1990, foi construída uma Pequena Central Hidrelétrica, mas atualmente está inoperante e o PEF tem seu abastecimento elétrico por meio de 2 geradores a diesel (1x 100 kVA + 1x 65 kVA) que operam alternadamente totalizando 9 horas/dia.

Com o acionamento dos geradores por 9 horas ao dia, o consumo de diesel diário é de aproximadamente 80 litros. Isso representa 8,89 litros consumidos por hora operante, que convertendo para quilowatt-hora, equivale a aproximadamente 25,04 kWh. Considerou-se consumo de metade desse total nas horas em que atualmente os geradores não são acionados devido às limitações do abastecimento de diesel. Dessa forma, diariamente, o PEF São Joaquim consome o equivalente a 413 kWh, o que totaliza por mês aproximadamente 12.000 kWh e no ano um total de 150.828 kWh. O perfil horário do consumo do PEF em quilowatt-hora é apresentado na Figura 15.

Figura 15. Perfil horário de consumo do PEF São Joaquim e consumos totais diário e anual



Para a modelagem dos sistemas de armazenamento, utilizou-se o consumo de 3 dias do quartel, ou seja, 1.239 kWh, como referência da capacidade total dos bancos de baterias utilizados. Dessa forma, foram projetados 20 sistemas da TESVOLT com capacidade de armazenamento total de 1.520 kWh e 5 inversores de 60 kWca.

As edificações do PEF com maiores áreas de cobertura possuem azimutes a Norte e Sul. Devido à inclinação de 20° e à baixa latitude, os níveis de irradiação de todas as superfícies de cobertura foram bem próximos (maiores para as superfícies a Leste, com 6.092 kWh/m² e menores para Oeste, com 5.976 kWh/m²). Foram integrados sistemas fotovoltaicos em 5 superfícies para o Norte, conforme apresentado na Figura 16. Os sistemas integrados totalizaram 340 módulos de mc-Si (751 m² e 137,8 kWcc) e de 339 de CdTe (837 m² e 147,5 kWcc), com detalhes de modelagem na Tabela 10 e com representações e desempenho apresentados na Tabela 11.

