

OASIS-UFMG: Proposta de Minirrede para Diminuição de Custos de Energia Elétrica no Campi Universitário.

Mylena C. da Silva*, Lucas S. Chaves*
Thales A. C. Maia**, Igor A. Pires**, Braz de Jesus C. Filho**.

*Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica - UFMG, Belo Horizonte, MG
BRA (Tel: +55 (31)3409-5465; e-mail: mylena-cruzinha@ufmg.br, lucas-ves@hotmail.com;).

** Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG
BRA (e-mail: thales@ufmg.br, iap@ufmg.br, braz.cardoso@ieee.org;)

Abstract: The evolution of power electronics has added several advantages to the production of electricity. This production, although still very concentrated, has been expanding over the years. Technical regulations support the installation of mini and micro generating grids, adding advantages to consumers due to the proximity to the load. In the case of university campuses, investment in energy self-sufficiency allows for investment in research, diversification of production and cost reduction with this input. In view of this scenario, an Institutional Research and Development project was developed at the Federal University of Minas Gerais, Pampulha campus in Belo Horizonte (MG). This article has the objective of publishing containing a general evaluation of the project, considering the means of production of electric energy and the environmental structure, demonstrating the feasibility and advantages for the effective reduction of the costs with electric energy in educational institutions.

Resumo: A evolução da eletrônica de potência agregou diversas vantagens para a produção de energia elétrica. Esta produção, apesar de ainda ser muito concentrada, vem sofrendo expansão ao longo dos anos. As normativas técnicas amparam a instalação de mini e microrredes geradoras, agregando vantagens aos consumidores devido à proximidade com a carga. No caso de campi universitários, o investimento em autossuficiência energética permite o investimento em pesquisa, diversificação da produção e redução dos custos com esse insumo. Tendo em vista esse cenário, foi desenvolvido um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Institucional na Universidade Federal de Minas Gerais, campi Pampulha em Belo Horizonte (MG). Este artigo destina-se a divulgação por meio de uma avaliação geral do projeto, sendo considerados os meios de produção de energia elétrica e a estrutura ambiental, demonstrando a viabilidade e vantagens para a efetiva redução dos custos com energia elétrica em instituições de ensino.

Keywords: Distributed Generation; Photovoltaic Solar Energy; Storage System; Gas Microturbine; Cogeneration.

Palavras-chaves: Geração Distribuída; Energia Solar Fotovoltaica; Armazenamento de Energia; Microturbina a Gás; Cogeração.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica em prédios públicos, como no caso de Universidades Federais, consiste em um dos principais pontos onerosos para instituição, como o exposto em (Silva, et al., 2020).

Atualmente, a maior parte da produção de energia elétrica no Brasil advém de usinas hidrelétricas, de acordo com dados do (BEN 2021) que tem como base o ano anterior. Esta matriz apresenta dominância devido ao grande potencial hídrico do país, o relevo e a flexibilidade da capacidade de armazenamento de hidrelétricas. Porém, apesar de não estar sujeita a flutuações do mercado, como no caso das usinas que utilizam gás natural ou combustíveis fósseis, as hidrelétricas possuem a desvantagem de estar suscetíveis a épocas de estiagem e sazonalidade hídrica. Este aspecto leva ao uso de

outras matrizes energéticas em complemento a estações de baixa geração nas hidrelétricas, como no caso do Brasil, quando ocorre o acionamento de usinas termoelétricas.

A mobilização de termoelétricas acabam por encarecer a tarifa energética, justamente por depender do valor aplicado aos combustíveis para queima e consequente produção de energia elétrica.

Uma alternativa apresentada é a utilização de geração de energia elétrica no próprio, ou próximo ao consumidor, podendo ser definida como geração distribuída. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) define por meio da sua resolução normativa N°482 de 2012, duas classes de geração distribuída, mini e microrredes. Microrredes são sistemas com geradores que possuem potência instalada de até 75kW, enquanto a minirrede possui capacidade superior a tal valor, podendo chegar até 3MW.

