



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GGH/04

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO -NNN**

**GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA- GGH**

**STREAMDIVER: UTILIZANDO UM NOVO POTENCIAL HIDRELÉTRICO**

**Fernando Alves do Santos (\*)  
VOITH HYDRO**

**Djalma de Paula Machado  
VOITH HYDRO**

**RESUMO**

Desenvolvimentos inovadores tornaram-se uma raridade no mercado hidrelétrico. Mas um deles vem se mostrando cada vez melhor: a turbina compacta StreamDiver. Projetada para operar em baixas quedas hidráulicas, esta máquina se caracteriza por ser excepcionalmente compacta, ecológica e rentável. Depois de quatro anos em operação na usina hidrelétrica de Nussdorf, em Viena, seu balanço convence tanto quanto os quase dois anos de operação desta solução na usina hidrelétrica sueca de Bruksfors. No final do ano anterior, foi comissionada ainda a StreamDiver da usina "Alte Bleiche" na Alemanha. Já era hora de uma usina hidrelétrica de baixa queda, completamente isenta de óleo ou graxa e sem reguladores de velocidade e tensão ser difundida no mercado.

**PALAVRAS-CHAVE**

Conjunto gerador, baixa queda hidráulica, lubrificado a água, baixo impacto ambiental, hidreletricidade

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A StreamDiver foi desenvolvida como uma unidade turbina-gerador compacta para ser instalada em rios com baixas quedas hidráulicas. Dessa forma, represas, açudes e eclusas são excepcionalmente adequados à aplicação desta tecnologia. Em comparação com turbinas convencionais, a StreamDiver torna realidade o conceito de uma usina hidrelétrica ecológica, padronizada e rentável. Com isso, os trabalhos necessários para a sua instalação podem ser reduzidos ao mínimo.

Do ponto de vista técnico, a principal tecnologia desta unidade geradora é composta por um gerador de ímãs permanentes instalado dentro de uma unidade tubular isenta de óleo. Outra vantagem especial da StreamDiver é o fato de todos os seus equipamentos auxiliares poderem ser instalados em baixo d'água. Além disso, a solução pode ser integrada a usinas hidrelétricas existentes com um mínimo de trabalho. Isso permite que represas e açudes existentes possam ser utilizados para a geração hidrelétrica com enorme facilidade, o que representa uma flexibilidade sem paralelos.

**2.0 - PLANTA PILOTO DE NUSSDORF, EM VIENA**

A barragem de Nussdorf, no rio Danúbio, em Viena, é reconhecida por suas excepcionais formas arquitetônicas. Mas a tecnologia hidrelétrica instalada ali também é excepcional: em 2012, esta barragem foi equipada com a tecnologia StreamDiver, desenvolvido em um projeto de pesquisa de 1,2 milhões de euros. A StreamDiver é uma unidade geradora extremamente compacta, composta de uma turbina diretamente acoplada a um gerador. Nesta unidade geradora, os engenheiros partiram da premissa da redução de toda tecnologia complexa – o que também abriu as portas para a redução do seu tamanho (Figura 1).

(\*) Rua Friedrich von Voith, n° 825 – CEP 02995-000 São Paulo, SP, – Brasil

Tel: (+55 11) 96420-1388 – Fax: (+55 11) 3944-5653 – Email: fernando.alves@voith.com



Figura 1: Unidade geradora compacta StreamDiver

A turbina StreamDiver está operando na represa de Nussdorf há quatro anos. Ao longo desse tempo, esta unidade geradora já foi submetida a todo tipo de teste. E o balanço pode ser visto no depoimento de Gerald Hochleitner, gerente de projetos da empresa Kössler: "Até o final de setembro de 2016, a máquina completou cerca de 35.000 horas de operação. Isso significa que, ao longo desses quatro anos, não houve nenhuma parada causada por problemas na turbina. Não foi necessário realizar quaisquer serviços ou manutenções." Ele comenta sobre uma inspeção parcial, realizada em fevereiro deste ano, e cujos resultados foram "excepcionalmente satisfatórios".