Figura 16. Identificação das edificações e superfícies do PEF São Joaquim

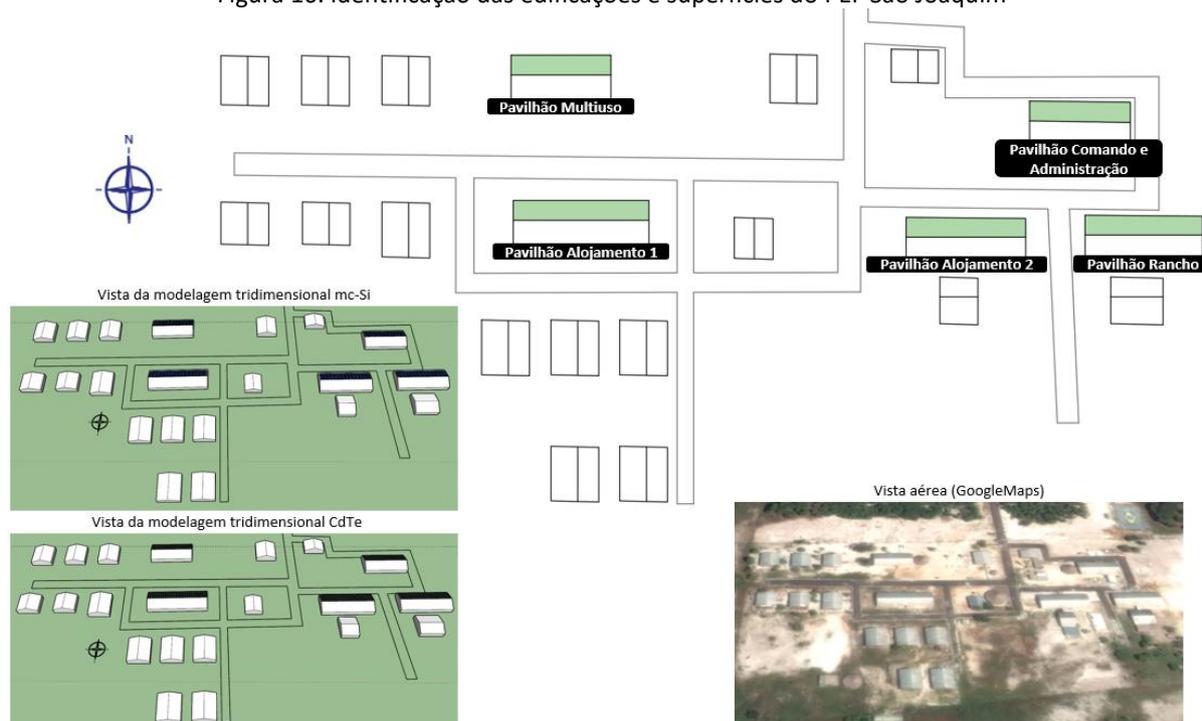


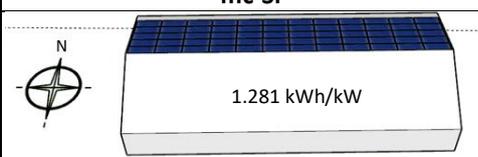
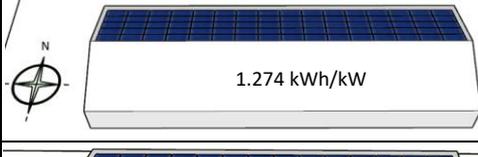
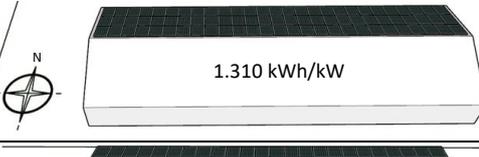
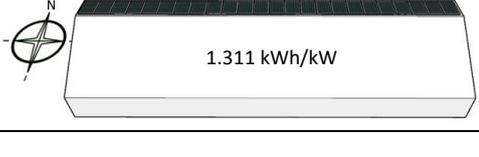
Tabela 10. Sistemas fotovoltaicos simulados no PEF São Joaquim

Sistema	Azimuth (°)	Inclinação (°)	Irradiação da superfície (Wh/m ²)	Área para integração (m ²)	Tecnologia módulos	Número de strings	Módulos por string	Qtde de módulos	Potência em CC (kW)	Área integrada (m ²)	Qtde de inversores	Pot. inversores (kW)	Potência em CA (kW)
Pav Alojamento 2 / Pav Comando e Administração	359	20	6.089	169	mc-Si	4	15	60	24,3	133	1	22,7	22,7
					CdTe	20	3	60	26,1	148	1	22,7	22,7
Pav Rancho / Pav Multiuso	359	20	6.089	199	mc-Si	5	14	70	28,4	155	1	22,7	22,7
					CdTe	23	3	69	30,0	171	1	22,7	22,7
Pavilhão Alojamento 1	359	20	6.089	228	mc-Si	5	16	80	32,4	177	2	15	30
					CdTe	27	3	81	35,2	201	2	15	30
Quartel	-	-	-	964	mc-Si	-	-	340	137,8	751	4	-	120,8
					CdTe	-	-	339	147,5	839	4	-	120,8

Tabela 11. Representação e produtividade dos sistemas fotovoltaicos do PEF São Joaquim (continua)

Tecnologia	mc-Si	CdTe
Pav Comando e Administração		
Pav Rancho		

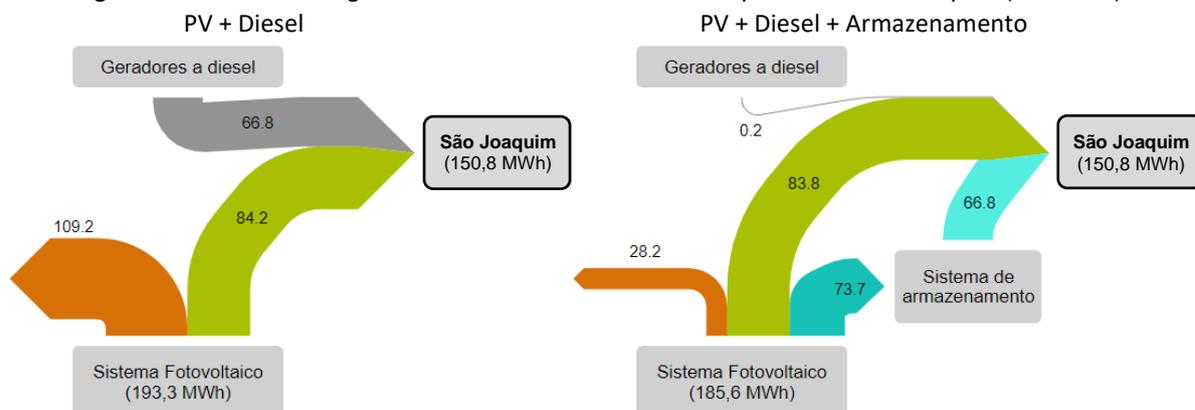
Tabela 1112. Representação e produtividade dos sistemas fotovoltaicos do PEF São Joaquim (fim)

