

# Avaliação de Variações de Tensão, Frequência e Fator de Potência na Subestação do IFSC Câmpus Florianópolis

Bruno S. Dupczak, Daniel Tenfen,  
Enio V. Kassick  
*Depto. Acadêmico de Eletrotécnica*  
*Instituto Federal de Santa Catarina*  
Florianópolis, Brasil  
bruno.dupczak@ifsc.edu.br

Pierry M. Reinaldo,  
Marcos R. Schmitt  
*Depto. Acadêmico de Eletrotécnica*  
*Instituto Federal de Santa Catarina*  
Florianópolis, Brasil  
pierrymoreno@gmail.com

Dyego de Campos, Kelly P. Duarte,  
Luís Felipe C. Rosa  
*Depto. Acadêmico de Eletrotécnica*  
*Instituto Federal de Santa Catarina*  
Florianópolis, Brasil  
dyego.campos@ifsc.edu.br

**Resumo**—Assegurar a qualidade da energia elétrica é garantir a comodidade e o desenvolvimento econômico de toda a sociedade. Para isso, é necessário evitar que problemas na tensão ou frequência do sistema de alimentação venham a prejudicar a operação adequada dos equipamentos eletrônicos. Assim, apresenta-se neste trabalho uma avaliação de alguns parâmetros relacionados a qualidade da energia no IFSC Câmpus Florianópolis, envolvendo a análise da tensão em regime permanente, flutuações de tensão, variações de tensão de curta duração (VTCDs), variações de frequência, bem como o fator de potência da instalação elétrica. As avaliações foram efetuadas com base em campanhas de medições, realizadas na subestação de energia da instituição, e considerando os indicadores propostos nas recomendações nacionais e internacionais.

**Palavras-chave**—Qualidade da Energia Elétrica, Campanha de Medições, Flutuação de Tensão, VTCD, Fator de Potência.

## I. INTRODUÇÃO

O Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) possui 22 câmpus instalados em diversas regiões do estado. O Câmpus Florianópolis é o maior deles, situado em uma área de 48 mil metros quadrados, onde são atendidos mais de 5 mil alunos, distribuídos em 47 cursos de diversos níveis de ensino.

Nos últimos anos, com o crescimento da infraestrutura da instituição, a demanda por energia elétrica tem aumentado significativamente. Isso ocorre principalmente devido à instalação de laboratórios de informática, máquinas e equipamentos didáticos para o ensino e aparelhos de condicionamento de ar. Além disso, a busca pela melhoria da eficiência energética da instalação, tem induzido a inserção da iluminação a LED para os ambientes, juntamente com a implantação de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica, que emprega inversores de tensão operando em alta frequência.

Tendo em vista a dependência cada vez maior dos equipamentos de tecnologia da informação e comunicação (TIC), é necessário que a energia elétrica seja fornecida com qualidade adequada, a fim de garantir o funcionamento correto destes dispositivos. Portanto, os valores de tensão e frequência de alimentação dos equipamentos, devem estar compreendidos dentro de valores pré-estabelecidos, além de não sofrerem

variações bruscas ao longo do tempo. Como forma de aproveitar ao máximo a energia elétrica adquirida, e evitar o desperdício de dinheiro público com o pagamento de multas e outros encargos, é pertinente o monitoramento e avaliação do fator de potência da instalação elétrica, buscando identificar o possível consumo excessivo de energia reativa.

Assim, a proposta deste trabalho é avaliar indicadores da qualidade da energia elétrica da instituição, relacionados ao valor da tensão em regime permanente, flutuações e variações de tensão de curta duração (VTCDs), variações de frequência e fator de potência. Para tanto, foram efetuadas medições do lado de baixa tensão da subestação do Câmpus, para a obtenção de dados que possam ser comparados com os indicadores do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST-8) [1].

