

Comitê de Estudo B3

PS2 – Novas formas de pensar projetos de subestações e seus desenvolvimentos

Alteração da tecnologia e configuração da subestação de manobra em 500 kV da UHE Sinop – Uma abordagem comparativa técnico-econômica

Cícero José Alberton (*)
Construtora Triunfo

Leandro Borges
ABB

Bekim Tahiri
ABB

Rafael Castilha
Intertechne

BRASIL

RESUMO

No segundo semestre de 2013, a Usina Hidrelétrica Sinop foi arrematada, através do Leilão de Energia Nova A-5 da ANEEL nº 06/2013, pela Companhia Energética Sinop (CES), que, por sua vez, celebrou junto à Construtora Triunfo S.A. contrato para implantação integral em regime turn-key (eletromecânico e civil) das obras e fornecimentos completos do referido empreendimento. Este aproveitamento acrescentará 400 MW de potência instalada, com 239,8 MW médios de garantia física ao sistema interligado nacional.

No tocante aos sistemas de transmissão de uso restrito de empreendimentos de geração, tem-se que as avaliações técnicas das conexões elétricas dos mesmos, para a sua integração à Rede Básica, têm como objetivo: identificar a alternativa de integração considerada técnica, econômica e socioambientalmente mais atrativa; definir os requisitos técnicos necessários que permitam o escoamento da energia a ser produzida pela usina; e estabelecer as ampliações e eventuais reforços no Sistema Interligado Nacional – SIN, decorrentes. Estas análises são elaboradas com base no documento EPE-DEE-RE-001/2005-R1 – “Critérios e Procedimentos para o Planejamento da Expansão dos Sistemas de Transmissão”, de 16 de maio de 2005 [1].

De forma particular ao aproveitamento de Sinop, o documento EPE-DEE-RE-047/2013-rev0 - Sistema de Conexão Elétrica dos Empreendimentos de Geração Hidrelétrica [2], estabelecia previamente que a conexão desta usina ao SIN deverá ser conectada ao barramento de 500 kV da subestação Cláudia, da Rede Básica, através de uma linha de transmissão circuito simples em 500 kV com extensão aproximada de 16 km, saindo de uma subestação de manobra 500 kV, arranjo disjuntor e meio adjacente à casa de força da usina.

Dada a importância do empreendimento e, face a necessidade de se obter confiabilidade na transmissão, mitigar riscos cronológicos e construtivos e, ao mesmo tempo, manter a performance financeira inerente aos custos previstos de fornecimentos e construção, a Construtora Triunfo S.A., com apoio técnico da ABB Ltda, buscou o desenvolvimento de uma solução técnica diferenciada em relação aos estudos iniciais do empreendimento, que redundou na proposição de se implementar uma subestação de manobra isolada em SF6 (GIS) na própria casa de força projetada para a usina.

Este trabalho irá apresentar em detalhes os aspectos que delinearão a solução técnica final, indicando principalmente as comparações técnicas e financeiras específicas ao empreendimento para que a decisão de se alterar a solução fosse tomada com certeza e confiabilidade pelas partes envolvidas. Em complemento, também será demonstrada a performance sistêmica do arranjo proposto para a UHE Sinop, comparativamente aos demais arranjos possíveis para a subestação de manobra do

empreendimento, tanto para soluções GIS quanto para soluções AIS, demonstrando a importância e significância do cálculo de confiabilidade como um fator-chave para a avaliação técnico-econômica de soluções de subestações.

PALAVRAS CHAVE

Subestação isolada a gás (GIS) - Otimização técnica-comercial - Manobra de usinas hidrelétricas - Confiabilidade - Disponibilidade

(*) Cícero José Alberton – email: cicero.alberton@grupotriunfo.com.br – Construtora Triunfo S.A. – Rodovia BR 116 km 395 – 2651 – Curitiba – PR – Brasil

INTRODUÇÃO

As subestações de energia, especialmente aquelas que possuem seus terminais conectados à rede básica do SIN, vêm sendo objeto de constantes questionamentos e discussões principalmente no que se refere ao tipo construtivo de subestação a ser especificado para cada aplicação, ou seja, subestações convencionais, compactas ou híbridas. Estas três categorias de SE, especificadas pela Eletrobrás [3], possuem características distintas (custos de aplicação, dimensões físicas, confiabilidade e disponibilidade, flexibilidade, segurança, operação, manutenção, etc) que merecem ser identificadas e analisadas para que a escolha de qual delas especificar seja realizada de forma robusta e satisfatória.