Gerald Hochleitner ainda afirma: "O conceito da StreamDiver integrou diversos conceitos e componentes inovadores cujas funcionalidades ainda não estavam totalmente garantidas no início do projeto. Esses componentes agora se comprovam excepcionais, mostrando-se maduros para a sua aplicação no mercado.

Um desafio excepcional para os engenheiros da Voith Hydro foi o desenvolvimento da lubrificação a água desta máquina. Depois de testar a lubrificação do protótipo com água purificada durante um ano, foi realizada a transição para água corrente, isto é, água do rio Danúbio. O resultado foi que o conceito de mancal escolhido para esta turbina compacta e inovadora se provou absolutamente confiável. A remoção deliberada dos mancais lubrificados a óleo ou graxa fizeram desta unidade geradora uma solução ecológica e sustentável. O perfil das pás do rotor também foi desenvolvido seguindo essa premissa, no denominado conceito "amigável a peixes" (fish-friendly).

A potência nominal do conjunto gerador da usina hidrelétrica de Nussdorf é de 446 kW. Isso garante uma geração de aproximadamente 9,3 GWh por ano – e isso tudo sem que o equipamento precisasse de nenhuma manutenção. No terceiro trimestre de 2017, será concluída a operação de teste de cinco anos da unidade StreamDiver da usina hidrelétrica de Nussdorf.

### 3.0 - APLICAÇÃO ECOLÓGICA EM BRUKSFORS, NA SUÉCIA

O conceito da unidade geradora StreamDiver já se mostrava completamente maduro para ser comercializado no quando a empresa de geração elétrica sueca Skelleftea Kraft AB começou a sondar o mercado em busca de uma unidade geradora ecológica que pudesse ser instalada em uma represa ainda não utilizada para geração de energia e que exigisse relativamente pouco trabalho. A StreamDiver oferecia a solução ideal para esse desafio. "O local de instalação, na represa próxima à vila de Robertsfors, no nordeste da Suécia, era ideal (Figura 2). A exigência do cliente, contudo, era que a instalação da máquina deveria ser realizada no vertedouro existente, de maneira a evitar os impactos ambientais causados por obras – o que era poderia ser atendido em sua totalidade. A única modificação necessária ao conceito básico seria a integração de uma tubulação adicional de conexão que interligasse a grade horizontal da tomada d'água, a montante, à estrutura de concreto da tomada d'água", relembra o gerente de projetos da Kössler (empresa do grupo Voith), Karl Henninger.

