

UFV BHTEC – PROJETO, INSTALAÇÃO E PRIMEIROS RESULTADOS DA UFV INSTALADA EM EDIFÍCIO COMERCIAL EM BELO HORIZONTE

Rafael Coelho Junqueira – rafael.junqueira@alsolenergia.com.br

Luís Felipe Soares Souza – luis.souza@alsolenergia.com.br

Gustavo Malagoli Buiatti – gustavo@alsolenergia.com.br

Lais Clara Valadares – lais@alsolenergia.com.br

Fabricio Bonfim Rodrigues de Oliveira – fabricio.rodrigues@alsolenergia.com.br

Alsol Energias Renováveis

Resumo. A Usina Fotovoltaica (UFV) BHTEC, de 107kWp, localizada em edifício comercial na cidade de Belo Horizonte - MG, é fruto de Edital lançado pelo Governo Federal, tendo entrado em operação em abril de 2017. Este trabalho traz um estudo desde as premissas da licitação, desafios encontrados na fase de projeto, implantação e operação e comenta os primeiros resultados da UFV após 6 meses de entrada em operação. São apontadas também questões que podem ainda ser melhoradas. A UFV gerou em 6 meses de operação o montante de 81MWh, estando 4,93% acima do previsto nas simulações computacionais realizadas durante a fase de elaboração do projeto da UFV. A expectativa é que a UFV proporcione uma economia de R\$ 64.558 no primeiro ano de operação. As informações e dados utilizados para elaboração deste trabalho foram cedidos gentilmente pela empresa executora do projeto, Alsol Energias Renováveis e pela administração do BHTEC.

Palavras-chave: Minigeração, Usina Solar Fotovoltaica em setor comercial, Usina Solar Fotovoltaica em média tensão

1. INTRODUÇÃO

A Resolução Normativa nº 482, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), regulamentou no país a geração de energia elétrica pelos consumidores, através do modelo de geração distribuída, em que os geradores se encontram dispersos em inúmeros pontos do sistema de distribuição. A energia gerada deve ser oriunda de fontes renováveis como eólica, fotovoltaica, biomassa, dentre outras tecnologias possíveis. Através do sistema de compensação de energia (internacionalmente conhecido como *net metering*), a energia elétrica que é fornecida ao sistema da distribuidora local é registrada e convertida em créditos para o consumidor, a fim de que sejam utilizados para abatimento do montante de energia consumida pelo mesmo, gerando assim redução na conta de energia. A Resolução Normativa nº 687 da ANEEL, que alterou a Resolução nº 482, trouxe outros avanços no que se refere à geração distribuída, e modelos mais sofisticados de geração de energia são possíveis, incluindo a utilização da energia gerada em uma unidade consumidora em um outra unidade de mesma propriedade, a instalação em condomínios, os chamados “empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras”, que podem compartilhar a energia gerada por uma única usina geradora, em percentuais definidos pelos próprios condôminos, ou a “geração compartilhada”, que possibilita que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem sua geração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados (ANEEL, 2018).

Este trabalho trata da Usina Solar Fotovoltaica (UFV) que atende ao edifício do BHTEC – Parque Tecnológico de Belo Horizonte. O BHTEC é uma associação civil de direito privado, de caráter científico, tecnológico, educacional e cultural, sem fins lucrativos, que funciona como um condomínio que abriga empresas que se dedicam a investigar e produzir novas tecnologias e centros públicos e privados de Pesquisa & Desenvolvimento. É fruto da parceria entre 5 sócio-fundadores: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Governo do Estado de Minas Gerais, Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de Minas Gerais (Sebrae Minas) e Federação das Indústrias de Minas Gerais (FIEMG) (BHTEC, 2017).

A utilização de energia elétrica proveniente de fontes de energia renováveis, aliada à real vantagem econômica como forma de investimento de médio prazo, vêm motivando consumidores como o BHTEC a instalarem suas próprias usinas geradoras de energia. Segundo dados da ANEEL, a fonte mais utilizada pelos consumidores-geradores é a solar com 20.666 adesões, seguida de termelétrica a biomassa ou biogás, com 76 instalações (ANEEL, 2018). Motivado por este cenário, foi aberto processo de licitação pela Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (FUNDEP), em 2016, para contratação de empresa especializada para instalação de uma UFV no Edifício do BHTEC.

A etapa de estudos para a elaboração do projeto de uma UFV em uma edificação já construída contempla análise detalhada das condições já existentes no local, uma vez que podem ser necessárias adaptações e preparações específicas de acordo com as características existentes na edificação. É exigida atenção em uma série de fatores, como: condições da estrutura da cobertura para recebimento dos módulos fotovoltaicos, avaliação do espaço físico disponível para atendimento à potência requerida, orientação azimutal, condições de sombreamento sobre o sistema, adequação da rede elétrica existente, segurança dos trabalhadores durante a instalação, operação e manutenção, dentre outros.

Este artigo fará a apresentação da “UFV BHTEC”, apresentando as premissas da licitação, o passo a passo seguido pela empresa vencedora para implantação da usina, a operação e os primeiros resultados do empreendimento

2. ETAPAS DO PROJETO

A seguir são descritas as principais etapas do projeto da UFV BHTEC, tendo como marco inicial a abertura de processo de licitação pela FUNDEP em 2016, que teve como vencedora a empresa Alsol Energias Renováveis, em escopo de fornecimento “turn key”: entrega do sistema em pleno funcionamento para a empresa contratante (FUNDEP).