## II. INSTALAÇÃO ELÉTRICA AVALIADA

A infraestrutura do IFSC é alimentada por uma subestação abrigada de 13,8 kV, com potência instalada de 1,7 MVA. Essa potência é distribuída entre três transformadores trifásicos a seco de 500 kVA (380/220 V) e um transformador a óleo de 200 kVA (220/127 V), conforme visto na Fig. 1. A subestação conta também com quatro quadros gerais de baixa tensão (QGBT-1.4), sendo que os QGBT-3 e QGBT-4 possuem banco de capacitores automatizados para a correção de fator de potência. Ao QGBT-4 estão conectados 70,2 kVA de módulos fotovoltaicos, provenientes do sistema de microgeração de energia do Câmpus. Os locais onde foram executadas as medições dos parâmetros de qualidade de energia, estão indicados na Fig. 1, correspondendo aos QGBT-2, 3 e 4. O QGBT-1 (associado ao transformador de 200 kVA) não foi considerado, pois está sendo desativado. As medições de tensões e correntes em cada QGBT foram efetuadas durante um período de sete dias consecutivos. As medições em cada quadro foram executadas em 2018, nos seguintes períodos: QGBT-4 (19/02 a 26/02), QGBT-3 (27/02 a 06/03) e QGBT-2 (07/03 a 14/03).

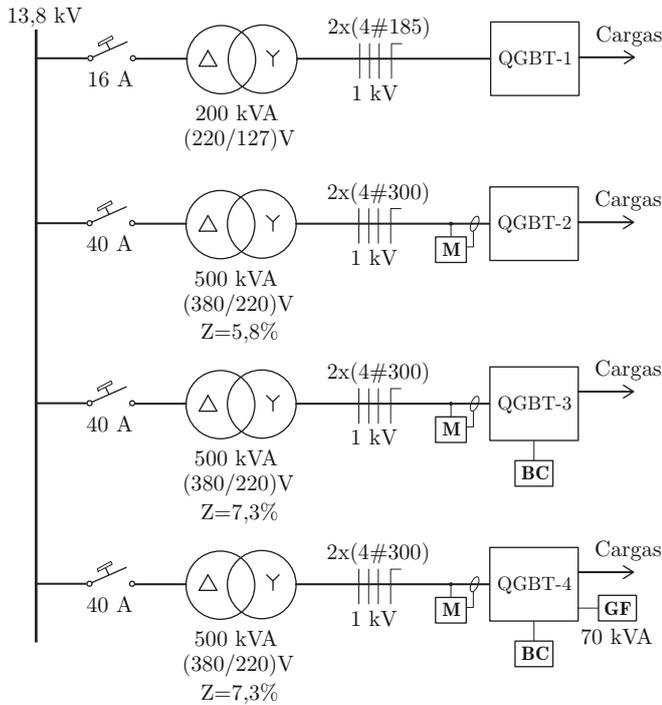


Fig. 1. Diagrama unifilar simplificado da subestação do IFSC Câmpus Florianópolis. As caixas com a letra M representam os locais onde foram realizadas as medições de tensões e correntes utilizadas no trabalho. A geração de energia fotovoltaica e os bancos de capacitores estão representados pelas caixas com as inscrições GF e BC, respectivamente.

### III. EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

Para a realização das medições na subestação do IFSC, utilizou-se o equipamento CW500 (*Power Quality Analyzer*) do fabricante Yokogawa [2]. Foram empregadas quatro sondas de tensões de 600 V (para medições de tensões entre fase e neutro) e quatro sondas de correntes flexíveis de 1.000 A (para medições das correntes de fase e de neutro). O equipamento e as respectivas sondas são apresentados na Fig. 2. Seguindo a prescrição apresentada em [1], o equipamento foi configurado para efetuar o registro de 1.008 (mil e oito) leituras válidas, obtidas em intervalos consecutivos de 10 minutos cada.



Fig. 2. Analisador de qualidade da energia empregado (Yokogawa CW500 - Classe S), com as respectivas sondas de medições de tensões e de correntes (Fonte: [2], adaptado).

### IV. TENSÃO EM REGIME PERMANENTE

Os valores eficazes de referência, para a tensão em regime permanente dos sistemas de distribuição, estão definidos no PRODIST-8 [1]. Além da tensão de referência, são estabelecidos também intervalos onde o valor da tensão é considerado adequado, precário ou crítico. No caso de um sistema com tensão de fase nominal de 220 V, o valor eficaz medido será considerado adequado se estiver situado entre 202 e 231 V. Valores entre 231 e 233 V, ou 191 e 202 V encontram-se na faixa de operação precária. Acima de 233 V ou abaixo de 191 V a tensão encontra-se na faixa crítica de operação.