Os referidos questionamentos e aberturas de discussões sobre o assunto, estão pautados, principalmente, na verificação do envelhecimento e obsolescência das subestações convencionais, cujo meio dielétrico de isolamento é o próprio ar ambiente, implantadas no sistema elétrico brasileiro desde a década de 70 e, portanto, com mais de 40 anos de operação. A grande maioria destas aplicações, invariavelmente responsáveis pela alimentação de importantes centros urbanos, requerem um grau de confiabilidade e qualidade de fornecimento de energia incompatíveis com equipamentos obsoletos, sujeito a falhas, carentes de peças de reposição devido ao fim do ciclo de vida útil dos mesmos e com a necessidade constante de intervenções para manutenção.

No sentido de suprir as dificuldades e carências conhecidas das subestações convencionais isoladas a ar (AIS), nas últimas décadas vêm se difundindo com relevância no Brasil a aplicação das subestações isoladas a gás SF₆ (GIS). Tal tecnologia caracteriza-se pela otimização de espaço em função do agrupamento e compactação dos seus componentes em módulos encapsulados no referido gás. A característica construtiva das GIS permite não somente a otimização dos espaços físicos de implantação, mas trazem também outras vantagens quando comparada a AIS, entre as quais destacam-se: otimização das linhas, flexibilidade de selecionar o lugar da SE aproximando a mesma ao centro de carga em questão, maior segurança e simplicidade na operação, menores custos de operação e manutenção, menores tempos de montagem e ensaios em campo, maiores índices de confiabilidade e disponibilidade, menores riscos de fenômenos dielétricos indesejados e frequência de manutenção minimizada com ciclo de vida útil prolongado.

Entretanto, apesar das conhecidas vantagens técnicas da tecnologia GIS, os custos de aplicação, quando se faz a comparação minimalista de equipamentos AIS *versus* equipamentos GIS, passam a inviabilizar a sua utilização.

Quando a análise é focada somente para as subestações de manobra (tensão de entrada igual a tensão de saída) associadas a centrais hidrelétricas, observa-se que, tradicionalmente, a tecnologia GIS foi

utilizada, na grande maioria das vezes, em mega empreendimentos com quatro ou mais unidades geradoras, onde, desde o princípio do desenvolvimento de seus estudos de viabilidade previu-se uma galeria elétrica específica para abrigar o conjunto de equipamentos GIS na casa de força da usina. Nestes empreendimentos de maior porte, a relação custo benefício é mais facilmente mensurada e perceptível.

Este trabalho demonstrará a viabilidade técnica e econômica da aplicação da solução GIS para a SE de manobra da UHE Sinop que, apesar do volume considerável de energia que será gerada, possui apenas duas unidades geradoras e, em nenhum momento, teve sua estrutura civil de casa de força planejada para receber a solução através de galeria abrigada dedicada.

SOLUÇÃO TÉCNICA – SUBESTAÇÃO 500 kV – UHE SINOP

A Usina Hidrelétrica Sinop, é parte integrante da divisão de queda do rio Teles Pires, composta por 5 aproveitamentos (UHE Magessi, UHE Sinop, UHE Colíder, UHE Teles Pires e UHE São Manoel), que, em conjunto com a UHE Foz do Apiacás, somam uma potência instalada de 3.697 MW, de acordo com os Estudos de Inventário.

Os estudos de viabilidade técnica e econômica desenvolvidos inicialmente para o empreendimento em 2010, sugeriam a implementação de 3 unidades geradoras com potência nominal de 136 MW, perfazendo os 400 MW de potência total instalada. Com o objetivo de otimizar a solução e viabilizar economicamente o empreendimento, o grupo técnico capitaneado pela Construtora Triunfo propôs a aplicação de apenas 2 unidades geradoras com turbinas Kaplan de grande porte, atendendo, da mesma forma os requisitos energéticos impostos pelo poder concedente para o empreendimento.