2.1 Processo de Licitação

A Usina Solar Fotovoltaica em estudo foi adquirida através de processo de licitação aberto pela Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa, nº 001/2016. A licitação teve por objeto contratação de empresa especializada para desenvolvimento do projeto executivo, bem como obras de construção civil, elétrica e instalações de implantação deste projeto, de um conjunto integrado de que compõem o projeto de uma Usina Solar Fotovoltaica, e o projeto "as built", posterior à execução da obra, a ser implantada na cobertura do edifício institucional do BHTEC, Parque Tecnológico de Belo Horizonte, com o fornecimento de todas as máquinas, materiais, equipamentos, mão de obra, transporte e tudo mais que for necessário à completa execução dos serviços, a conclusão e a manutenção dos serviços, sejam eles definitivos ou temporários, em conformidade com as especificações técnicas, projeto básico e demais exigências, especificações e quantitativos estabelecidos no Instrumento e seus Anexos. A Tab. 1 traz os principais itens do escopo de fornecimento exigido. A Fig. 1 traz layout proposto inicialmente pela empresa licitadora.

Tabela 1 – Resumo do escopo do fornecimento “turn key” da UFV pela contratada

Item	Exigências
Estrutura de suporte dos módulos	Cálculo estrutural, projeto, fabricação e montagem da estrutura.
Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas	Verificação da adequação do SPDA existente.
Gerador Fotovoltaico	Módulos de Silício cristalino com potência igual ou superior a 300W incluindo seu suporte, fixação, aterramento e cabeamento; Quadros de interface para seccionamento dos circuitos; Inversores de frequência.
Serviço de instalação e montagem dos sistemas	Transporte e armazenamento dos materiais; Instalação do gerador e inversores;
Comissionamento do sistema e projeto “as built”	



Figura 1 – Layout da UFV BHTEC proposto inicialmente no processo de licitação.

2.2 Principais etapas para a implantação da Usina Fotovoltaica

Uma série de fatores precisa ser analisada para a elaboração do projeto de uma usina fotovoltaica. Para a determinação da potência a ser instalada são avaliados inicialmente, dois limitantes: área disponível para instalação de módulos fotovoltaicos e potência disponibilizada para a unidade consumidora onde a central geradora será conectada. O edifício do BHTEC é uma unidade consumidora do grupo A, e, neste caso, a potência disponibilizada é a demanda contratada pela unidade consumidora, conforme inciso LX, art 2º da Resolução nº 414 da ANEEL (ANEEL, 2010). A demanda contratada pelo BHTEC junto à concessionária local (CEMIG) é de 180 kW. O segundo fator limitante, ou seja, a área disponível para a instalação dos módulos fotovoltaicos na cobertura do edifício, foi levantada *in loco*, e o cliente disponibilizou os projetos da cobertura. A avaliação realizada constatou que a área disponível permitiria a instalação de uma usina com potência menor que os 180 kW. Assim, a potência da usina neste caso ficou limitada à área de telhado disponível, e não à demanda contratada. Portanto, segundo Resoluções nº 482 e nº 687 da ANEEL, esta UFV trata-se de uma minigeração, uma vez que possui potência instalada superior a 75 kW e inferior a 3MW.

A Tab. 2 traz um resumo das etapas que foram seguidas para a implantação do projeto da UFV BHTEC. Estas etapas servem como orientação para outros projetos semelhantes, atentando-se, obviamente, para as especificidades de cada caso.

Tabela 2 – Sequência de atividades de implantação da UFV BHTEC seguidas pela empresa executora.