Para a avaliação da tensão em regime permanente, considera-se o índice de transgressão para tensão precária (DRP) e para tensão crítica (DRC), conforme as expressões em (1). Os indicadores DRP e DRC são calculados a partir de um conjunto de 1.008 amostras ( $N_a$ ), sendo que  $nlp$  e  $nlc$  correspondem ao maior número de amostras nas faixas precárias e críticas, respectivamente, quantificadas para cada uma das três fases do sistema em estudo. Conforme [1], o limite do indicador DRP é de 3% e do DRC é de 0,5%.

$$DRP[\%] = \frac{nlp}{N_a} \cdot 100 \quad DRC[\%] = \frac{nlc}{N_a} \cdot 100 \quad (1)$$

Considerando os dados obtidos na campanha de medições, apresenta-se na Fig. 3 os valores eficazes das tensões de fase, registrados para cada QGBT. Observa-se na Fig. 3 que, para todos os QGBTs, o valor da tensão em regime situa-se frequentemente na faixa de operação precária. Inclusive, na fase c ( $V_{c,ef}$ ), são identificadas ocorrências de transgressões para a faixa crítica superior. Portanto, fica evidente que na média ( $V_{f,md}$ ) a tensão em regime permanente da instalação elétrica apresenta valores acima do valor de referência, estando grande parte do tempo fora do intervalo adequado de funcionamento.

De uma forma quantitativa, na Tabela I verifica-se um elevado número de transgressões para as faixas de operação precária e crítica, resultando em indicadores DRP e DRC significativamente superiores aos valores recomendados pelo PRODIST-8. Por sua vez, estas informações podem justificar as reclamações relacionadas ao dano permanente em equipamentos eletroeletrônicos, presentes em setores próximos à subestação da instituição.

TABELA I  
ÍNDICES DE TRANSGRESSÃO PARA TENSÃO PRECÁRIA (DRP) E PARA TENSÃO CRÍTICA (DRC), OBTIDOS PARA CADA QGBT.

QGBT	$V_{f,md}$	$nlp$	$nlc$	DRP	DRC
2	229,9 V	251	0	45,1%	32,8%
	230,6 V	399	45		
	232,2 V	455	331		
3	230,2 V	274	8	52,1%	22,1%
	230,5 V	347	20		
	231,9 V	525	223		
4	230,0 V	336	18	40,8%	23,4%
	229,4 V	281	35		
	231,7 V	411	236		