Tecnologia	mc-Si	CdTe
Pav Multiuso	 1.281 kWh/kW	 1.311 kWh/kW
Pavilhão Alojamento 1	 1.274 kWh/kW	 1.310 kWh/kW
Pavilhão Alojamento 2	 1.268 kWh/kW	 1.311 kWh/kW

Como as condições de instalação dos sistemas são iguais, variando apenas o número de módulos e inversores, as produtividades de todos os sistemas foram similares. O *yield* considerando todos os sistemas simulados para o PEF São Joaquim foi de 1.274 kWh/kW com módulos de mc-Si e de 1.311 kWh/kW com módulos de CdTe. Os módulos de CdTe mostraram-se a tecnologia mais apropriada para sistemas fotovoltaicos no clima de São Gabriel da Cachoeira.

Na Figura 17 são apresentados os diagramas de Sankey dos sistemas híbridos simulados no PEF São Joaquim. A energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos que foi consumida localmente não se alterou com o acoplamento dos sistemas de armazenamento. Sempre o sistema fotovoltaico foi a principal fonte de alimentação elétrica das cargas (56%). Isso ocorre devido à maior coincidência dos perfis de geração e consumo (os níveis de irradiação de São Gabriel da Cachoeira variam pouco ao longo do ano). Quando não há sistemas de armazenamento, mais de 60% da energia gerada nos sistemas fotovoltaicos foi desperdiçada (como não há rede para injeção, a energia foi perdida): 109,2 MWh. Com o acoplamento dos sistemas de armazenamento, o desperdício de energia reduziu para 28,2 MWh. A energia outrora desperdiçada foi utilizada para carregar os sistemas de armazenamento, que substituíram os geradores a diesel no fornecimento de energia à carga. Enquanto aproximadamente 67 MWh foram fornecidos dos geradores à carga sem armazenamento, com os sistemas acoplados essa quantidade foi próxima de zero.

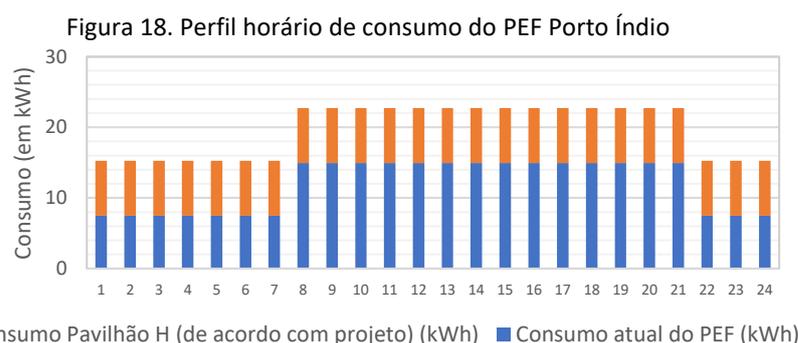
Figura 17. Fluxos de energia nos sistemas híbridos simulados para o PEF São Joaquim (em MWh)



4.2 PEF Porto Índio

O PEF Porto Índio está localizado no Pantanal, às margens do Rio Paraguai, que funciona como fronteira natural entre Brasil e Bolívia. Corumbá está a mais de 285 km e não há estradas para acesso terrestre. Por isso, o acesso ao PEF se dá por balsas ou barcos pelo rio Paraguai ou por avião. Devido à sua localização, não há conexão com a rede elétrica. O fornecimento de energia elétrica é feito por meio de 2 geradores a diesel (1x 100 kVA + 1x 65 kVA) que operam alternadamente totalizando 14 horas/dia. Há a previsão de construção do Pavilhão H, que deverá concentrar grande parte da atividade militar.