Etapa	Descrição
1. Levantamento de campo	Levantar as dimensões do telhado; levantar características da estrutura do telhado e do telhado em si; observar os objetos causadores de sombreamento; inspecionar rede elétrica interna, quadros elétricos e condições de aterramento; caminhos para cabeamento de corrente contínua e alternada; local para fixação de inversores e ponto de conexão à rede elétrica interna. Projetos arquitetônicos e elétricos existentes auxiliam fundamentalmente os projetistas da UFV, mas não dispensam a necessidade da visita de campo.
2. Simulação da geração de energia.	Necessário utilizar alguma metodologia para estimar a produção de energia de acordo com as condições de: incidência solar, sombreamento, posição e inclinação dos módulos, características dos equipamentos utilizados (módulos, cabos, inversores, transformadores, dentre outros). Neste caso foi utilizado o software PVsyst, que realiza análise detalhada do sistema através da construção do layout da UFV e inserção de dados de entrada, gerando uma estimativa confiável, bem como computa o valor do <i>Performance Ratio</i> da UFV de acordo com a norma internacional IEC 61724 - <i>Photovoltaic system performance – Part 1</i> . Nesta etapa foram definidas a quantidade de módulos fotovoltaicos e a forma de associação entre eles (denominadas “strings”) e a quantidade e modelo de inversores (a definição dos equipamentos seguiu as premissas do edital).
3. Elaboração de projeto estrutural.	A elaboração do projeto estrutural partiu do layout de simulação consolidado na etapa anterior. O projeto estrutural detalha todos os pontos de fixação da estrutura da usina na estrutura existente da cobertura do edifício, bem como detalha a fixação dos módulos na estrutura construída para a UFV. É o projeto estrutural que valida o layout construído na etapa de simulação, garantindo que as medidas dos módulos, do espaçamento entre os módulos, dos corredores de acesso e outros sejam todos exequíveis. O projetista estrutural precisa ainda garantir que a estrutura existente suporta o acréscimo de peso na cobertura devido ao peso dos módulos fotovoltaicos e da estrutura de sustentação dos módulos. Deve ainda certificar-se de prover mecanismos e materiais que garantam a proteção da cobertura contra a ação de águas que podem ser de chuva, de lavagem, ou de outras origens. Ao final da elaboração do projeto estrutural é elaborada lista de materiais necessários.
4. Elaboração de projeto elétrico e Solicitação de Acesso.	O projeto elétrico da UFV consiste basicamente de: I) detalhamento da conexão entre os módulos fotovoltaicos, proteções de corrente contínua (cc) e caminho do cabeamento cc até os inversores e II) do paralelismo entre os inversores, proteções de corrente alternada (ca), e interconexão da usina à rede elétrica existente na edificação. O projeto elétrico elaborado seguiu as definições feitas nas etapas 2. e 3., onde foram definidas em simulação a quantidade e formas de associação dos módulos fotovoltaicos, a quantidade de inversores e a divisão das associações de módulos (“strings”) nos inversores. Foram ainda definidos os pontos de conexão à rede interna, tendo sido utilizados dois quadros de distribuição já existentes no edifício. O caminho do cabeamento e local de fixação dos equipamentos também foram definidos e detalhados em projeto elétrico, bem como elaborada lista de materiais necessários. Foi realizada também a Solicitação de Acesso desta UFV junto à concessionária local – CEMIG. A solicitação é realizada apresentando-se as informações técnicas da usina fotovoltaica e dos equipamentos utilizados, bem como documentação do cliente e Anotação de Responsabilidade Técnica (ART).
5. Atendimento a normas de segurança e documentação dos profissionais envolvidos.	A Norma Regulamentadora N° 35 estabelece os requisitos mínimos e as medidas de proteção para o trabalho em altura, envolvendo o planejamento, a organização e a execução, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente com esta atividade. É considerado trabalho em altura toda aquela atividade exercida em uma altura superior a 2 metros. Portanto, todos os trabalhadores envolvidos nas atividades de instalação da UFV estavam certificados na NR-35, bem como aqueles trabalhadores que possuem interface com a rede elétrica tinham devida certificação NR-10 (Segurança em instalações e serviços em eletricidade), devendo todos portar equipamentos de proteção individual e coletiva cabíveis às atividades em altura e eletricidade.
6. Execução do projeto.	A etapa de execução do projeto consistiu do planejamento e execução de todas as atividades de: - suprimentos e logística de materiais e equipamentos; - apresentação de cronograma e liberação para trabalho pelo cliente; - içamento dos materiais para a cobertura; - mobilização e acompanhamento da Engenharia junto à equipe de campo para correta execução do projeto; - medições preliminares e sincronização dos inversores para testes; - limpeza e retirada de materiais; - desmobilização.

7. Comissionamento da UFV.	<p>A etapa de comissionamento da UFV é realizada a fim de garantir que a mesma está em plenas condições de funcionamento; que os equipamentos apresentem o funcionamento esperado (incluindo principalmente módulos e inversores, que devem apresentar eficiência conforme especificações de fábrica); que as instalações – fixação de estrutura e dos módulos, acomodação do cabeamento; infraestrutura e demais instalações – estejam em conformidade com as normas vigentes e que apresentem a durabilidade esperada. Durante o comissionamento são apontadas as inconformidades encontradas, que devem ser corrigidas antes da entrega final da UFV ao cliente. Já existe normatização dos procedimentos de comissionamento de usinas fotovoltaicas, tanto internacional como nacionalmente, através da norma IEC 62446:2014: “Grid connected photovoltaic systems – Minimum requirements for system documentation, commissioning tests and inspection”, da IEC 60891:2010: “Procedures for Temperature and Irradiance Corrections to measure I-V Characteristics”, IEC 60904-1:2006: “Photovoltaic devices Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics” e da norma ABNT NBR 16274: “Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho”.</p>
8. Monitoramento da usina e operação e manutenção (O&M).	<p>Todos os inversores foram integrados à rede de internet existente para fins de monitoramento remoto tanto pelo cliente como pela integradora (Alsol). As atividades de operação e manutenção da UFV ficaram a cargo do cliente, com a Alsol podendo fornecer diretrizes e manuais quando solicitada. Estas atividades são de fundamental importância para acompanhamento da integridade do sistema, do correto funcionamento dos componentes (módulos, proteções, inversores, cabeamento, estrutura, etc), bem como para garantir a plena geração de energia, especialmente com a limpeza periódica dos módulos fotovoltaicos. Na sequência deste artigo é detalhada a solução de monitoramento remoto, bem como questões de O&M.</p>

2.3 Configuração Estrutural da UFV

Além da limitação de área disponível no telhado do Edifício BHTEC, as características do mesmo tornaram necessária a instalação de estrutura adicional para suporte dos módulos. A Fig. 2 traz uma imagem original do telhado.