No caso da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), as despesas com energia elétrica são de cerca de R\$ 21 milhões, segundo dados de 2019, e em 2020 em torno de R\$ 16 milhões, diminuição em decorrência da pandemia de COVID-19. Esse fator despertou interesse acadêmico e científico para autoprodução de energia elétrica no campi da universidade, especificamente o campi Pampulha, o atual maior consumidor do insumo dentre as unidades da instituição.

Nesse contexto, nasceu o Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Institucional (PDI) - Minirrede de Energia OÁSIS-UFMG. Esse PDI contempla a instalação de unidades geradoras de energia elétrica por meio da tecnologia fotovoltaica e o complemento por microturbinas a gás natural.

O presente artigo propõe a análise descritiva sobre o PDI-OÁSIS, explorando a instalação dos painéis solares, da microturbina a gás e o sistema de armazenamento de energia elétrica na Universidade Federal de Minas Gerais, campi Pampulha, situado em Belo Horizonte, MG. Serão abordadas a concepção do projeto, a factibilidade dos equipamentos empregados e possibilidade de ingresso da instituição no mercado livre de energia.

2. CONTEXTO

A Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) é uma instituição pública que atende em torno de 60 mil pessoas ao dia. A Universidade conta com diversos pavilhões que incluem prédios destinados a laboratórios de pesquisa, salas de informática, lazer e aulas. Atualmente o fornecimento de energia elétrica é feito através da concessionária de energia local, a Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, por meio de licitação por inexistência.

Segundo dados de 2019, disponibilizado pela própria universidade, o consumo de energia elétrica no campi Pampulha em Belo Horizonte – MG, ficou em torno de R\$ 21 milhões, com um aumento de aproximadamente 16% em relação ao ano anterior. Em termos de energia, o consumo médio mensal gira em torno de 2.900 MWh, sendo que no campi cada prédio constitui uma unidade consumidora que está conectada em média tensão (13,8 kV), a rede elétrica da CEMIG.

A universidade utiliza-se da tarifa verde, demanda contratada, a qual ocorre a contratação da capacidade que deve ficar disponível. Essa tarifação é binômica e horária, ou seja, o horário em que a energia elétrica é consumida impacta no valor a ser requerido. Ao longo do dia são consideradas pela concessionária 3 horas de ponta, momento em que o valor cobrado é substancialmente maior em relação ao horário fora de ponta. Outro ponto que deve ser considerado são as alterações da bandeira tarifária, em decorrência do meio de geração de energia elétrica.

Diante do exposto, o Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Institucional OÁSIS - UFMG foi concebido em 2017 e consiste na implementação de uma minirrede de energia que opera por intermédio da cogeração. O sistema consiste na geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos e de microturbinas a gás que podem operar com gás natural,

propano, biogás e outros. O projeto visa a autossuficiência. Para tanto, conta com um sistema de armazenamento de energia por bateria para dar suporte à geração.

O projeto possui características inéditas, tanto para área de pesquisa quanto para implementação. Dentre estas características podem ser citadas: capacidade instalada, envolvimento multidisciplinar e inovação tecnológica. No Apêndice A é apresentada um mapa do campi Pampulha contendo a proposta de disposição de componentes do Projeto OÁSIS.

O PDI-OÁSIS é estruturado seguindo três linhas de atuação: gestão de contratos, gestão própria de energia e gestão de consumo. As três linhas interdependem uma da outra para o funcionamento ideal do sistema.

2.1 Gestão de Contratos

Responsável por administrar a ingressão no mercado livre de energia, a fim de gerenciar o processo de compra e venda de energia.