Com o acionamento dos geradores por 14 horas ao dia, o consumo de diesel diário é de aproximadamente 80 litros. Isso representa 5,71 litros consumidos por hora operante, que convertendo para quilowatt-hora, equivale a aproximadamente 14,97 kWh. Considerou-se consumo de metade desse total nas horas em que atualmente os geradores não são acionados devido às limitações do abastecimento de diesel. Considerou-se também um consumo extra de 7,76 kW por hora referente ao Pavilhão H a ser construído. Dessa forma, diariamente, o PEF São Joaquim consome o equivalente a 470 kWh, o que totaliza por mês aproximadamente 14.000 kWh e no ano um total de 171.774 kWh. O perfil horário do consumo do PEF em quilowatt-hora é apresentado na Figura 18.



Para a modelagem dos sistemas de armazenamento, utilizou-se o consumo de 3 dias do quartel, ou seja, 1.410 kWh, como referência da capacidade total dos bancos de baterias utilizados. Dessa forma, foram projetados 24 sistemas da TESVOLT com capacidade de armazenamento total de 1.608 kWh e 6 inversores de 60 kWca.

A maior parte das edificações desse quartel possuem áreas de cobertura menores que 100 m² e foram excluídas. As maiores coberturas são as do Pavilhão H que será construído, que foi modelado conforme projeto arquitetônico da CRO/9 e suas superfícies com maiores áreas disponíveis para integração estão a Leste e Oeste. A posição escolhida para a alocação do Pavilhão H no Plano Diretor do PEF não resultou em áreas de cobertura com ângulos azimutais pequenos (próximos ao zero). Se o Pavilhão fosse projetado com rotação de 90° em relação à posição apresentada, a produtividade dos sistemas seria muito maior. Sugere-se que a alocação de novas edificações no terreno atente para a maximização de área de cobertura com ângulos azimutais em relação ao Norte pequenos (até 45°).

Foram integrados sistemas fotovoltaicos em 5 superfícies, 4 no Pavilhão H e 1 no Pavilhão de Ensino, com o total de 384 módulos de mc-Si (848 m² e 155,6 kWcc) e 396 de CdTe (978 m² e 172,3 kWcc).