Figura 2 – Telhado do Edifício BHTEC antes da instalação da UFV.

Foi portanto projetada e instalada estrutura em forma de cavaletes, para apoio dos módulos fotovoltaicos e inclinando-se os módulos para 10° conforme definição de simulação e projeto. O telhado na forma original, sem inclinação, é inadequado para a instalação dos módulos por não proporcionar o melhor aproveitamento da radiação solar e ainda favorecer o acúmulo de sujeira sobre as placas. A Fig. 3 mostra os cavaletes fixados. A Fig. 4 mostra os perfis metálicos de sustentação dos módulos fixados sobre os cavaletes. Foram deixados corredores entre as mesas para se evitar ao máximo o efeito de perdas por sombreamentos mútuos entre os módulos. Estes corredores servem também para trânsito de pessoal, especialmente em atividades de O&M.



Figura 3 – Cavaletes fixados.



Figura 4 – Perfis “CG” fixados.

2.4 Configuração Elétrica da UFV

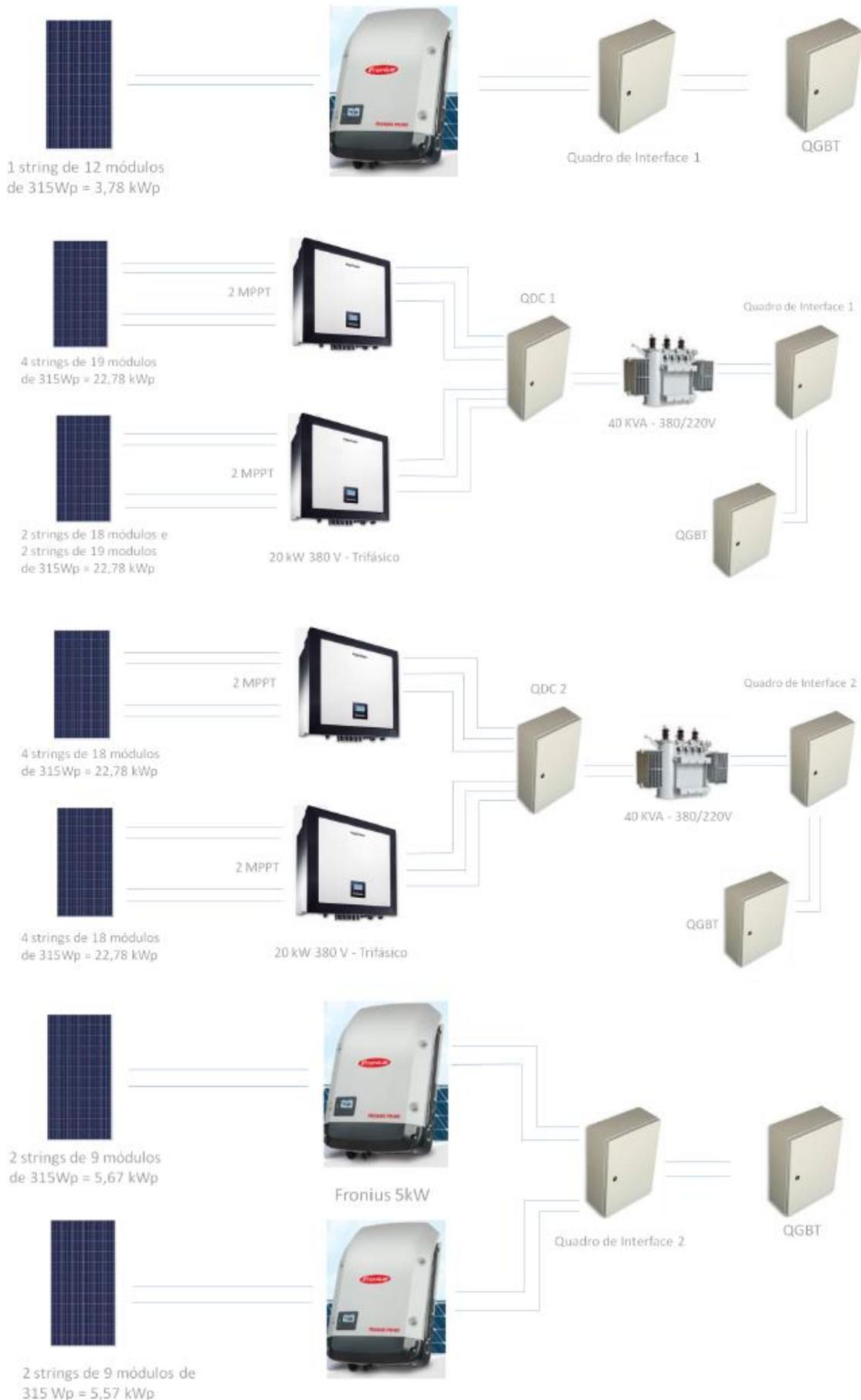


Figura 5 – Resumo da configuração elétrica da UFV BHTEC.