De modo particular ao sistema de transmissão de uso restrito da UHE, especialmente no que tange a sua subestação de manobra, inicialmente, na etapa de Projeto Básico, em atendimento ao documento EPE-DEE-RE-047/2013-rev0 [2], foi proposto o arranjo demonstrado na Figura 1, com tecnologia AIS

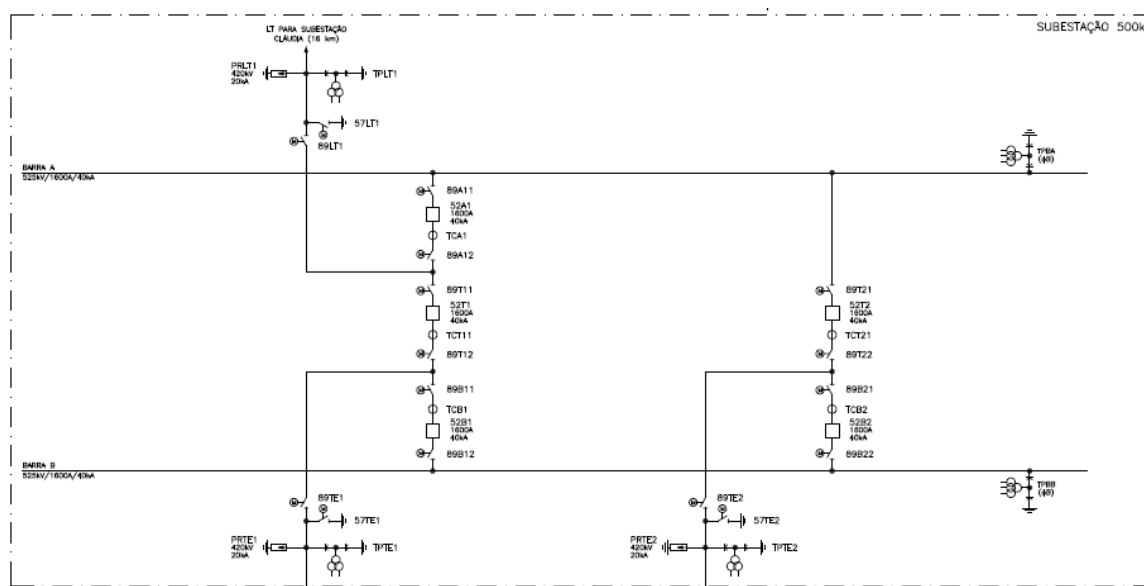


Figura 1. Unifilar SE 500 kV UHE Sinop (AIS) –Projeto Básico (Barra Dupla c/ disjuntor e meio)

Na busca de novas otimizações para o empreendimento que permitissem ganhos técnicos durante a fase construtiva, mas, especialmente à futura etapa de operação e manutenção da UHE, a Construtora

Triunfo, apoiada pelo fabricante ABB e pela projetista INTERTECHNE, vislumbrou uma solução de subestação de manobra GIS, mesmo não havendo referências relevantes em aplicações em usinas hidrelétricas com este nível de potência instalada e tão pequeno número de unidades geradoras.

Os primeiros aspectos a serem observados para a definição da solução são aqueles contidos no submódulo 2.3 do ONS – Requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos [4]. Em seu item 6.1.1, o referido documento define que, para subestações conectadas à rede básica em tensão igual ou superior à 345 kV, o arranjo deverá ser barra dupla com disjuntor e meio. No entanto, o item 6.1.2 do mesmo documento estabelece a possibilidade de utilização de barramentos alternativos com tecnologia de isolamento em SF₆, desde que sejam comprovados por meio de estudos de confiabilidade, desempenho igual ou superior ao dos arranjos originalmente definidos.

Assim, respeitando o indicado no item 6.1.2 do submódulo 2.3, e tendo a garantia da superioridade dos requisitos de confiabilidade que serão demonstrados na sequência deste trabalho, o grupo atuante no empreendimento propôs um arranjo simplificado para a subestação de manobra da UHE Sinop, utilizando tecnologia GIS com configuração barra dupla a 3 chaves, conforme demonstrado no diagrama da Figura 2.