Neste ponto é considerada a legislação vigente para compensação de energia elétrica no Brasil. De acordo com a ANEEL, por meio da Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, é definido que a energia ativa produzida pela minirrede é injetada na rede da concessionária por meio da unidade consumidora. Neste ponto ocorre o empréstimo gratuito, com o retorno para instituição pública por meio de compensação no consumo e consequente redução do valor do tributo a ser pago.

2.2 Gestão Própria de Energia

Consiste no sistema e sua aplicação, tendo em vista a cogeração por meio dos painéis fotovoltaicos e da microturbina a gás, assim como as cargas a serem alimentadas em caso de desconexão com o sistema da concessionária.

Para o projeto, são consideradas três tipos de cargas: as menos críticas (P_{base}), que deve ser desconectadas em momentos iniciais de desconexão da rede da concessionária; cargas prioritárias (P_{prio}) a quais o desligamento não agrega grandes prejuízos; cargas que devem ser constantemente alimentadas, ou cargas críticas (P_{crit}). Para esta demanda o desligamento pode causar grande dano, como exemplo de tais cargas temos: geladeiras, *freezers* e estufas que podem levar ao comprometimento de pesquisas científicas.

A Fig. 1 corresponde a uma ilustração contendo o seccionamento das cargas atendida pela minirrede ao longo do tempo. Esse ponto é definido como a intercessão com o próximo item da divisão de gestão.

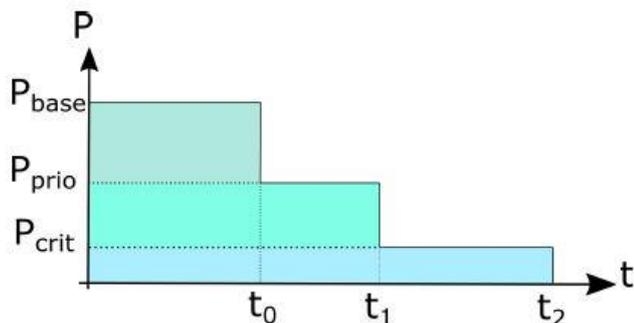


Fig. 1 Cargas ao Longo do Tempo: considerando-se a situação de operação ilhada.

2.3 Gestão de Consumo

Esta área de gestão corresponde ao processo de armazenamento da energia elétrica gerada pela minirrede.

O uso de armazenadores de energia possibilita a operação de modo ilhado, sendo essa, uma vantagem para reduzir picos de demanda na rede, melhorar o aproveitamento do recurso energético e aumentar a confiabilidade do sistema.

3. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

A geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos (FVs) vem ganhando mais espaço no cenário mundial. A grande vantagem dessa tecnologia é a proximidade entre a geração e a carga, além da flexibilidade de operação, podendo ser de forma ilhada ou em conjunto com a rede da concessionária de energia.

Considerando-se o PDI-OÁSIS, as vantagens podem ser ainda maiores, tendo em vista a possibilidade de atender a demanda energética da universidade e gerar projetos acadêmicos que beneficiam a comunidade científica.

O primeiro ponto a ser considerado é o dimensionamento da geração fotovoltaica. Utilizaram-se modelos matemáticos para estimar a conversão de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), necessária para utilização no Campi e na conexão com a rede disponível. Outro método empregado foi o modelo de estimativa do recurso solar disponível para geração.

Utilizou-se como parâmetro a norma IEC 61683 (1999) que define a eficácia de conversão CC/CA como sendo a razão entre a energia entregue a concessionária e a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos. Em (ARAUJO, RANK, & BUENO, 2016) referencia-se um estudo alemão que identifica que o sombreamento e o acúmulo de sujeira são as principais causas de perdas do sistema, assim como perdas na conversão, na fiação e por temperatura.

Com relação ao recurso solar disponível, o projeto visa a máxima produção energética dentro do campi, para isso utilizaram-se os seguintes parâmetros: a radiação solar média mensal sobre um plano horizontal e seus componentes diretos e difusos, índice de claridade, média mensal da radiação em

uma superfície inclinada e os efeitos da orientação da superfície dos módulos fotovoltaicos.