A Fig. 5 traz um resumo geral do arranjo da UFV BHTEC. As “strings” (arranjos de módulos em série) foram formadas de acordo com o local onde os módulos estavam distribuídos (uma área maior e mais duas torres estavam disponíveis, conforme pode ser visto na Fig. 6. A divisão dos inversores em QDCs (Quadros de Distribuição de Circuitos) foi realizada levando-se em conta a capacidade dos pontos de injeção (Quadros elétricos) existentes.

A Tab. 3 traz um resumo dos principais equipamentos utilizados. Demais detalhes de cabeamento, disjuntores, dispositivos de proteção contra surtos (DPS) e outros foram aqui omitidos. A UFV conta com proteções na parte cc (caixa com fusíveis e DPS). A inclinação de todos os módulos é de 10°, e o desvio azimutal, de 33° noroeste.

Tabela 3 – Equipamentos instalados na UFV.

Módulos Fotovoltaicos	340 módulos fotovoltaicos modelo Canadian Solar CS6U-315P, totalizando 107,1 kWp
Inversores	7 inversores, totalizando 93,8 kVA de potência, sendo: <ul style="list-style-type: none"> • 4x inversores Ingeteam modelo Ingecon Sun 20TLM; • 2x inversores Fronius modelo Primo 5.0-1, e • 1x inversor Fronius IG Plus 50V-1.
Transformadores	2 transformadores abaixadores 380V/220V de 40 kW cada

A Fig. 6 mostra uma visão aérea da UFV finalizada.



Figura 6 – UFV BHTEC instalada.

2.5 Comunicação Remota

Sendo a UFV composta por inversores de dois fabricantes diferentes, as interfaces de monitoramento remoto disponibilizadas pelos fabricantes são, à priori, incompatíveis entre si. Deste modo, foi conveniente a instalação de um sistema de monitoramento remoto que fosse capaz de integrar as informações de geração dos diferentes inversores em uma única plataforma, de forma que o cliente conseguisse “enxergar” toda sua usina em uma única interface *web*. Foi identificado um único sistema no Brasil que atendesse a esta necessidade de integração do monitoramento dos inversores. O “Box” da empresa Solar View (SolarView, 2017), integrou de maneira simples a geração da UFV BHTEC. A Fig. 7 mostra a interface *web* visível pelo cliente. São providas algumas informações adicionais como economia na fatura de energia proporcionada pela UFV, economia de CO₂ emitido à atmosfera, dentre outros.

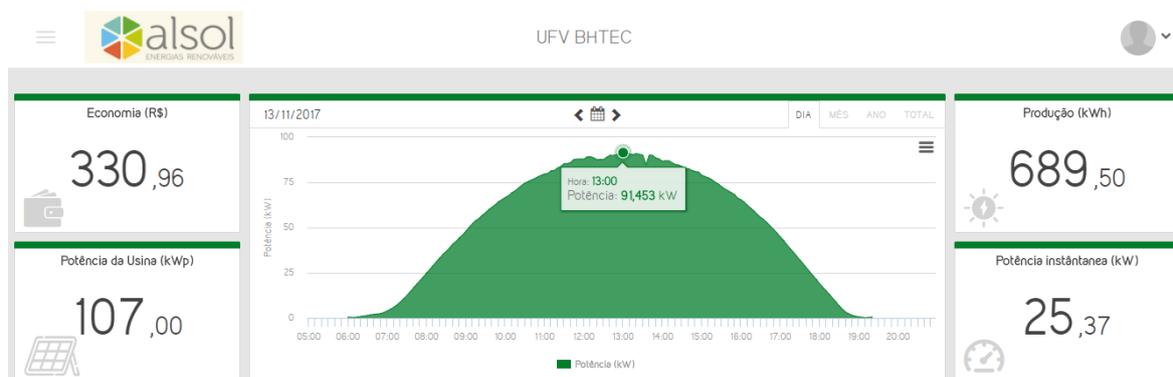


Figura 7 – Interface *web* para acompanhamento da geração do sistema.

3. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

3.1 Operação e Manutenção

A operação e manutenção da UFV estão a cargo da administração do BH TEC. A Alsol Energias Renováveis recomenda determinados procedimentos de manutenção e verificação de sistemas fotovoltaicos, que são classificados em preventivos e corretivos.

Os procedimentos de manutenção preventiva são: inspeção visual; verificação de torques de parafusos; imagens termográficas; limpeza dos sistemas FV. Os procedimentos de manutenção corretiva são: substituição de módulos FV danificados; medição de tensão e polaridade das strings; medição da resistência de isolamento das strings; crimpagem de conectores MC4; avaliação da integridade dos fusíveis CC; substituição de inversores com defeito; manutenção em quadros de junção e pontos de conexão com a edificação.

Por motivos de segurança e conservação do sistema fotovoltaico, recomenda-se ainda medidas que devem ser respeitadas: o sistema FV deve ser operado somente por pessoas devidamente treinadas e autorizadas; não pisar, caminhar ou depositar qualquer tipo de material em cima dos módulos fotovoltaicos; não realizar alterações nos arranjos dos módulos fotovoltaicos, quadros de junção, circuitos CC e CA que fujam das especificações dos projetos estrutural e elétrico da usina fotovoltaica; tomar os devidos cuidados para não danificar, durante as manutenções, componentes como módulos, eletrocalhas, inversores, quadros de junção e pontos de conexão com a edificação.