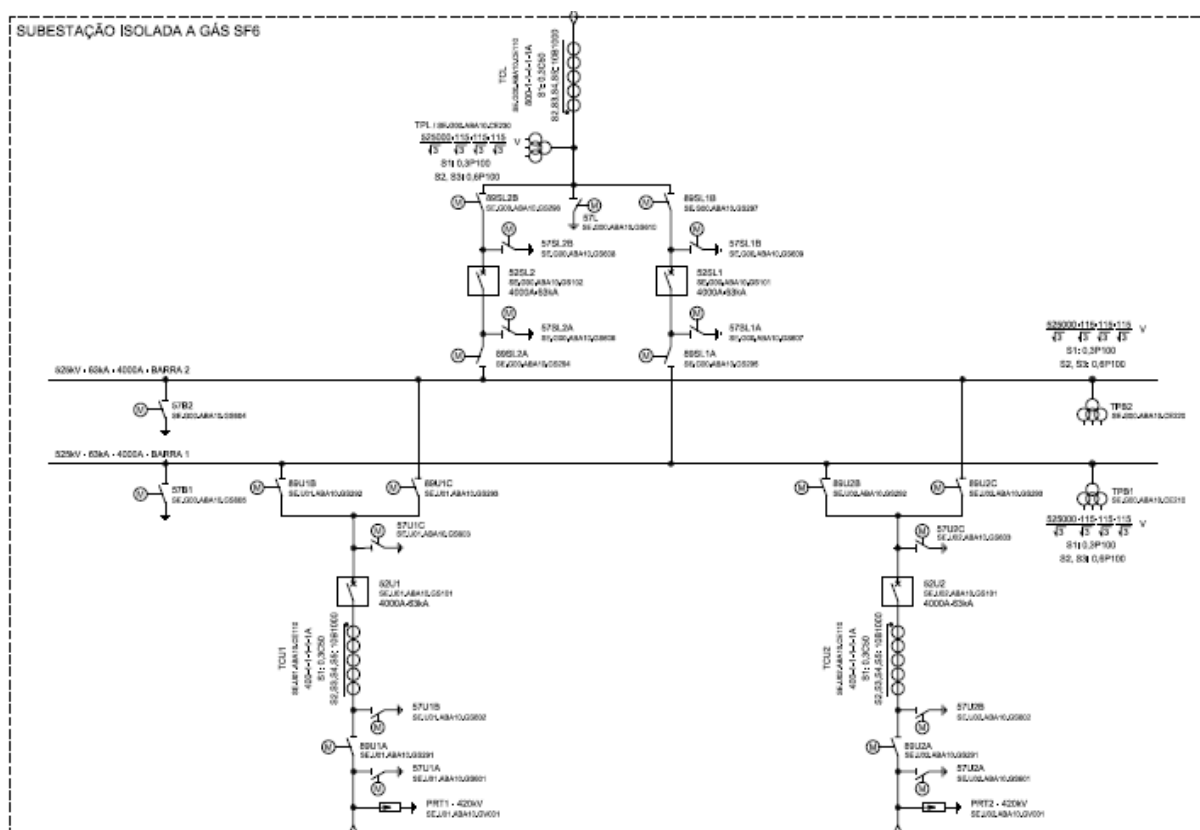


Figura 2. Unifilar SE 500 kV UHE Sinop (GIS) – Projeto Executivo (Barra Dupla c/ disjuntor e meio)

Apesar de ser viável propor um arranjo simplificado para a subestação, utilizando a tecnologia GIS, de forma a garantir ou superar os requisitos de confiabilidade exigidos, o desafio para viabilizar efetivamente a aplicação deveria também levar em consideração os aspectos relacionados às obras civis do empreendimento. A premissa fixada pela Construtora Triunfo foi que nenhuma estrutura civil da casa de força da usina fosse alterada, visto que já estavam projetadas, e que a subestação GIS estivesse localizada na própria casa de força, nem que para isso, a instalação tivesse que ser outdoor.

Com estas limitações e pré-definições, o grupo de engenharia envolvido na solução desenvolveu uma aplicação da subestação sob medida de modo que a mesma fosse instalada ao tempo, no deck de jusante da casa de força, exatamente no espaço existente entre os 2 transformadores elevador 13,8 kV – 500 kV (224 MVA), conforme demonstrado nas Figura 3 e Figura 4.