Os dados colhidos por meio dos modelos citados foram implementados ao MATLAB® e comparados com dados coletados de estações solarimétricas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), SunData/CEPEL e Instituto Nacional Meteorologia (INMET). Para melhor administração desses dados o PDI-OÁSIS agregou a etapa de desenvolvimento de *software* próprio, denominado de PVOásis, que tem a finalidade de administrar do sistema, desde a sua concepção até a produção efetiva. Na Fig. 2 é apresentado a tela demonstrativa do *software* proposto em funcionamento.

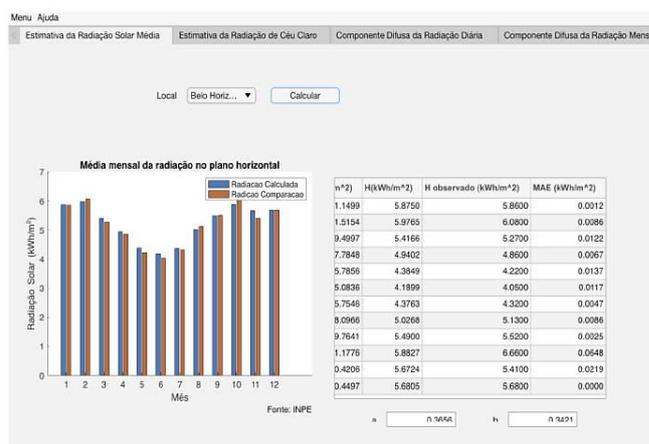


Fig. 2 Tela interativa do PVOásis: média mensal da radiação solar incidente no plano horizontal.

A escolha das edificações para instalação dos módulos fotovoltaicos ocorreu por meio de visitas técnicas ocorridas em fevereiro e março de 2020. Os pontos avaliados foram: coberturas sem sombreamentos ou com sombreamento reduzido ao longo do ano, laje impermeabilizada ou telha metálica superior a 0,65 mm, facilidade de acesso, orientação das edificações para o norte geográfico ou com pouco desvio azimutal em relação ao norte geográfico, prédios pertencentes a Administração Central da Universidade, demanda contratada compatível com a futura potência instalada das unidades fotovoltaicas (UFV), presença de salas próximas aos geradores FVs para instalação de conversores estáticos e sistemas de monitoramento.

Constatou-se que a instalação das UFVs deve ocorrer em três prédios do campi Pampulha: Centro de Atividades Didáticas 1 (CAD), CAD 2 e CAD 3, prédios que tem apenas salas de aulas e auditórios. O mapa demonstra que há quatro pontos de geração fotovoltaica, porém o quarto elemento está situado na Escola de Engenharia, este é um projeto independente da rede OÁSIS sendo utilizado apenas para fins acadêmicos, não tendo por objetivo a autossuficiência da rede (Foureaux, 2016).

Tendo estabelecido os locais para recebimento da geração FV, a modelagem ocorreu com auxílio do *software* PVSyst v.6.87. As fases de implementação do sistema seguirão a sequência: CAD 1, CAD 3 e por fim no CAD 2.

Os dados de projeto para o CAD 1 e CAD 3 encontram-se nas Tabela 1 e Tabela 2 respectivamente, onde são apresentando os dados do PVsyst / OWNEnergy (2021).