Figura 19. Identificação das edificações e superfícies do PEF Porto Índio

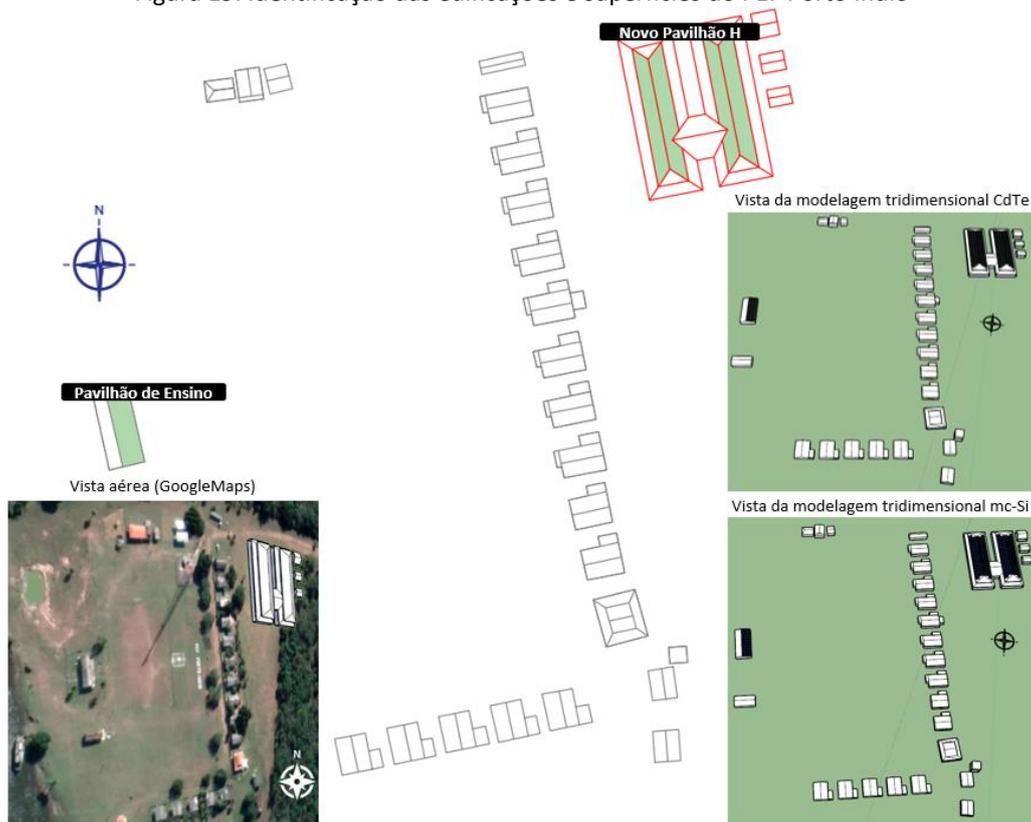


Tabela 13. Sistemas fotovoltaicos simulados no PEF Porto Índio

Sistema	Azimute (°)	Inclinação (°)	Irradiação da superfície (Wh/m ²)	Área para integração (m ²)	Tecnologia módulos	Número de strings	Módulos por string	Qtde de módulos	Potência em CC (kW)	Área integrada (m ²)	Qtde de inversores	Pot. inversores (kW)	Potência em CA (kW)
Pavilhão de Ensino	76	9	6.814	136	mc-Si	4	12	48	19,5	106	1	17,5	17,5
					CdTe	16	3	48	20,9	119	1	17,5	17,5
Pavilhão H (1) e (3)	79	20	6.413	395	mc-Si	6	14	84	34,0	186	2	17,5	35
					CdTe	29	3	87	37,9	215	2	17,5	35
Pavilhão H (2) e (4)	259	20	6.660	365	mc-Si	6	14	84	34,0	186	2	17,5	35
					CdTe	29	3	87	37,9	215	2	17,5	35
Quartel	-	-	-	1.536	mc-Si	-	-	384	155,6	848	5	-	157,5
					CdTe	-	-	396	172,3	980	5	-	157,5

Tabela 14. Representação e produtividade dos sistemas fotovoltaicos do PEF Porto Índio (continua)

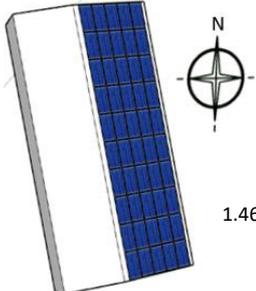
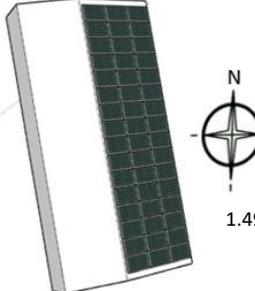
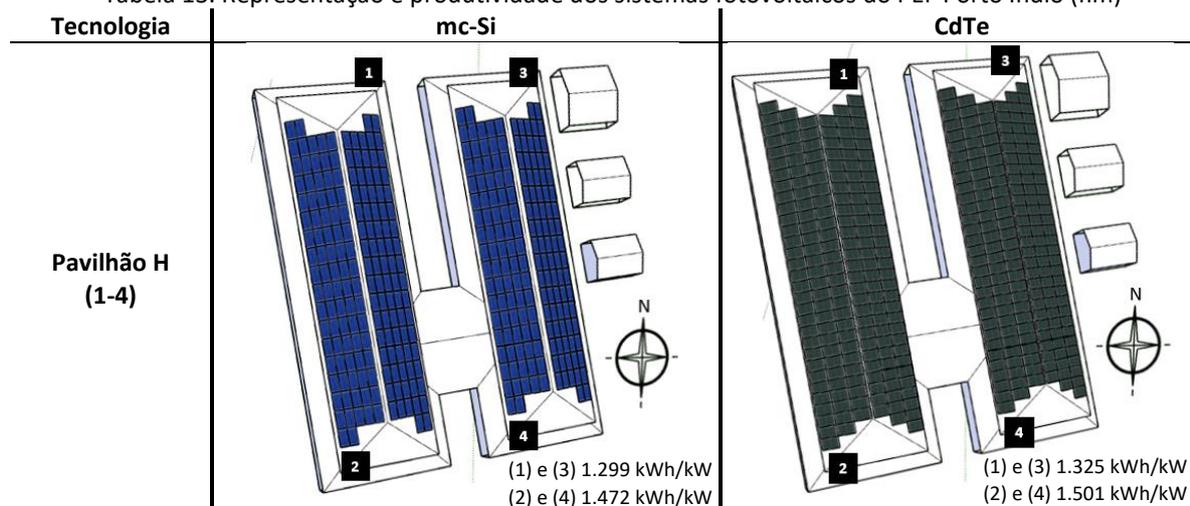
Tecnologia	mc-Si	CdTe
Pavilhão de Ensino	 <p>1.466 kWh/kW</p>	 <p>1.498 kWh/kW</p>