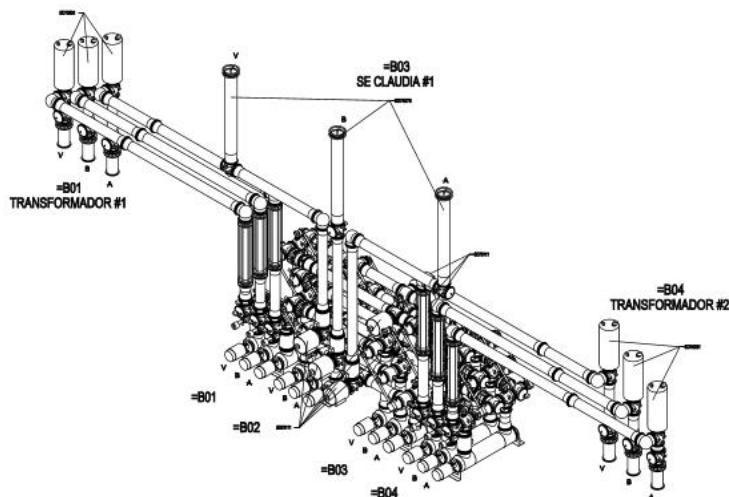


Figura 3. Perspectiva Subestação GIS UHE Sinop



Figura 4. Vista 3D – Aplicação Subestação GIS na Casa de Força da UHE Sinop

Definida a solução técnica, cuja viabilidade econômica será demonstrada a seguir, tem-se o arranjo final da subestação GIS demonstrado na Figura 5, respeitando inclusive o determinado na revisão da IEC 62271-203 (FDIS in circulation) [5], no que se tange a existência de compartimentações intermediárias que possibilitem a diminuição da pressão do gás com a perda de um número reduzido de componentes, obtendo garantia na continuidade de serviço.

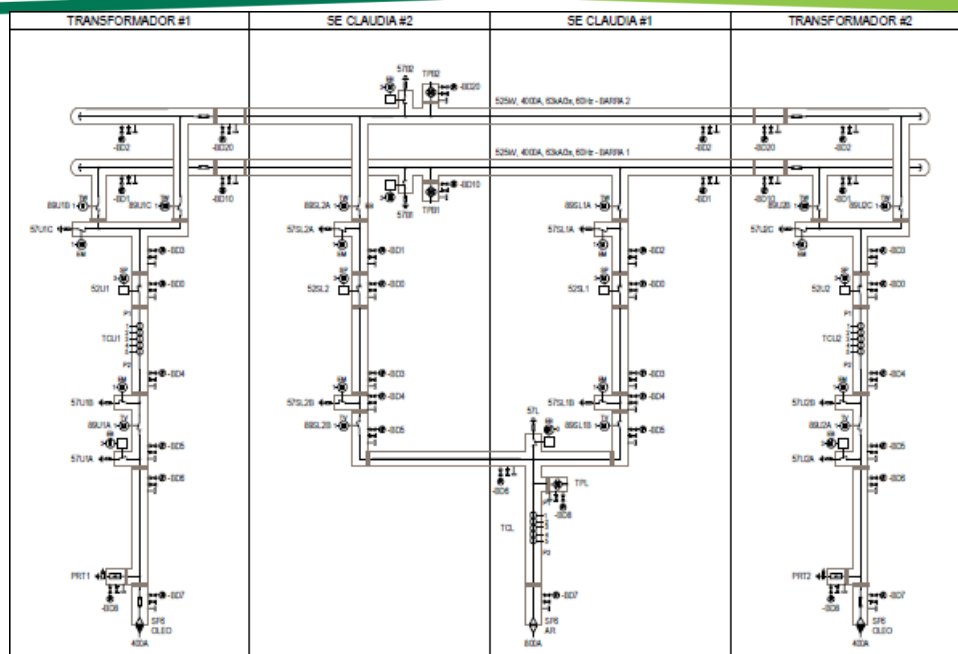


Figura 5. Diagrama de compartimentação – SE GIS UHE Sinop

ASPECTOS DE VIABILIDADE DA SOLUÇÃO

Paralelamente e não menos importante que a solução técnica propriamente dita, o processo de tomada de decisão para a alteração efetiva da tecnologia da subestação de manobra da UHE Sinop passou também por uma análise abrangente de sua viabilidade econômica. Historicamente, as soluções de subestações com tecnologia GIS possuem um custo severamente mais alto quando comparadas com as tradicionais AIS. A viabilidade das GIS é atingida, normalmente, quando o custo do espaço físico possui grande significância (ex.: centros urbanos), o que definitivamente não é um problema quando falamos de centrais hidrelétricas.