Tabela 1. Características da Geração FV – CAD 1

Características Gerais			
Capacidade Isolada	129 kWp	Nº Total de Módulos	318
Potência Total de Inversores	120 kWca	Nº Total de Inversores	4
Tecnologia	Silício Cristalino	Área Total	646 m ²
Características dos Arranjos			
Sub Arranjo 1		Sub Arranjo 2	
Módulo em Série	13	Módulo em Série	16
Strings em Paralelo	6	Strings em Paralelo	15
Nº Total de Módulos	78	Nº Total de Módulos	240
Nº Total de Inversores	1	Nº Total de Inversores	3
Ponto de Máxima Potência (50°C)	490 V	Ponto de Máxima Potência (50°C)	603 V
Ponto de Máxima Potência (50°C)	60 A	Ponto de Máxima Potência (50°C)	150 A
Potência Total (50°C)	29,31 kWp	Potência Total (50°C)	90,2 kWp

Considerando-se o sistema do CAD 1, com dados complementares apresentados na Fig. 3 e obtidos pelas mesmas fontes das tabelas, estimou-se a produção anual de 169 MW. Mesmo sendo consideradas as perdas do sistema, a produtividade deve ficar em torno de 82%, sendo considerada a autossuficiência do edifício CAD 1.

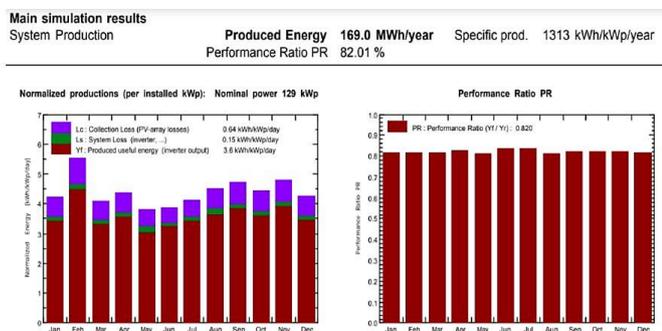


Fig. 3 Simulação de Dados Energéticos do CAD 1.

Tabela 2. Características da Geração FV – CAD 3

Características Gerais			
Capacidade Isolada	146 kWp	Nº Total de Módulos	360
Potência Total de Inversores	150 kWca	Nº Total de Inversores	5
Tecnologia	Silício Cristalino		
Características dos Arranjos			
Sub Arranjo 1 e 2		Sub Arranjo 3	
Módulo em Série	18	Módulo em Série	18
Strings em Paralelo	7	Strings em Paralelo	6
Nº Total de Módulos	126	Nº Total de Módulos	108
Nº Total de Inversores	3	Nº Total de Inversores	5
Ponto de Máxima Potência (50°C)	678 V	Ponto de Máxima Potência (50°C)	678 V
Ponto de Máxima Potência (50°C)	70 A	Ponto de Máxima Potência (50°C)	60 A
Potência Total (50°C)	47,4 kWp	Potência Total (50°C)	40,6 kWp

Do mesmo modo, a Fig. 4 apresenta os dados para o CAD 3. Sendo consideradas as perdas, a produção anual deverá ser de 184,1 MWh e uma produtividade de 80%, com consequente autossuficiência do prédio CAD 3.

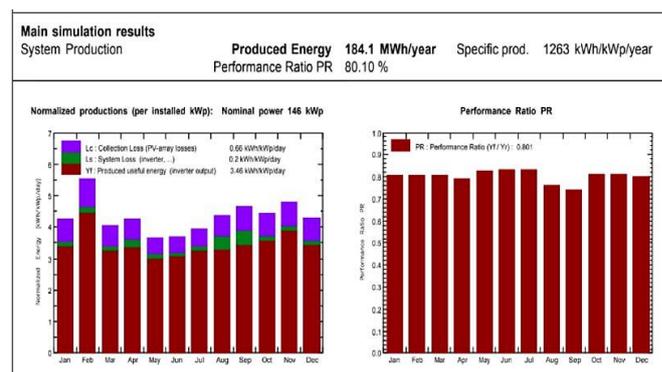


Fig. 4 Simulação dos Dados Energéticos do CAD 3.

As obras de instalação de geração FV pertence a administração da empresa ganhadora do processo licitatório. Em ambos os prédios a atuação foi iniciado em fevereiro de 2021, e atualmente encontram-se em processo de finalização, de acordo com as Fig. 5 e Fig. 6



Fig. 5 Cobertura do CAD 1.