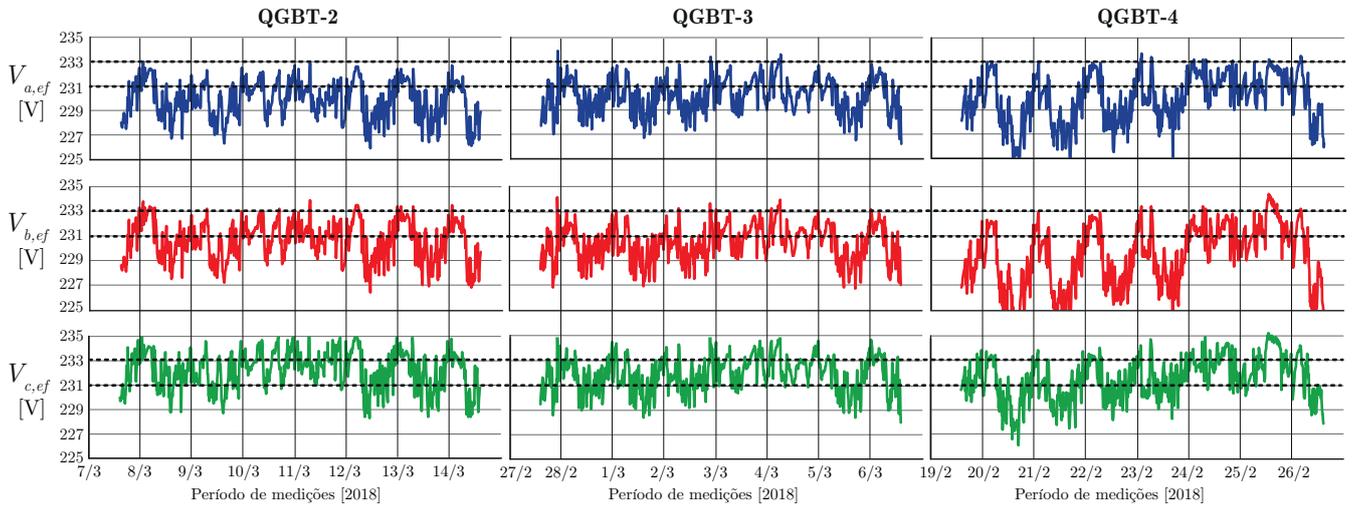


Fig. 3. Valores eficazes das tensões de fase ( $V_{a,ef}$ ,  $V_{b,ef}$ ,  $V_{c,ef}$ ) de cada QGBT. Os dados apresentados foram obtidos durante sete dias de medições. As linhas tracejadas indicam o início da faixa de operação precária (231 V) e crítica (233 V), para uma rede cuja tensão nominal de fase é de 220 V.

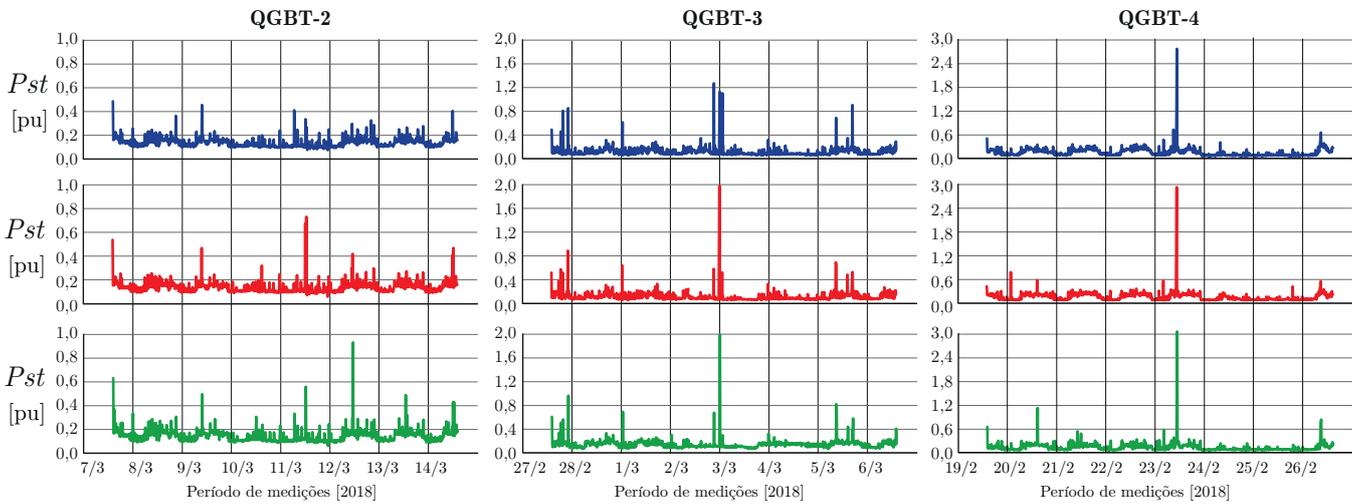


Fig. 4. Medidas de severidade de flutuação de tensão de curta duração ( $Pst$ ) de cada QGBT. Os dados apresentados foram obtidos a cada dez minutos, durante sete dias de medições. Os valores percentis de 95% ( $Pst_{95\%}$ ) para cada fase, são apresentados na Tabela II.

## V. FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

Flutuação de tensão é um parâmetro de qualidade da energia elétrica, relacionado a ocorrência de oscilações de baixa frequência na amplitude da tensão, sendo que, em sistemas de iluminação, causa efeitos visuais indesejados. A cintilação luminosa (*flicker*) está associada a sensibilidade do olho humano em perceber a ocorrência de variações de luminosidade com frequência até 30 Hz, cuja máxima sensibilidade ocorre na frequência de 8,8 Hz. Por sua vez, o efeito fisiológico do cintilamento no ser humano é causar fadiga, redução do nível de concentração, desconforto visual e irritabilidade [3].