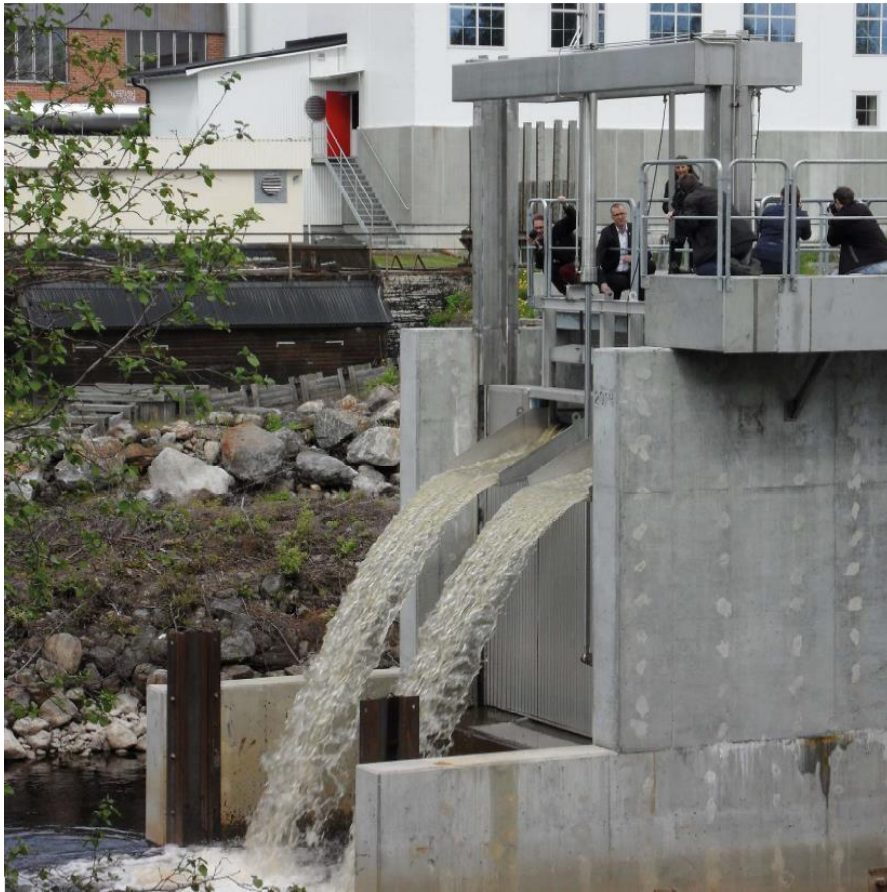


Figura 2: Pequena Central Hidrelétrica de Bruksfors, na Suécia

O projeto é um exemplo da maneira como os requisitos ecológicos e econômicos podem ser atendidos de forma sinérgica. Como operadora da usina de Bruksfors, a Skelleftea Kraft enfrentou requisitos ambientais extremamente rígidos: durante as obras, a água não poderia ser contaminada por óleo, graxa ou quaisquer outras substâncias tóxicas. Graças à StreamDiver, essa condição agora também vale para a operação da usina. Os gestores da Skelleftea Kraft reconheceram a significativa vantagem do fato de a StreamDiver possuir poucos componentes móveis em comparação com soluções convencionais – o que se traduziria em menores custos e menos manutenção.

Uma característica extraordinária deste projeto é o fato de o local ser utilizado para a realização de importantes estudos sobre a migração de peixes. Esses estudos estão sendo realizados pela Universidade de Lulea, que deseja usar esta experiência para a sua aplicação em futuros projetos hidrelétricos. Por conta disso, os pesquisadores tiveram que construir um sistema de migração de peixes único, com desvio a jusante. É compreensível, portanto, que o projeto Bruksfors tenha estabelecido os mais altos padrões ecológicos para a sua realização.

A unidade geradora compacta de 250 kW localizada na região do nordeste da Suécia foi colocada em operação no início de 2015. Desde então, a unidade vem fornecendo energia limpa gerada com a força do rio Ricklean de maneira contínua. Foi apenas recentemente que os operadores realizaram uma inspeção detalhada na unidade geradora. A conclusão foi muito satisfatória: "De acordo com as informações do cliente, não foram constatadas quaisquer alterações perceptíveis na máquina. Como esperado, a condição geral dos componentes que entram em contato com a água está normal, sem quaisquer alterações. O cliente se mostrou muito satisfeito", afirmou Karl Henninger. Ele destaca que as horas de operação da máquina de Bruksfors já foram 100% alcançadas. Com isso, a máquina alcançou uma produção anual de cerca de 1,5 GWh.

#### 4.0 - AUTOPRODUÇÃO, PROJETO-VITRINE E CAPACITAÇÃO NA ALEMANHA

Desde o final de abril, estão sendo realizados os trabalhos para mais um projeto da StreamDiver. Na matriz do grupo de tecnologia Voith, localizado na cidade alemã de Heidenheim, está surgindo uma pequena central hidrelétrica que servirá de vitrine para clientes, colaboradores e o público interessado em geral. Além da tecnologia

instalada na máquina, outro fato muito interessante é a sua construção especial, como descreve o gerente de projetos Gerald Hochleitner: "A usina precisou ser instalada em uma calha de concreto já existente no rio Brenz. Em cooperação com a universidade técnica de Munique, desenvolvemos uma solução ecológica, a chamada 'usina de poço', em que a turbina e o gerador são instalados submersos, em um poço construído no leito do rio. Essa solução trouxe um desafio especial para a equipe: a necessidade de integrar a usina ao açude existente sem provocar enchentes.