Fig. 6 Cobertura do CAD 3.

A atuação do CAD 1 depende do término de obras da concessionária de energia local. A instalação FV do CAD 3 aguarda obras na subestação que deve ser concluída pela empresa ganhadora da licitação. Enquanto ao CAD 2, a empresa que fará a execução da obra já foi notificada e prevê a entrega para abril de 2022.

4. MICROTURBINA A GÁS

O PDI-OÁSIS prevê a redução do gasto com energia elétrica utilizando-se também da diversificação da matriz energética do campi. Para tal, o projeto fará utilização de microturbinas a gás.

Esse modo de produção consiste na conversão de energia térmica em energia elétrica. Tal conversão ocorre por meio da combustão contínua, processo em que o gás quente sofre compressão e posterior expansão (Bona & Ruppert Filho, 2004).

Para o projeto OÁSIS, a utilização de microturbinas a gás garante considerável vantagem, tendo em vista que a utilização dessa tecnologia permite o aproveitamento da energia térmica para aquecimento de sistemas hidráulicos e a refrigeração de ambientes, reduzindo a utilização de ar-condicionado.

A cogeração nacional é regida pela ANEEL por meio da resolução normativa nº 235/2006 que define uma eficiência energética total mínima, sendo utilizada para o aproveitamento térmico e elétrico.

Esse aproveitamento é estimado em (Hamilton, 2003) e conta com valores de 30 a 50% de aproveitamento térmico e de 20 a 40% da energia elétrica, estimando um total de 80 a 90% de eficiência energética global.

É possível indicar outras vantagens para esse método de geração. Em (Boyce, 2066) são citadas: baixos níveis de ruído e vibração, a produção da energia não varia com alterações climáticas ou períodos do dia, baixo custo de manutenção e

alta densidade de potência (maior energia produzida por área em comparação ao sistema fotovoltaico).

O dimensionamento para o campi contempla oito microturbinas comerciais de 58,3 kW de potência elétrica e 60 kW térmicos para aquecimento de água. Com esta potência térmica é possível aquecer a água de um sistema em 10°C para uma vazão de 8,24 m³/h. O sistema hidráulico seria direcionado ao atendimento dos Restaurantes Universitários, laboratórios de pesquisa e o aquecimento da piscina olímpica no Centro Esportivo Universitário.

Utilizando o mesmo exemplo de microturbina comercial, a refrigeração do ambiente seria por meio do calor produzido que passa por um processo de refrigeração por absorção em *chillers*. São considerados para o projeto *chillers* de absorção em substituição ao *chiller* elétrico já presente na instalação, provocando a redução do consumo de energia elétrica no campi Pampulha.

5. SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

O sistema de armazenamento de energia (ESS - *Energy Storage Systems*) possui relevante importância para o projeto, pois possibilita a operação do sistema de forma desconectada da rede elétrica da concessionária de energia, além de permitir a redução de picos de demanda que ocorrem em horários de ponta. Abordando uma situação local, em dados de 2020 a CEMIG caracterizou o horário de ponta das 17h às 20hs. Desse modo, ocorre o abastecimento do sistema de armazenamento em horário de maior produção da GD e a utilização em horários mais vantajosos.

Como dados de projeto, no campi Pampulha, são considerados 12 MWh de consumo em condições pré pandemia de COVID-19. Apesar da energia do ESS ser de aproximadamente 3 MWh, essa energia deve ser utilizada em horários de ponta com a prospecção de um plano futuro para expansão.

Foram definidos sete prédios para instalação do ESS, sendo os Centro de Treinamento Esportivo 2 (CTE), Engenharia 2, Instituto de Ciências Biológicas (ICB) e o Instituto de Ciências Exatas (ICEx). O armazenamento servirá para auxílio da miniturbina a gás, enquanto as unidades do CAD 1, CAD 2 e CAD3 para apoio ao sistema fotovoltaico.