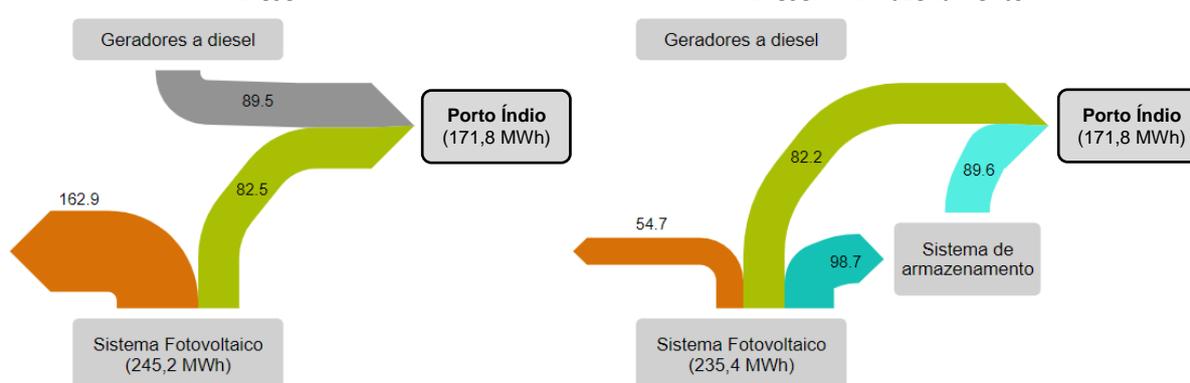
Tabela 13. Representação e produtividade dos sistemas fotovoltaicos do PEF Porto Índio (fim)



O *yield* considerando todos os sistemas simulados para o PEF Porto Índio foi de 1.396 kWh/kW com módulos de mc-Si e de 1.423 kWh/kW com módulos de CdTe. Apesar da pequena diferença entre os desempenhos, recomenda-se a utilização de sistemas fotovoltaicos com módulos de CdTe no PEF Porto Índio.

Na Figura 20 são apresentados os diagramas de Sankey dos sistemas híbridos simulados para esse PEF (módulos de CdTe). Os geradores a diesel foram a principal fonte de energia às cargas quando há apenas sistemas fotovoltaicos: 89,5 MWh, equivalente a 52% do consumo. O perfil de irradiação solar de Corumbá é mais sazonal, resultando em maior incompatibilidade entre os perfis de geração e consumo (menos energia gerada foi consumida diretamente pelas cargas). Nessas situações, 66% da energia gerada nos sistemas fotovoltaicos foi desperdiçada. Ao acoplar os sistemas de armazenamento, estes passaram a ser a principal fonte de energia das cargas dos quartéis (52% do consumo, 89,6 MWh/ano). Não houve despacho de energia dos geradores a diesel para a carga. O acoplamento dos sistemas de armazenamento evitou o desperdício de mais de 100 MWh no ano: de 162,9 MWh para 54,7 MWh (de 66% para 23% do total de geração).

Figura 20. Fluxos de energia dos sistemas híbridos simulados para o PEF Porto Índio (em MWh)



5. Considerações finais

O uso de sistemas renováveis de energia, especialmente de sistemas fotovoltaicos, tem crescido muito no Brasil, inclusive no órgãos públicos. Para a atividade militar, muito além da redução do consumo de energia e do gasto público com as distribuidoras de energia, os sistemas renováveis são uma opção excelente para aumentar a autonomia energética dos quartéis. A busca por essa autonomia é uma tendência no mundo militar mundial e é interessante que o Exército Brasileiro acompanhe essa tendência.

O Brasil possui excelentes níveis de irradiação solar para geração fotovoltaica, e essa tecnologia é a mais explorada para a geração distribuída no país. Entretanto, devido à intermitência da geração fotovoltaica, os fluxos de energia entre os quartéis e a rede da distribuidora continuam elevados mesmo com sistemas fotovoltaicos que geram anualmente energia superior ao consumo. Por isso, é interessante o acoplamento de sistemas de armazenamento (bancos de baterias) a fim de reduzir a exportação de energia para a rede e a importação de energia da rede em quartéis conectados à rede. Em quartéis isolados, o uso dos sistemas de armazenamento propicia redução do desperdício de energia e diminui drasticamente o acionamento dos geradores a diesel, que dependem desse combustível fóssil poluente e de difícil logística.