Entretanto, motivado pela possibilidade de quebrar paradigmas com a aplicação de subestação GIS associada a centrais hidrelétricas também de menor porte (no que se refere ao número de unidades geradoras), o grupo de trabalho envolvido no tema buscou analisar todos os aspectos de ambas as soluções para que se pudesse tomar a melhor decisão. Salienta-se que esta análise foi focada somente nos prós e contras durante a fase construtiva. Os futuros e conhecidos benefícios da solução GIS para as etapas de operação e manutenção não foram mensuradas quantitativamente na análise.

A Figura 6 faz a análise gráfica comparativa entre os custos para implantação das soluções GIS e AIS para a SE de manobra da UHE Sinop. Analisando somente os custos de equipamentos de ambas as tecnologias, obviamente a solução GIS é muito mais onerosa e representativa. No entanto, os demais aspectos da análise permitem que ambas as soluções sejam equacionadas com equivalência de custos, conforme demonstrado a seguir.

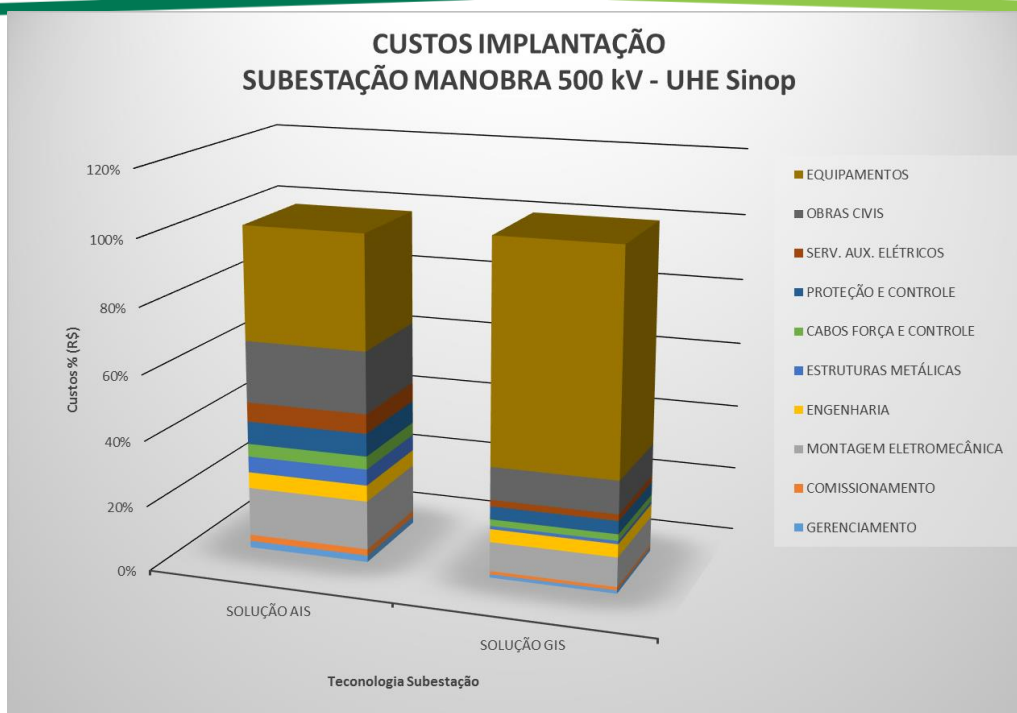


Figura 6. Divisão % dos Custos de Implantação – Alternativas SE Manobra UHE Sinop

Quando comparadas as necessidades físicas, referente a espaço e aplicação de obras civis, a solução convencional AIS para 500 kV na configuração de disjuntor e meio necessitaria de uma área 37.122 m² (276 x 134,50 m). Quando adotado a solução GIS para instalação no deck da casa de força, a área necessária passou a ser 283,5 m² (21 x 13,50 m). Isso representou uma economia de aproximadamente 1.083 m³ de concreto para bases de equipamentos, arruamentos e demais infraestruturas necessárias, dado que estas estruturas já existem na casa de força.