Em sistemas de distribuição, normalmente a ocorrência de flutuações de tensão é devido a existência de grandes unidades consumidoras, tais como siderúrgicas com fornos a arco ou indústrias que possuem cargas com elevado consumo de energia reativa. Por outro lado, dentro de plantas industriais, a

presença de flutuações de tensão está relacionada a cargas que operam ciclicamente, como compressores de ar, máquinas de solda, prensas, elevadores, entre outros. Neste caso, variações na corrente de alimentação desses equipamentos podem provocar uma alteração periódica da tensão no ponto de conexão, criando um problema que não está associado ao fornecimento de energia pela concessionária local.

A avaliação do incômodo visual, relacionados à flutuação de tensão, é quantificado no PRODIST-8 por meio dos indicadores  $Pst$  (severidade de flutuação de tensão de curta duração) e  $Plt$  (severidade de flutuação de tensão de longa duração). O indicador  $Pst$ , verificado para cada período contínuo de dez minutos, é o resultado de complexo processo computacional [4], que envolve a modelagem da percepção visual humana, juntamente com uma análise estatística em tempo real. O método para detectar as flutuações de tensão e gerar o indicador  $Pst$  é proposto na IEC 61000-4-15 [5]. A partir

TABELA II

VALORES DE  $Pst$  E  $Plt$ , OBTIDOS PARA CADA FASE DOS QGBTS.

QGBT	$Pst$ [pu]			$Plt$ [pu]		
	Mín.	Máx.	P95%	Mín.	Máx.	P95%
2	0,07	0,49	0,20	0,10	0,24	0,19
	0,06	0,73	0,22	0,10	0,38	0,21
	0,06	0,93	0,22	0,09	0,41	0,24
3	0,06	1,27	0,21	0,07	0,6	0,27
	0,05	4,85	0,22	0,07	2,07	0,27
	0,07	4,49	0,22	0,09	1,09	0,27
4	0,06	2,77	0,31	0,80	1,19	0,28
	0,07	2,93	0,29	0,80	1,25	0,27
	0,60	3,06	0,26	0,08	1,30	0,26

$$FI = \frac{\sum_{i=A}^I f_{e,i} \cdot f_{p,i}}{FI_{base}} \quad (2)$$

de doze amostras consecutivas de  $Pst$  obtém-se o valor de  $Plt$  (conforme a equação prevista em [1], [5]), representando a severidade da cintilação em um período de duas horas.

Para a instalação elétrica em estudo, os valores de  $Pst$  registrados ao logo da campanha de medições estão representados na Fig. 4. Observa-se que este indicador mantém-se a maior parte do tempo abaixo de 1 pu, com algumas ocorrências acima deste limite nos QGBTs 3 e 4. De toda forma, a avaliação deste parâmetro de qualidade da energia, frente ao PRODIST-8, deve considerar o valor percentil de 95% ( $Pst_{95\%}$ ) que representa o conjunto de dados obtido durante as medições. Assim, conforme a Tabela II, em todos os QGBTs foram obtidos valores de  $Pst_{95\%}$  inferiores a 1 pu, que corresponde ao valor máximo sugerido pelo PRODIST-8 para sistemas de distribuição com tensão até 1 kV. No caso do indicador  $Plt_{95\%}$ , o PRODIST-8 não sugere valores de referência a serem respeitados. Contudo, segundo [6], o limite previsto para o  $Plt$  seria de 0,65 pu, indicando que neste quesito a instalação elétrica do IFSC está em conformidade.

## VI. VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO

Os eventos de variação de tensão de curta duração (VTCD) correspondem a situações transitórias de interrupção, afundamento ou elevação da tensão de alimentação, em relação ao valor eficaz nominal. Os eventos de VTCDs são denominados momentâneos, quando a duração é de no máximo três segundos, ou temporários, quando persistem entre três segundos e três minutos [1]. Conforme a metodologia apresentada no PRODIST-8, os eventos de VTCDs podem ser classificados em nove regiões de sensibilidade, visando correlacionar a importância de cada evento com os níveis de sensibilidade das diferentes cargas conectadas ao sistema de distribuição.