A solução permitiu dispensar a construção de uma edificação própria para a usina, o que também se refletirá de maneira positiva tanto em termos de custos como para a paisagem. Além disso, a usina não emitirá ruído e sua energia elétrica será diretamente utilizada na fábrica da Voith Hydro.

O que diferencia a StreamDiver de Heidenheim das máquinas dos projetos de Nussdorf e Bruksfors é, em especial, as suas reduzidas dimensões. Com 35 kW, a máquina instalada é um exemplar da menor variante da série padronizada. "Vista de fora, a máquina parece estar mais ou menos em escala; já a sua "vida interior" conta outra história. Os engenheiros enfrentaram um enorme desafio para implementar e testar o sistema de sensoriamento e o mecanismo de ajuste no espaço limitado disponível", afirma Gerald Hochleitner, que também destaca que esta máquina foi instalada com uma inovadora variante – um rotor ajustável isento de óleo. Também foi especialmente inovador o arranjo das válvulas de entrada da turbina, que se diferenciam das de Nussdorf pelo fato de serem testadas como unidades compactas. A limpeza das grades também é especial e inovadora. Trata-se de uma grade horizontal submersa equipada com uma máquina limpadora completamente submersível. "O material peneirado poderá ser despejado por baixo d'água com uma abertura mínima da grade de limpeza", afirma o gerente de projetos da Kössler.

Especialmente interessante para os colaboradores da Voith Hydro é a integração excepcionalmente intensa dos estagiários técnicos da empresa (Figura 3). Entre outras especialidades, eles foram integrados nas áreas de projeto, fabricação e montagem da turbina, inclusive ficando responsáveis pela montagem do painel de controle. Além disso, alguns alunos da Universidade dual de Baden-Württemberg também foram envolvidos no gerenciamento de projetos. "A Pequena Central Hidrelétrica 'Alte Bleiche' é um projeto altamente interdisciplinar e muito importante para os nossos estagiários, que contribuirão de maneira significativa para o seu sucesso. Além disso, com este projeto fortaleceremos a nossa reputação como uma empresa atraente do ponto de vista de treinamento", afirma Erwin Krajewski, gerente da área de treinamento da Voith.



Figura 3: O projeto 'Alte Bleiche' integrou os estagiários técnicos da Voith Hydro de maneira muito intensa.

Como não poderia deixar de ser, o projeto da usina 'Alte Bleiche' também focou aspectos econômicos. Como em um contrato comercial, o projeto também precisa se sustentar do ponto de vista econômico. "A eletricidade gerada aqui será utilizada para o consumo da própria empresa, reduzindo assim as despesas de eletricidade da unidade de Heidenheim. Somadas, nossas operações consomem cerca de 286.000 kWh por ano. É claro que uma usina própria como esta oferece uma possibilidade única de apresentar a tecnologia da StreamDiver aos nossos clientes, além da possibilidade de realização de testes reais em campo para futuros desenvolvimentos", afirma Hochleitner. Os custos totais da usina de 'Alte Bleiche' somam algumas centenas de milhares de euros.

Com o comissionamento do mais recente projeto da StreamDiver, a usina 'Alte Bleiche', a empresa Kössler e o grupo ao qual ela pertence, a Voith, estabelecem mais um marco na história conjunta que elas agora escrevem. Com isso, finalmente será construída uma pequena central hidrelétrica absolutamente isenta de óleo e com tecnologia de ponta.