Outro aspecto a ser observado na comparação de viabilidade das soluções é o fato que, devido à locação da subestação na própria casa de força, foi possível utilizar os mesmos serviços auxiliares elétricos CA (painéis, cubículos e GMG) e CC (painéis, baterias e retificadores) já existentes, não deixando de atender os requisitos do item 7.9 do submódulo 2.3 do ONS, porém sem a necessidade de equipamentos exclusivos alocados em casa de comando específica no pátio de uma SE AIS. O mesmo conceito de otimização utilizando os sistemas já presentes na casa de força para a central hidrelétrica como um todo, também é aplicado aos escopos de proteção, controle e telecomunicações.

Além da contribuição relevante dos escopos de fornecimento propriamente ditos que possibilitaram o equacionamento da viabilidade da solução GIS, os serviços diretos e indiretos atrelados à mesma também possuem considerável significância no que tange a reduções. Os tempos de montagem eletromecânica e comissionamento são reduzidos na ordem de 60%, enquanto os insumos para realização destes serviços possuem reduções superiores a 70%. Finalmente, quando se comparam as soluções sob a ótica gerencial, também são observadas reduções superiores a 50% nos custos de gerenciamento de engenharia e de contratos, visto a presença de somente um fabricante de um equipamento único, para toda a subestação.

ASPECTOS DE CONFIABILIDADE DA SOLUÇÃO

Com o objetivo de comparar a disponibilidade da subestação AIS inicialmente prevista (arranjo barra dupla com disjuntor e meio) demonstrada na Figura 1 com a subestação GIS proposta (arranjo simplificado barra dupla a 3 chaves), um estudo de confiabilidade foi realizado de modo a simular todas as prováveis interrupções tanto individuais quanto as ocorridas em vários componentes concomitantemente.

Para tanto, fez-se valer do programa SUBREL [6] desenvolvido pela ABB Instituto de Tecnologia em Raleigh – EUA para a realização de estudos de disponibilidade de subestações. Sucintamente, o SUBREL modela todas as contingências possíveis, determina o impacto de cada contingência para a confiabilidade de cada componente, determina a frequência de cada contingência e resume o impacto de todas as contingências para uma avaliação global da confiabilidade.

Os dados de entrada demandados pelo SUBREL para a análise são os seguintes:

- Failure Rate (FR): taxa de falha por ano
- Mean Time to Repair (MTTR): tempo médio de reparo em horas por ano
- Maintenance Frequency (MF): frequência de manutenção por ano
- Maintenance Duration: tempo para realizar a manutenção em horas por ano

Inicialmente o SUBREL determina a quantidade de tempo que uma subestação está em seu estado normal de funcionamento, ou seja, seu tempo total anual em operação subtraído do tempo gasto de manutenção. Na sequência todas as falhas que ocorrem nos componentes enquanto o sistema está em operação normal são simuladas através da seguinte sequência de eventos: a) o componente sofre uma falha; b) os dispositivos de proteção conectados ao equipamento são desativados (sistema de proteção assumido como ideal); c) isola-se o equipamento em falta e reconfigura-se o sistema para reestabelecer o maior número de cargas; d) após o transcurso do tempo médio de reparo (MTTR) do componente em falha, a mesma é considerada reparada e o sistema retorna ao seu estado normal. A sequência de simulação é realizada também para as ocorrências de falhas durante os estados de manutenção.

Retomando o foco específico de se comprovar os aspectos relativos à confiabilidade e disponibilidade da solução GIS proposta para a SE de manobra da UHE Sinop, tomam-se os dados de entrada para a subestação AIS barra dupla com disjuntor e meio (Figura 1) do documento CIGRE Brochure 510 – HV Equip Reliability Part 2 – Circuit Breaker [7]. Já os dados de entrada da subestação GIS barra dupla a 3 chaves (Figura 2) foram retirados do documento CIGRE Brochure 513 – HV Equip Reliability Part 5 – GIS [8], e também do know-how da ABB no equipamento modelo ELK-3, publicado no documento Maintenance and Repair Concept including Instructions Special Tools [9].

A síntese dos dados de entrada considerados no estudo está apresentada na Tabela 1.