A manutenção mais comum em sistemas fotovoltaicos é a limpeza dos módulos. A frequência de limpeza não é facilmente determinável, sendo recomendado que seja feita após inspeção visual constatar nível de poeira considerável, ou quando a geração sofrer queda inesperada para o período. Perdas de geração devido a sujeira são da ordem de 3% a 6% por ano (Kimber et al., 2006).

Uma vez que a inclinação dos módulos fotovoltaicos da UFV BHTEC é de 10°, em períodos de chuvas, a limpeza ocorre naturalmente. Em períodos de seca a sujeira acumula-se, conforme visto na Fig. 8, e pode causar perda mais significativa de geração, sendo necessária realização de limpeza. Foram encontradas determinadas dificuldades para limpeza dos módulos. Primeiramente, não havia ponto de água instalado na cobertura do edifício. Segundo, mesmo após instalado o ponto, com o acúmulo da sujeira a limpeza se tornou dificultada, sendo necessária a utilização de lavadora de pressão ou produtos como esponja e sabão. Em terceiro lugar, a extensa área da usina torna a o processo de limpeza lento e desgastante.

A orientação dos módulos em paisagem reduz de certa maneira o efeito de perda de geração pelos módulos devido à sujeira acumulada e sombreamento, se comparado à montagem em retrato dos módulos. Uma vez que a sujeira/sombreamento atinge apenas um diodo de by pass, os 2/3 restantes de células do módulo acabam sendo muito menos afetados do que as fileiras inferiores do módulo, conforme ilustram as Fig. 8 e Fig. 9.



Figura 8: Regiões do módulo mais afetadas por sujeira e sombreamento nos módulos em orientação paisagem.

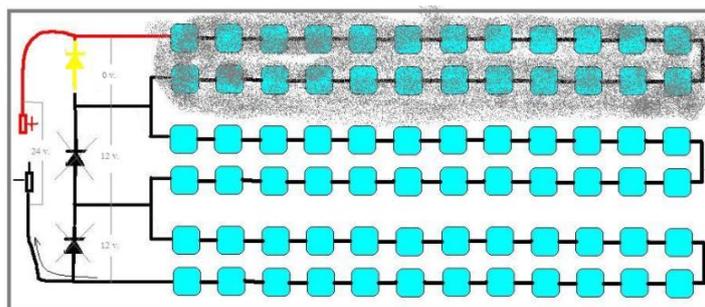


Figura 9: Atuação de apenas um diodo de by-pass das células afetadas pela sujeira e/ou sombreamento dos módulos em orientação paisagem.

4. PRIMEIROS RESULTADOS

4.1 Geração de energia

Esta seção traz os resultados de geração de usina no período de maio a outubro de 2017 (6 meses). A Tab. 4 mostra um comparativo da energia prevista (através de simulação) *versus* energia gerada conforme registrado pelos inversores do sistema.

Tabela 4: Energia prevista *versus* gerada pela UFV BHTEC

Mês	Energia prevista (kWh)	Energia gerada (kWh)	Diferença percentual
Maio	11985	12158	+ 1,44%
Junho	10734	11978	+ 11,59%
Julho	11763	11977	+ 1,82%
Agosto	13696	14133	+ 3,19%
Setembro	13528	14440	+ 6,74%
Outubro	15495	16322	+ 5,34%
TOTAL	77201	81008	+ 4,93%

Importante salientar que a energia efetivamente injetada na rede interna do edifício é a energia indicada pelos inversores descontada das perdas elétricas existentes no cabeamento e nos transformadores (estas são da ordem de 7%, segundo informações da empresa Alsol).

4.2 Comparativo do consumo antes e depois da UFV

O consumo de energia do edifício do BHTEC, no período após a instalação da UFV, foi comparados com o consumo do mesmo período do ano anterior (2016). A concessionária distribuidora local é a CEMIG, e o edifício é tarifado na modalidade verde, com pagamento de demanda contratada, energia ativa hora ponta e hora fora ponta e energia reativa, conforme mostra a Fig. 10.

Modalidade Tarifária
THS Verde A4

Valores Faturados			
Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço	Valor(R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	180	16,16205938	2.909,15
Energia Ativa kWh HFP/Único	24.500	0,43602457	10.682,52
Energia Ativa kWh HP	4.900	1,83214860	8.977,50
Energia Injetada FP/Único	2.100	0,43602457	-915,60
Energia Reativa kWh HFP/Único	1.400	0,36031885	504,44
Encargos/Cobranças			
Atualiz. Financ. Rest. - IGPM			-32,84
Contrib. Custeio Ilum. Pública			33,46
PAS/COF Demanda Não Utilizada			-17,51
ICMS Demanda não utilizada(BC -R\$ 985,88)			-246,47
Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar			
Bandeira Amarela			266,19
Bandeira Vermelha			931,71

Figura 10: Principais informações da fatura de energia do BHTEC referente ao mês de outubro.

A Tabela 5 traz um comparativo do consumo em 2016 (sem UFV) e 2017 (após ligação da UFV).

Tabela 5: Comparativo do consumo de energia sem e com a usina fotovoltaica.