Para tal sistema, foram avaliadas e consideradas como melhor opção as baterias eletroquímicas, tendo em vista o melhor custo-benefício e suporte de manutenção. Sua principal característica é a possibilidade de recarga e alta eficiência, de 80 a 90%, além de considerável densidade de energia, por volta de 30 a 200 Wh/kg. (RUFER, 2017). As baterias eletroquímicas podem operar de modo centralizado, com um único sistema conectado a média tensão (13,8 kV), e o modo descentralizado que compõe mais de um sistema ligado a baixa tensão (220 V).

Com base em pesquisas bibliográficas, o projeto OÁSIS focou na utilização de baterias íon-lítio, com a química de Lítio Ferro Fosfato (LiFePO₄). Segundo (RUFER, 2017) as baterias de Lítio Ferro Fosfato dispõem de considerável eficiência de carga/descarga e capacidade de ciclo profundo.

Por meio de pesquisas de mercado, encontrou-se as seguintes soluções apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Capacidade das Baterias por Fornecedor.

	Centralizada (MT)	Descentralizada (BT)	
Fornecedor 1	1MW/3MWh	4 Unidades	250 kW/785 kWh
		Total	1MW/3,14MWh
Fornecedor 2	1MW/3MWh	8 Unidades	120 kW/ 274 kWh
		Total	960 kW/ 2192 kWh

6. ESTRUTURA DE CONTROLE

O PDI-OÁSIS prevê a elaboração de uma estrutura para gestão da geração de energia elétrica e o seu emprego será realizada por meio de um sistema de controle. Este sistema proposto deve ser capaz de detectar as grandezas elétricas e avaliar de que modo estão atuando.

A minirrede OÁSIS deve integrar a geração por meio de painéis fotovoltaicos, a miniturbina a gás e o sistema de armazenamento de energia, além de gerir as cargas a serem mantidas, considerando como cargas críticas e não críticas.

A estrutura base é feita por meio de uma arquitetura centralizada em um controle central e um painel de medição conectado ao lado de baixa tensão do transformador da subestação, esse elemento deve ser capaz de mensurar a tensão, corrente, potência ativa e reativa que fluem entre a minirrede e a da concessionária. Na Fig. 7 é exposto um esquemático contendo os principais elementos da minirrede.

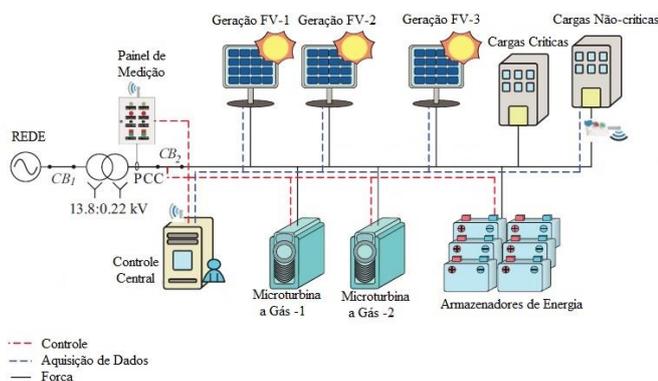


Fig. 7 Estrutura simplificada da Minirrede-OÁSIS

O fluxo de dados do controle central ocorre de modo bidirecional ou unidirecional, sendo bidirecional para as microturbinas a gás e o sistema de armazenamento de energia, e unidirecional para as centrais fotovoltaicas e o painel de medição.

7. CONCLUSÕES

O PDI-OÁSIS consiste em importante iniciativa para comunidade acadêmica e para gestão de recursos da UFMG.

A viabilidade do projeto mostrou-se eficiente, tanto na geração fotovoltaica quanto na ação da microturbina a gás.