Para a caracterização da severidade da incidência de eventos de VTCD, é definido o Fator de Impacto ( $FI$ ), conforme a expressão (2). Neste caso, deve-se ter o conhecimento da quantidade de eventos registrados em um período de trinta dias, para cada região de sensibilidade ( $f_{e,i}$ ), os quais apresentam uma ponderação específica ( $f_{p,i}$ ) prevista em [1]. Em (2) considera-se também um valor de referência ( $FI_{base}$ ) que vale 2,13 para sistemas com tensão acima de 1 kV e inferiores a 69 kV, ou 1,42 para redes com tensão entre 69 e 230 kV.

Tendo em vista que [1] não estabelece valores de referência para sistemas de distribuição de baixa tensão (inferior a 1 kV), a avaliação de VTCDs neste trabalho irá se limitar a classificar os eventos registrados frente as regiões de sensibilidade. Durante as medições, o equipamento registrou os eventos apresentados na Tabela III.

No caso dos eventos #1 e #2, estes ocorreram no mesmo ponto de medição e de forma consecutiva (tempo entre eles inferior a três minutos). Segundo o PRODIST-8, estes eventos devem ser agregados, compondo um evento único #1-2 (agregação temporal). Esse fato ocorre também para os eventos #4 e #5 (originando o evento agregado #4-5).

Para verificar a influência dos eventos no funcionamento de equipamentos de tecnologia da informação, avaliou-se a severidade dos VTCDs registrados em relação a curva ITIC, conforme exibido na Fig. 5. A curva ITIC [7] serve como guia para o projeto de fontes de alimentação empregadas em computadores e demais dispositivos eletroeletrônicos, visando assegurar o funcionamento adequado dos equipamentos frente a certas condições da tensão da rede. Observa-se na Fig. 5 que os eventos #1-2 (interrupção) e #3 (afundamento) certamente afetaram a operação dos equipamentos dentro do IFSC.

TABELA III  
EVENTOS DE VTCDs REGISTRADOS PARA CADA QGBT.

Evento	QGBT	Data	Duração	Amplitude	Tipo	Região
#1	3	27/02	3,00 s	0,00 pu	Interrupção	F
#2	3	27/02	7,94 s	0,00 pu	Interrupção	F
#3	3	02/03	160 ms	0,54 pu	Afundamento	D
#4	4	20/02	42,1 ms	0,89 pu	Afundamento	A
#5	4	20/02	50,4 ms	0,85 pu	Afundamento	A
#6	4	23/02	496 ms	0,81 pu	Afundamento	A

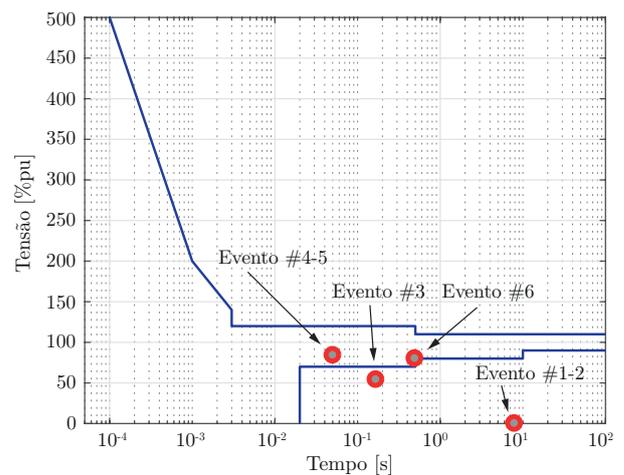


Fig. 5. Representação dos eventos de VTCDs registrados nas medições em relação a curva ITIC.