Mês	Consumo em 2016 (kWh)		Consumo em 2017 (kWh)		Energia injetada em 2017 (kWh)	
	HFP	HP	HFP	HP	HFP	HP
Maio	31.500	3.500	22.400	2.800	1.400	0
Junho	30.800	3.500	18.200	4.900	2.100	0
Julho	36.400	3.500	20.300	4.200	2.100	0
Agosto	37.800	3.500	18.900	4.200	1.400	0
Setembro	36.400	2.800	20.300	4.200	2.100	0
Outubro	33.600	4.200	24.500	4.900	2.100	0

O mês de outubro pode ter maior consumo HP devido ao horário de verão. Não foi notada melhoria no consumo HP devido à instalação da UFV, havendo, na verdade, em geral, um certo aumento nestes valores de consumo, devido provavelmente a um maior consumo de energia no edifício no ano de 2017 se comparado ao ano de 2016.

Uma vez que a energia gerada pela usina não é suficiente para abater todo consumo do edifício, notam-se baixos valores de energia injetada HFP. Estes são injetados principalmente nos finais de semana. A energia injetada HP é sempre 0 (zero) uma vez que na microgeração distribuída, mesmo que a energia seja gerada na HP (17:00 às 20:00), para que seja abatida a energia gerada na HP, é necessário que a geração seja maior que o consumo na HFP. Somente após o consumo HFP ser quitado é que o consumo HP começa a ser abatida da geração.

O gráfico da Fig. 11 mostra a diferença no consumo HFP de energia mensal antes e após a UFV. Para tal, a energia injetada foi incluída como abatimento no consumo dos meses de 2017.

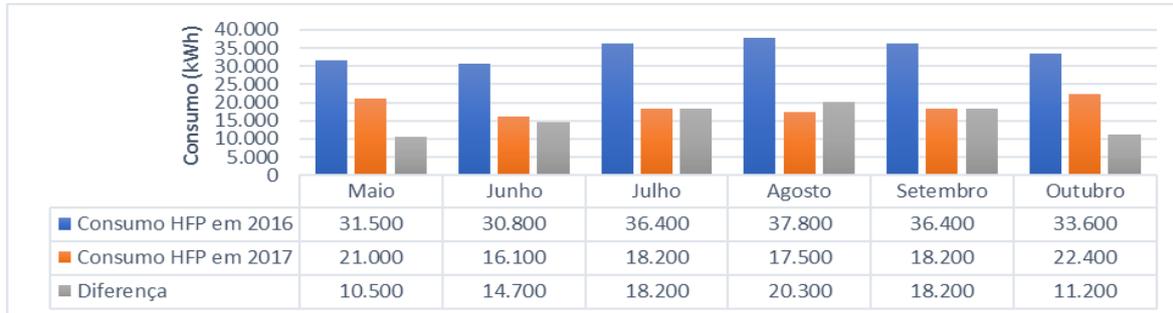


Figura 11: Comparativo do consumo antes e depois da instalação da UFV.

4.3 Consumo de energia reativa

As faturas de energia, após a instalação da UFV, passaram a apresentar em alguns meses uma certa quantidade de energia reativa, que é tarifada e gera custos adicionais, como pode ser visto na Fig. 10. Foi informado pela administração do BHTEC que este consumo de energia reativa não ocorria há mais de dois anos. A fim de se realizar uma primeira análise sobre esta situação, o trabalho de (Neto, 2016) pode dar luz à questão de maneira qualitativa.

(Neto, 2016) realiza a avaliação do comportamento do fator de potência de uma unidade consumidora do tipo comercial com presença de demanda de reativos indutivos e geração fotovoltaica. A Fig. 12 é uma curva de carga comercial típica, com presença de demanda por reativos e fator de potência (FP) da carga fixo em 0,92.

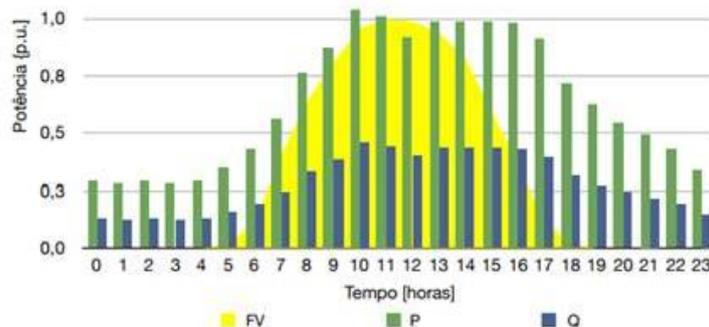


Figura 12 – Curva de carga comercial com demanda de reativos (FP da carga fixo em 0,92) e curva de geração fotovoltaica hipotética. Extraído de (Neto, 2016).

Ainda segundo (Neto, 2016), considerando a unidade consumidora comercial da Fig. 12, e que a UFV hipotética injeta apenas potência ativa (FP = 1) e está conectada às cargas da unidade consumidora (e não diretamente à rede da distribuidora), são ilustradas as alterações no FP desta unidade conforme mostrado na Fig. 13.