O principal ponto de destaque que permite o sistema ser considerado eficaz consiste na geração de aproximadamente 410 kW e uma potência em conjunto com o aproveitamento de 720 kW devido ao sistema de cogeração. Os números expressam uma economia de aproximadamente 30% o equivalente a R\$ 6,3 milhões.

Quanto a cogeração, o artigo demonstrou o aproveitamento de energia elétrica e térmica, podendo oferecer condições auxiliares para sistemas de aquecimento e resfriamento.

Com base no exposto sobre as tecnologias de armazenamento de energia elétrica, recomenda-se a utilização da opção descentralizada. Esta opção atende a capacidade energética exigida em projeto, e ainda, considerando uma falha elétrica em que haja a perda de um dos componentes de armazenamento, não haveria uma desconexão completa do sistema, permanecendo o restante em operação. O mesmo sistema provou ser necessário para garantia de confiabilidade, independência e qualidade do projeto OÁSIS.

Os detalhes sobre equipamentos empregados e o funcionamento da estrutura de controle devem ser vistos em trabalhos futuros, tendo em vista que ainda estão em processo de desenvolvimento. Como planos futuros o projeto deve viabilizar a inserção no mercado livre de energia e expansão do sistema de armazenamento.

AGRADECIMENTOS

A reitora da Universidade Federal de Minas Gerais, pelo financiamento do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Institucional, proporcionando diversas oportunidades de pesquisa e desenvolvimento a professores, funcionários e alunos de graduação e pós-graduação. À Fapemig, CAPES e CNPq pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 235/2006, de 14 de novembro de 2006. Brasília, 2006.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 482/2012, de 14 de abril de 2012. Brasília, 2012.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 687/2015, de 24 de novembro de 2015. Brasília, 2015.
- Araujo, A.J.N; Rank, N. I; Bueno, T. B.A. Análise Dos Fatores De Perdas Nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica Em Curitiba. Repositório UTDPR, 2016. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1006/6/1/CT_COELE_2016_2_21.pdf. Acesso em: 17 de março de 2022.
- Balanco Energético Nacional 2021: Ano base 2020 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2021.
- Bona, Felipe Samuel De, Ruppert Filho, Ernesto. As microturbinas e a geração distribuída. In: Encontro De Energia No Meio Rural, 5., 2004, Campinas.

- SP.http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022004000100018&lng=en&nrm=abn>. Access on: 27 Mar. 2022.
- Boyce, M. P. Gas Turbine Engineering Handbook. Third Edition. Burlington, MA ,USA: Gulf Professional Publishing, 2006.
- Cantante, D. A; Ando Junior, O. H; Hamerschmidt, M.B. Tecnologias de Armazenamento de Energia Aplicadas ao Setor Elétrico Brasileiro. São Carlos - SP, Brasil: Editora Scienza, 2020.
- Foureaux, Nicole et alli: Decisões de Projeto da Usina Experimental Fotovoltaica Tesla Engenharia de Potência. In: VI CBENS - Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2016, Belo Horizonte. Anais do VI Congresso Brasileiro de Energia Solar. Belo Horizonte, 2016.
- International Electrotechnical Commission. Photovoltaic systems – Power conditioners – Procedure for measuring efficiency. IEC -61683, 1999.
- Rufer, A. Energy Storage: Systems and Components. 1st edition. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, October 31, 2017.
- S. Hamilton, Microturbine generator handbook. PennWell Books, 2003.
- Tatiane C. Silva, Gabriel M. Pinto, Túlio A.Z. de Souza, Victor Valerio, Naidion M. Silvério, Christian J.R. Coronado, Eduardo Crestana Guardia,
- Technical and economical evaluation of the photovoltaic system in Brazilian public buildings: A case study for peak and off-peak hours, Energy, Volume 190, 2020, 116282, ISSN 0360-5442,<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116282>.

Apêndice A.

Visão Esquemática da Implantação PDI-OASIS