Os resultados dessa pesquisa dão conta de que os sistemas fotovoltaicos com módulos de Telureto de Cádmio são os mais recomendados para os cinco quartéis analisados. Observou-se também que os quartéis possuem áreas de cobertura bem superiores à necessária para a integração de sistemas fotovoltaicos capazes de gerar mais energia que o consumo anualmente. Pontua-se também a importância de a integração dos sistemas fotovoltaicos ser feita em superfícies de cobertura orientadas para o Norte, o que sugere uma atenção especial para que projetos de edificações novas considerem a maximização de áreas de cobertura com essa orientação.

Os sistemas de armazenamento simulados nos quartéis conectados à rede diminuíram consideravelmente os fluxos de energia de e para a rede, mas mostraram-se especialmente importantes se a ANEEL alterar as regras para compensação de energia. Em cenários com redução da parcela compensável de energia, apenas quando sistemas de armazenamento com altas capacidades de armazenamento e despacho no período noturno ou em todo o dia permitiram compensação completa da quantidade de energia importada anualmente.

Nos Pelotões Especiais de Fronteira, quartéis que tem atualmente fornecimento precário de eletricidade, a utilização dos sistemas de armazenamento junto aos sistemas fotovoltaicos e aos geradores a diesel (que agem como *backup*), resultaram em maior autonomia energética. O desperdício da geração fotovoltaica foi reduzido e os geradores a diesel forneceram pequena quantidade de energia aos quartéis anualmente. Dessa forma, o conforto dos militares nesses quartéis aumenta, a prontidão da tropa é elevada e os problemas relacionados à logística para a provisão do diesel é grandemente reduzida.

Referências

Este Relatório apresentou um resumo dos principais resultados da Pesquisa:

SILVA NETO, L. P. (2021). Instalações Militares de Energia Zero: avaliação técnica para quartéis do Exército Brasileiro com sistemas fotovoltaicos e sistemas de armazenamento de energia. Campo Grande, 2021. 343 p. Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Para mais detalhes do método utilizado e dos resultados apresentados, a pesquisa encontra-se disponível em: <https://ppgees.ufms.br/publicacoes/repositorio-ppgees/trabalhos-de-conclusao-de-curso/>

REFERÊNCIAS DAS CITAÇÕES CONTIDAS NESSE RELATÓRIO:

ANEEL. *Entenda melhor o que a ANEEL está propondo para o futuro da GD*. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/entenda-melhor-o-que-a-aneel-esta-propondo-para-o-futuro-da-gd/656877?inheritRedirect=false&redirect=https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2%253Fp_p_id%25>. Acesso em: 12 mar. 2020a.

ANEEL. *Geração Distribuída*. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoizjM4NjM0OWYtN2lwZS00YjViLTlIMjItN2E5MzBkN2ZlMzVklwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSlslmMiOjR9>>. Acesso em: 27 may 2021.

ANEEL. *Resolução Normativa Nº 482*. . Brasil: ANEEL. , 2012

ANEEL. *Revisão das regras de geração distribuída entra em consulta pública*. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/revisao-das-regras-de-geracao-distribuida-entra-em-consulta-publica/656877>. Acesso em: 12 mar. 2020b.

BRASIL. *Ministério da Defesa. Livro Verde da Defesa - Defesa & Meio ambiente - Preparo com sustentabilidade*. 1ª edição ed. Brasília: Ministério da Defesa, 2017. Disponível em: <https://www.defesa.gov.br/arquivos/estado_e_defesa/defesa_e_meio_ambiente/li_vro_defesa_e_meio_ambiente.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2019.

DESCHAMPS, Eduardo Martins; RÜTHER, Ricardo. Optimization of inverter loading ratio for grid connected photovoltaic systems. *Solar Energy*, v. 179, n. December 2018, p. 106–118, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.12.051>>.

DWI ATMAJA, Tinton et al. Fuel Saving on Diesel Genset using PV/Battery Spike Cutting in Remote Area Microgrid. *MATEC Web of Conferences*, v. 164, p. 1–9, 2018.

EEAS. *European Union Military Concept on Environmental Protection and Energy Efficiency for EUled military operatio*. . Bruxelas: [s.n.], 2012. Disponível em: <https://register.consilium.europa.eu/doc/srv?l=EN&f=ST_13758_2012_INIT>. Acesso

em: 22 jul. 2019.