	Equipamento	FR	MTTR	MF	MD
		[1/y]	[h]	[1/y]	[h]
AIS	disjuntor	0,0132	16	0,066667	10
	seccionadora	0,0036	10	0,2	8
GIS	disjuntor	0,0025	15,5	0,066667	27,5
	seccionadora	0,001	24	0,066667	23

Tabela 1. Dados de entrada – Confiabilidade SE GIS – UHE Sinop

Como resultados da simulação temos a frequência e a duração da interrupção de fornecimento de energia na saída de linha de ambas as soluções de subestações comparadas, devido à falhas e manutenção por ano:

- Frequência de indisponibilidade solução AIS: 0,43 / ano
- Frequência de indisponibilidade solução GIS: 0,083 / ano
- Duração de indisponibilidade solução AIS: 3,3 horas / ano
- Duração de indisponibilidade solução GIS: 0,83 horas / ano

De posse dos resultados, verifica-se que, mesmo com um arranjo mais simples, a indisponibilidade da solução GIS é cerca de 70% menor que a solução AIS com arranjo mais robusto. Olhando do ponto de vista do investidor, no que tange CAPEX e OPEX, mesmo não sendo o foco principal da análise apresentada neste trabalho, pode-se vislumbrar uma redução significativa de equipamentos em situação de indisponibilidade. Esse fato contribui ao aumento de receita e a diminuição do pagamento da parcela variável que impacta diretamente no faturamento.

CONCLUSÕES

O objetivo geral do presente trabalho foi apresentar as comparações técnicas e econômicas que possibilitaram a viabilização para alteração da tecnologia da SE de manobra da UHE Sinop para GIS. Quando a análise é focada somente nos aspectos relativos à confiabilidade e disponibilidade da solução, observa-se que, mesmo com a proposição de um arranjo de barra mais simples, o desempenho dos equipamentos GIS são muito superiores ao dos equipamentos AIS. Devido ao alto grau de confiabilidade dos componentes GIS, o montante de tempo de indisponibilidade de linha para esta solução é cerca de 20% do montante de horas em que os equipamentos AIS, com arranjo de barras mais robusto, estará indisponível.

Mesmo com as reconhecidas vantagens da solução GIS no âmbito operacional e de confiabilidade, a efetiva alteração da tecnologia somente teve sua viabilidade final atestada após extenso trabalho técnico das equipes envolvidas, no sentido de aplicação a subestação na casa de força já projetada para a UHE, sem a necessidade de alterações civis na mesma. Após a definição da solução e do arranjo simplificado, as comparações quantitativas que se referem aos custos de implantação foram realizadas, chegando-se à equivalência entre as soluções AIS e GIS. Naturalmente, os benefícios operacionais que somaram à tomada de decisão pela solução GIS, serão observados pelo investidor proprietário da UHE Sinop durante os 30 anos de concessão.

Por fim, conclui-se que quando todas as variáveis envolvidas no processo de tomada de decisão são efetivamente consideradas, a solução GIS pode ser tornar viável técnica e economicamente, mesmo em aplicações pouco usuais (usinas hidrelétricas de menor porte) onde o ganho como o custo do espaço físico (um dos grandes diferenciais da solução GIS) não possui grande significância.

BIBLIOGRAFIA

- [1] EPE-DEE-RE-001/2005-R1 – “Critérios e Procedimentos para o Planejamento da Expansão dos Sistemas de Transmissão” (EPE, 2005)
- [2] EPE-DEE-RE-047/2013-rev0 – “Sistema de Conexão Elétrica dos Empreendimentos de Geração Hidrelétrica” (EPE, 2013)
- [3] Diretrizes Básicas para Projeto de Subestações – Volume 1 – Subestações de Alta Tensão (Centrais Elétricas Brasileira S.A. – ELETROBRAS, 1982)
- [4] Submódulo 2.3 – “Requisitos Mínimos para Transformadores e para Subestações e seus Equipamentos” (ONS, 2010)
- [5] IEC-62271-203 – High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: GIS rated voltages above 52 kV
- [6] SUBREL User’s Guide – ETI Report Number 98-5099-30 (ABB, 2000)
- [7] CIGRE Brochure 510 – HV Equip Reliability Part 2 – Circuit Breaker
- [8] CIGRE Brochure 513 – HV Equip Reliability Part 5 – GIS
- [9] Maintenance and Repair Concept including Instructions Special Tools – 1HC0081026 – ABB