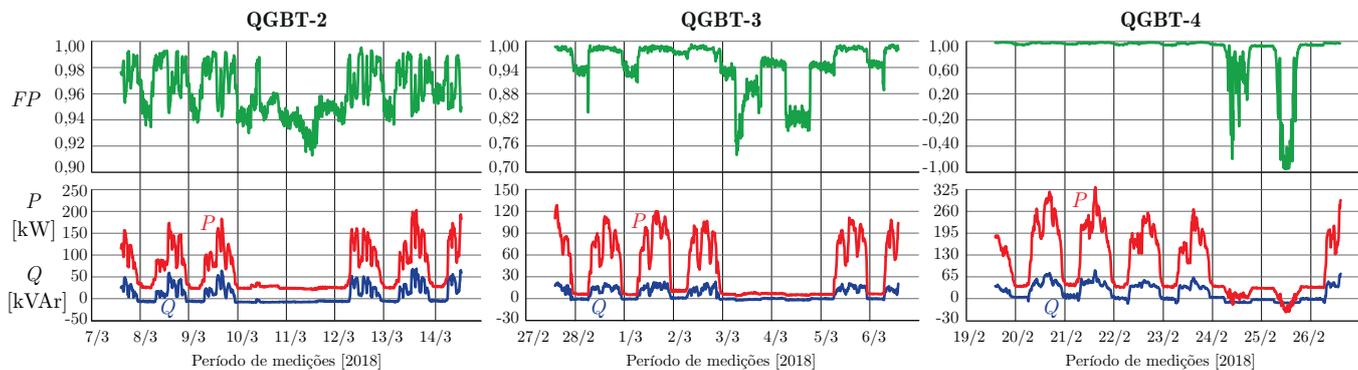


Fig. 6. Comportamento do fator de potência (FP) e das potências ativa ( $P$ ) e reativa ( $Q$ ) de cada QGBT durante os períodos de medições. Observa-se no QGBT-4 a ocorrência de  $P$  e FP negativos, indicando que a instalação está injetando potência ativa na rede elétrica.

## VII. FATOR DE POTÊNCIA

A Resolução Normativa 414 da ANEEL define fator de potência como a “razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas ativa e reativa, consumidas num mesmo período especificado”. A resolução estabelece também a exigência de medição permanente do fator de potência pelas concessionárias, para fins de cobrança, das unidades consumidoras do Grupo A (indústrias). Neste caso, o fator de potência, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido o valor de 0,92. Caso estes limites sejam ultrapassados, as unidades consumidoras ficam sujeitas à cobrança referente aos excedentes de energia e demanda de potência reativa. Já as unidades consumidoras do Grupo B (residências), não podem ser cobradas pelo baixo fator de potência originado do excedente de reativos [8].

A avaliação do fator de potência da instalação elétrica também é previsto no PRODIST-8 [1]. O valor do fator de potência deve ser calculado a partir dos valores registrados das potências ativa e reativa ( $P$ ,  $Q$ ) ou das respectivas energias ( $E_A$ ,  $E_R$ ), conforme as equações em (3).

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad fp = \frac{E_A}{\sqrt{E_A^2 + E_R^2}} \quad (3)$$

O cálculo da energia e da demanda de potência reativa excedente, são apurados em intervalos de 1 hora. Em um período de 6 horas consecutivas, escolhido por cada distribuidora entre 23h30 e 6h30, serão consideradas apenas as violações em que o fator de potência for inferior a 0,92 capacitivo. Para os demais períodos, somente serão considerados para fins de penalidade, os valores de fator de potência inferior a 0,92 indutivo. No caso da Celesc, é utilizado o período das 23h30 às 05h30. Para unidades consumidoras que não possuam equipamentos de medição que permitam a aplicação das fórmulas em (3), os valores referentes à energia elétrica e demanda de potência reativa excedente são calculados com base no fator de potência indutivo médio da unidade consumidora, calculado para o período de faturamento mensal [8].

A partir dos dados coletados na instituição, verifica-se na Fig. 6 que, para as medições de fator potência, existe a ocorrência de violações ao valor limite de 0,92 em todos

os QGBTs. Contudo, uma avaliação conjunta com os dados de potência dos quadros (curvas  $P$  e  $Q$  da Fig. 6) mostra que essas violações ocorrem no final de semana, com valores baixos de potência ativa e reativa. Além do mais, a potência reativa existente resulta em um fator de potência capacitivo, ocorrendo em horários posteriores a 7h da manhã. Dessa forma, as violações registradas não acarretam penalidades para a instituição frente a concessionária de energia.