- EPE. *Relatório Síntese Balanço Energético Nacional Relatório Síntese - Empresa de Pesquisa Energética - Balanço nacional de energia. Balanço Energético Nacional*. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/Relatório Síntese BEN 2021-ab 2020_v2.pdf>.
- GASPARIN, Fabiano Perin; KRENZINGER, Arno. Desempenho De Um Sistema Fotovoltaico Em Dez Cidades Brasileiras Com Diferentes Orientações Do Painel. *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 8, n. 1, p. 10–17, 2017. Disponível em: <<https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/169/160>>.
- GREEN, Jemma; NEWMAN, Peter. Citizen utilities: The emerging power paradigm. *Energy Policy*, v. 105, n. February, p. 283–293, 2017.
- HARTRANFT, Thomas. Energy security and independence for military installations: candidate mission-focused vision and policy measures. 2007, [S.l.: s.n.], 2007. p. 1–8.
- IDEAL. *Acesse a apresentação do IDEAL e FOTOVOLTAICA na audiência pública sobre geração distribuída na Câmara dos Deputados*. Disponível em: <<https://institutoideal.org/acesse-a-apresentacao-feita-pelo-ideal-e-fotovoltaica-ufsc-na-audiencia-publica-sobre-geracao-distribuida-na-camara-dos-deputados/>>. Acesso em: 12 mar. 2020.
- IQBAL, Amjad; IQBAL, M. Tariq. Design and Analysis of a Stand-Alone PV System for a Rural House in Pakistan. *International Journal of Photoenergy*, v. 2019, p. 1–8, 2019.
- KALINCI, Yildiz; HEPBASLI, Arif; DINCER, Ibrahim. Techno-economic analysis of a stand-alone hybrid renewable energy system with hydrogen production and storage options. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 40, n. 24, p. 7652–7664, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.10.147>>.
- LABSOL. *Radiasol*. . Porto Alegre: UFRGS. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>. , 2020
- MITRA, Joydeep; VALLEM, Mallikarjuna R. Determination of storage required to meet reliability guarantees on island-capable microgrids with intermittent sources. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 27, n. 4, p. 2360–2367, 2012.
- RAMESH, Mala; SAINI, Rajeshwer Prasad. Dispatch strategies based performance analysis of a hybrid renewable energy system for a remote rural area in India. *Journal of Cleaner Production*, v. 259, p. 120697, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120697>>.
- RIBEIRO, Pedro. *Pelotão do Exército na Amazônia terá sistema inédito de armazenamento de energia*. Disponível em: <<https://paranaportal.uol.com.br/opiniaosintonia-fina/pelotao-do-exercito-na-amazonia-tera-sistema-inedito-de-armazenamento-de-energia/>>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- RODRIGUES, Alex. *Aneel e Câmara discutem revisão de normas para produção de energia | Agência Brasil*. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-11/aneel-e-camara-discutem-revisao-de-normas-para-producao-de-energia>>. Acesso em: 12 mar. 2020.

SABER, Esmail M. et al. PV (photovoltaics) performance evaluation and simulation-based energy yield prediction for tropical buildings. *Energy*, v. 71, p. 588–595, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.115>>.

SAM. *Home - System Advisor Model (SAM)*. Disponível em: <<https://sam.nrel.gov/>>. Acesso em: 1 apr. 2021.

USA. *The White House. Memorandum on the Designation of the Federative Republic of Brazil as a Major Non-NATO Ally*. Disponível em: <<https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/memorandum-designation-federative-republic-brazil-major-non-nato-ally/>>. Acesso em: 27 jan. 2020a.

USA. *US Army. ASA(IE&E). Energy and Sustainability Home*. Disponível em: <<https://www.asaie.army.mil/Public/ES/index.html>>. Acesso em: 9 mar. 2019b.

YILMAZ, Saban et al. Dynamic Simulation of a PV-Diesel-Battery Hybrid Plant for off Grid Electricity Supply. *Energy Procedia*, v. 75, p. 381–387, 2015.

REFERÊNCIAS DAS IMAGENS DA CAPA (ACESSO EM 12/7/2021):

CRO/12: <https://www.2gpte.eb.mil.br/ultimas-noticias/exemplo-de-excelencia-na-gestao-do-opus.html>

20º RCB: <https://www.instagram.com/p/CRAM-6gHy4G/>

3º RCC: https://www.eb.mil.br/web/noticias/noticiario-do-exercito/-/asset_publisher/MjaG93KcunQI/content/id/8357342

PEF São Joaquim: <https://twitter.com/ComdoCMA/status/932374775539863553>

PEF Porto Índio: <https://www.acritica.net/editorias/geral/isolados-no-pantanal-militares-guardam-a-regiao-de-fronteira/285188/>