## 5.0 - APROVEITANDO O CANAL DE FUGA DE USINAS EXISTENTES

A tecnologia da StreamDiver também está se tornando cada vez mais conhecida internacionalmente. A melhor prova disso é o pedido de duas unidades geradoras a serem instaladas em canal de fuga de uma usina existente na América do Sul. Um investidor internacional do segmento de energias renováveis assinou em setembro de 2016 um contrato com a empresa Kössler. Nesse contrato, além das duas unidades StreamDiver, a especialista em energia hidrelétrica da Baixa Áustria também fornecerá as válvulas de entrada e toda a automação, incluindo a unidade de sincronização e o sistema SCADA. "Esta usina existente conta com uma potência instalada de cerca de 31,5 MW. Sua construção, no entanto, deixou uma queda de 4,5 m disponível no canal de fuga", afirma o engenheiro Josef Lampl, presidente da Kössler. Ambas as unidades StreamDiver serão instaladas ao final desse canal de fuga. A usina hidrelétrica opera à potência total durante quase 90% do ano, o que se traduz em uma vazão constante de 21 m<sup>3</sup>/s. "Cada uma das nossas StreamDiver aproveitará 9,3 m<sup>3</sup>/s, além da queda hidráulica total de 4,5 m", afirma Lampl. Cada uma das unidades geradoras foi projetada para uma potência de 350 kW. Com uma potência total de 700 KW a nova planta equipada com a tecnologia StreamDiver será colocada em operação ao final de 2017.

## 6.0 - COMPARATIVO COM SOLUÇÕES CONVENCIONAIS

Seguindo os exemplos supracitados, pode-se observar as inúmeras vantagens da tecnologia StreamDiver em relação às soluções tradicionais. Para ilustrar de maneira mais consistente as diferenças desta tecnologia inovadora, a seguir (Tabela 1) está o comparativo entre os principais elementos de uma central hidrelétrica com equipamentos convencionais e com StreamDiver:

Tabela 1: Comparativo da StreamDiver com soluções convencionais

ELEMENTO	FUNÇÃO EM SOLUÇÃO CONVENCIONAL	APLICAÇÃO PARA STREAMDIVER
Casa de Força	Construção civil onde são instalados os principais equipamentos de geração (turbina e gerador) e seus auxiliares, além de possuir ampla área para movimentação dos equipamentos.	Não aplicável (N.A.). A StreamDiver é um conjunto eletrogeno (turbina-gerador) totalmente submersível e removível. Nenhum abrigo é necessário para o conjunto. Seus sistemas auxiliares podem ser abrigados em um simples contêiner.
Sistema de içamento	Ponte rolante ou pórtico permanente, dimensionalmente da largura da Casa de Força, utilizados para içamento e movimentação dos equipamentos.	N.A. O maior modelo da StreamDiver pesa em torno de 8 ton. Para esta carga, não há necessidade de estrutura permanente para içamento. Um guindaste temporário ou um caminhão munck pode ser posicionado para movimentação da máquina apenas em necessidade de manutenção.
Governador eletrônico	Dispositivo utilizado para regulação de velocidade da turbina.	N.A. A StreamDiver é uma máquina não-regulada. Sua frequência/rotação é estabilizada por uma válvula de segurança (shut off valve) e sustentada pela rede na qual está interligada.
Unidade hidráulica de pressão dos mancais	Tanque de óleo com bombas e sistema eletrônico de comando, responsável pela lubrificação dos mancais.	N.A. A StreamDiver não necessita de mancais lubrificados por óleo ou graxa, graças a sua tecnologia de mancais lubrificados a água.
Sistema de refrigeração	Trocadores de calor com bombas e sistema eletrônico de comando, responsável pela refrigeração do gerador e óleo dos mancais.	N.A. Tanto o gerador quanto os mancais são refrigerados pela própria água do rio ou canal, sem necessidade de trocador de calor e/ou bombeamento d'água.
Sistema de excitação	Dispositivo eletrônico utilizado para excitar o gerador e manter a tensão estável em seus terminais.	N.A. O gerador da StreamDiver é constituído de ímãs permanentes, ou seja, auto-excitado.