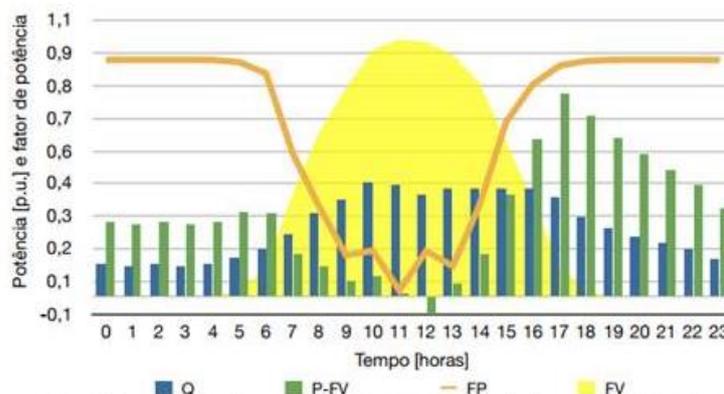


Figura 13 – Comportamento do FP de uma unidade comercial com geração fotovoltaica. Extraído de (Neto, 2016)

É nítido que o FP começa a reduzir e atinge valores abaixo de 0,92 assim que a geração fotovoltaica começa a injetar potência. Durante as horas de maior geração fotovoltaica, deixa de ser demandada potência ativa da rede, mas a demanda por reativos da rede mantém (uma vez que os equipamentos indutivos mantêm sua demanda por reativos).

Portanto, no caso da unidade consumidora BHTEC, a demanda de potência ativa da rede da CEMIG diminui (pois agora há uma injeção de potência ativa em paralelo, pela UFV), sem que diminua a potência reativa requerida da rede. Logo, após a instalação da UFV, a potência ativa fornecida pela rede diminuiu, e o consumo de potência reativa manteve-se constante. Assim, a relação entre potência ativa e potência reativa consumidas da rede por esta unidade consumidora diminuiu, reduzindo assim o FP desta unidade ao longo do mês, e provocando tarifa adicional.

Estudos adicionais para verificação quanto à necessidade de banco de capacitores para a UFV, ou ajuste do fator de potência dos inversores para trabalharem na faixa capacitiva se fazem ainda necessários.

4.4 Economia gerada

Por meio dos valores de energia gerada entre os meses de maio e outubro, e descontando as perdas elétricas devido à utilização dos transformadores de 7,4%, conforme simulação que utilizou dados de perdas fornecidos pelo fabricante, estima-se que a energia injetada na rede interna da BHTEC anual é de aproximadamente 150.600 kWh. Desta forma, a economia gerada pela UFV no primeiro ano será de R\$ 64.558,12, considerando uma tarifa de R\$ 0,44 para o posto tarifário fora de ponta.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho sintetizou as principais etapas realizadas para instalação da UFV BHTEC, apontando os principais pontos a serem observados e algumas dificuldades de cada etapa, servindo como um estudo orientativo para projetos futuros. Foram destacados certos aspectos como a necessidade de adequação da estrutura do telhado, a solução de monitoramento remoto da UFV, efeito da sujeira sobre os módulos e ainda uma análise preliminar do comportamento do fator de potência de unidades consumidoras com presença de cargas reativas e geração fotovoltaica. Este trabalho, portanto, colabora com estudantes, projetistas, investidores e demais atores no sentido de apresentar um resumo da implantação de um projeto de minigeração fotovoltaica de maneira didática, destacando dificuldades e soluções nas fases de projeto, implantação e operação de uma usina solar fotovoltaica.

Agradecimentos

Agradecimentos à empresa Alsol Energias Renováveis e à administração do Parque Tecnológico de Belo Horizonte – BHTEC – por cederem gentilmente as informações necessárias à elaboração deste. Trabalho desenvolvido no âmbito da Chamada Estratégica 21/2016 do Programa de P&D Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL.

REFERÊNCIAS

- A. Kimber, L. Mitchell, S. Nogradi, and H. Wenger, “The Effect of Soiling on Large Grid-Connected Photovoltaic Systems in California and the Southwest Region of the United States,” in Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, HI, 2006.
- A. F. C. P. Neto, Avaliação do Impacto de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede de Distribuição de Baixa Tensão, Tese de Doutorado, USP, 2016.
- A. M. Junior, Modelagem da Usina Fotovoltaica do Estádio do Mineirão para Estudos de Propagação Harmônica, Dissertação de Mestrado, UFMG, 2014.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Notícia disponível em http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/geracao-distribuida-ultrapassa-20-mil-conexoes/656877. Acessado em 24/01/2018.
- BHTEC – Site Institucional. Disponível em www.bhtec.org. Acessado em 10/11/2017.
- SolarView – Site Institucional. Disponível em www.solarview.com.br. Acessado em 10/11/2017.

UFV BHTEC – PROJECT, INSTALLATION AND FIRST RESULTS FROM DE PLANT LOCATED AT COMERCIAL TOWER IN BELO HORIZONTE

Abstract. The 107 kWp BHTEC Photovoltaic Power Station (PPS), located in a commercial building in the city of Belo Horizonte, is the result of a Federal Government bid, which came into operation in April 2017. This article brings a study from the premises of the bidding, through the difficulties encountered during the design, installation and operation phases and the first financial results of the UFV. Other aspects that can be further improved are also presented. The information and data used to prepare this work were kindly provided by the company which executed the project, Alsol Energias Renováveis and by BHTEC administration.

Key words: Mini-generation, Photovoltaic Power Station for Commercial Sector, Photovoltaic Power Station, Medium Voltage Photovoltaic Power Station