Observa-se também na Fig. 6, a ocorrência de fator de potência negativo no QGBT-4 durante o final de semana. Tendo em vista o método de cálculo previsto em (3), isso é possível caso seja registrada potência ativa negativa, indicando a injeção de energia na rede. Verifica-se pela curva  $P$  do QGBT-4 que isso de fato ocorre, e é causado pelo sistema de microgeração fotovoltaica do IFSC. Assim, constata-se que em alguns momentos durante os finais de semana, o sistema fotovoltaico estava gerando mais energia do que a demanda da instituição.

## VIII. VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA

Segundo o PRODIST-8, a frequência da rede elétrica, em condições normais de operação e em regime permanente, deve operar entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. Quando houver distúrbios, as instalações de geração devem garantir que a frequência retorne para a faixa entre 59,5 Hz a 60,5 Hz em até 30 segundos, de maneira a recuperar o equilíbrio entre carga e geração [1].

Na Tabela IV, apresentam-se dados referentes ao comportamento da frequência da rede elétrica. Constata-se que para todos os QGBTs, a frequência da tensão de alimentação manteve-se dentro dos limites estabelecidos por [1], durante toda a campanha de medições.

## IX. CONCLUSÕES

O estudo de qualidade da energia, na subestação do IFSC, mostra que o valor eficaz da tensão em regime permanente merece atenção, por parte da equipe de manutenção da instituição. Conforme os dados levantados, a tensão em todos os QGBTs está frequentemente acima do valor considerado como adequado pelo PRODIST-8. Tendo em vista a disponibilidade de ajuste nos transformadores, poderia se pensar em alterar os

TABELA IV  
VALORES MEDIDOS DA FREQUÊNCIA DA TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO DA  
INSTALAÇÃO ELÉTRICA.

QGBT	Máximo [Hz]	Médio [Hz]	Mínimo [Hz]
2	60,09	60,00	59,92
3	60,09	60,00	59,93
4	60,07	60,00	59,90

*taps* de conexão no lado primário, a fim de reduzir a tensão no lado secundário. Contudo, esta alteração pode acarretar em um problema oposto, onde a tensão nos locais mais distantes da subestação estarão abaixo do valor adequado. Dessa forma, já existem estudos da instituição para a construção de uma nova subestação, buscando de aproximá-la dos centros de carga mais distantes da subestação existente. Assim, ao mesmo tempo que se amplia a potência instalada do IFSC, visando o fornecimento de energia para novos edifícios, proporciona-se também a adequação dos valores de tensão em regime.

Em face da expansão da instituição e da crescente demanda por energia elétrica, torna-se necessário a avaliação periódica dos indicadores de qualidade, visando manter a segurança e a operação adequada dos equipamentos eletroeletrônicos.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação de Engenharia do IFSC Câmpus Florianópolis (COENG), em especial ao engenheiro Flávio M. Schmidt, pelo suporte técnico na realização das medições na subestação da instituição. Os autores agradecem também a Yokogawa do Brasil e OKK Soluções Tecnológicas, pelo empréstimo do equipamento CW500, empregado no levantamento dos dados utilizados neste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL, *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, Rev. 10*, <http://www.aneel.gov.br/modulo-8>, 2018.
- [2] Yokogawa, *CW500 Power Quality Analyzer - Getting Started Guide*, <https://cdn.tmi.yokogawa.com/IMCW500-02EN.pdf>, 2017.
- [3] R. C. DUGAN, *Electrical Power Systems Quality*, 2nd ed. McGraw-Hill, 2003.
- [4] J. R. Macedo, G. P. Colnago, and G. D. Sousa, “Modelagem, construção e análise de desempenho do flickermeter IEC,” *Revista Controle & Automação*, vol. 22, no. 2, pp. 118–133, Abril 2011.
- [5] IEC, “Testing and measurement techniques (flickermeter) — functional and design specifications,” *Electromagnetic compatibility (EMC) — IEC 61000-4-15*, 2010.
- [6] —, “Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current  $\leq 16$  A per phase and not subject to conditional connection,” *Electromagnetic compatibility (EMC) — IEC 61000-3-3*, 2013.
- [7] T. V. Menezes, “Estratégia para análise de afundamento de tensão no planejamento do sistema elétrico.” Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, MG, 2007.
- [8] ANEEL, *Resolução normativa 414, de 9 de setembro de 2010*, <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>, 2010.