Painéis de controle da máquina	Painéis contendo sistema eletrônico responsável pela supervisão e controle da central.	Aplicável da mesma forma.
Painéis de força	Responsáveis por abrigar os principais dispositivos de conexão (geralmente disjuntores) entre o gerador e os demais de interligação com a rede.	Aplicável da mesma forma.
Transformador elevador	Responsável por elevar a tensão do gerador ao nível de tensão da rede.	Aplicável da mesma forma.

Vale ressaltar que existem máquinas hidráulicas que podem operar sem óleo nos mancais ou reguladores e existem usinas que não possuem ponte rolante na casa de força. No entanto, estes casos representam uma pequena porção das inúmeras usinas existentes no Brasil. Para aplicação da StreamDiver, em todas as plantas estes itens podem ser suprimidos.

Este comparativo demonstra algumas das vantagens e inovações da solução StreamDiver e permite a reflexão sobre um novo conceito de geração que viabiliza projetos de baixíssimas quedas e acessa um nicho do setor hidrelétrico até então inexplorado. Da mesma forma, estende as possibilidades para o conceito de Geração Distribuída.

## 7.0 - CONCLUSÃO

Embora a hidroeletricidade seja responsável pela maior parte da geração de energia renovável do mundo, ainda existe muito potencial hidrelétrico a ser explorado. Até recentemente, as usinas a fio d'água com baixas quedas (< 8 m) eram vistas como antieconômicas e, assim, muitas vezes permaneciam inexploradas. A StreamDiver é uma excelente solução para aproveitamento desse potencial não explorado, uma vez que trata-se de conjunto turbina-gerador especialmente projetado para ser utilizado em locais onde as usinas convencionais podem ser inviáveis. Todo o conjunto de acionamento da StreamDiver, constituído pela turbina, eixo, mancais e gerador, é montado em uma carcaça do tipo bulbo e seus mancais são lubrificados pela própria água do rio ou canal, completamente isenta de óleo ou graxa. A unidade geradora é submersível e pode ser instalada diretamente em sistemas de açudes, canais ou represas, exigindo apenas pequenas modificações nas estruturas existentes. A sua faixa de potências vai de 50 kW a 800 kW. No entanto, sua solução modular permite equipar instalações de maior potência com facilidade (Figura 4). Seu projeto inovador também permite minimizar os custos de operação e manutenção em comparação com os conceitos tradicionais de turbinas, uma vez que demanda menores quantidades de equipamentos auxiliares elétricos e mecânicos.



Figura 4: Aplicação modular da StreamDiver

## 8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) SEPP, A.; RUTSCHMANN, P.; Ecological Hydroelectric Concept "Shaft Power Plant"; 18th International Seminar on Hydro Power Plants - 2014, Áustria.

(2) SEPP, A.; GIEGER F.; RUTSCHMANN P.; BARBIER, J.; CUCHET, M.; Wasserkraft in vollständiger Unterwasseranordnung, DWA Energietage, 2011, Alemanha.

(3) GEIGER, F.; SEPP, A.; RUTSCHMANN, P.; Prototypanlage Schachtkraftwerk – Konzept Mehrschachanlage, Wasserbausymposium, 2013, Suíça.

#### 9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Fernando Alves dos Santos

Nascido em São Paulo-SP em 1983, Engenheiro Eletricista graduado em 2007 pela Faculdade de Engenharia São Paulo e Mestre em Ciências pela Escola Politécnica da USP em 2012. Atua como Gerente de Vendas para o segmento de pequenas centrais hidrelétricas na Voith Hydro Ltda.

Possui outros artigos publicados em Seminários e eventos, incluindo artigo sobre plantas termelétricas a vapor e ciclo regenerativo no SNPTEE de 2013.

Djalma de Paula Machado

Nascido em São Paulo-SP em 1977, Engenheiro Eletricista formado pela Universidade São Judas Tadeu 2002.

Atua como Engenheiro de Vendas e Propostas para o segmento de pequenas centrais hidrelétricas na Voith Hydro Ltda.

Possui 23 anos de atuação no mercado elétrico.