

Novos métodos construtivos e incorporação de técnicas offshore em dutos terrestres

A indústria da construção e montagem no Brasil vem experimentando importante avanço tecnológico e de processos construtivos, particularmente nos últimos cinco anos, não apenas em razão de sua evolução natural, mas também pela crescente necessidade de superação de novos desafios, tanto em termos de produtividade como de prazos e de dificuldades técnicas a serem ultrapassadas. Desafios que há menos de uma década eram considerados quase intransponíveis passaram a fazer parte do dia a dia das empresas construtoras.

No segmento específico de construção e montagem de dutos, esta realidade se mostrou ainda mais intensa, pois a execução dos empreendimentos neste setor, além de todas as demais condicionantes, convive com o fato de serem obras 'abertas' por excelência, sujeitas às diferentes condições de topografia, solo, clima e obstáculos naturais que variam e se sobrepõem a cada metro de linha montada. Além de cronogramas a cada dia mais exíguos para a execução das obras, os trabalhos foram condicionados de maneira crescente por novos e rígidos parâmetros em termos de segurança, de cuidados com o meio ambiente e de relacionamento com as comunidades atravessadas pelas obras.

Somado a este contexto, o esforço e os substanciais investimentos que a Petrobras veio fazendo, em particular nos últimos cinco anos, para que o país pudesse contar no menor prazo possível com uma rede de gasodutos de grande porte integrando nacionalmente os principais centros de produção e de consumo deste insumo e ampliando a oferta de gás natural, exerceu notável impacto positivo para o desenvolvimento tecnológico deste setor.

Assim, se por um lado as exigências se incrementaram, por outro os prazos se reduziram e as dificuldades técnicas a serem transpostas pela etapa de construção da rede de dutos cresceram, pois as rotas/diretrizes dos novos dutos tiveram que atravessar outras regiões, novos e complexos obstáculos geográficos, geológicos e topográficos, dentro de uma ótica de segurança e mínimo impacto socioambiental e ainda de contratos com elevado nível de exigências, atendendo ainda a padrões de performance acelerada.

Vencer este conjunto de desafios de forma consistente implica não apenas buscar maior produtividade, ainda que com maior nível de restrições, mas também, e principalmente, rever e estudar novos métodos, procedimentos, materiais e técnicas que permitam materializar o objetivo final, com eficiência.

Neste cenário, dentre os principais projetos de transporte de gás natural, destaca-se o Gasoduto Caraguatubá-Taubaté (Gastau), que por suas características peculiares demonstrou a importância da incessante busca de



Conrado Serodio é engenheiro civil e diretor da GDK S.A.



José Guido de Oliveira é engenheiro civil e gerente de empreendimentos da GDK S.A.



Sérgio Menezes Borges é engenheiro civil e gerente de contrato da GDK S.A.



Sergio Barreto Lima é engenheiro mecânico e gerente de contrato da GDK S.A.



Fotos: Cortesia GDK

Travessia/Cruzamento	Método selecionado	Extensão	Características especiais
Autoestrada Carvalho Pinto I	HDD	180 m	4/6 faixas de rolamento
Autoestrada Carvalho Pinto II	HDD	140 m	4/6 faixas de rolamento
Rodovia dos Tamoios	cravação de tubo-camisa	130 m	boring machine Colossus 72"
Represa de Santa Branca	flutuação	230 m	rocha
Rio Paraíba do Sul	flutuação + post trenching	420 m	25,0 m profundidade
Rio Capivari	flutuação	280 m	15,0 m profund./rocha
Rio Lourenço Velho I	flutuação	300 m	pântano
Rio Lourenço Velho II	flutuação	170 m	pântano

evolução e de novas tecnologias e métodos construtivos, capazes de viabilizar sua implantação dentro de um restrito quadro de segurança executiva, mínimo impacto ambiental e cronograma desafiador.

O Gastau, com diâmetro de 28" e extensão total de 98,0 km, interliga a Unidade de Tratamento de Gás em Caraguatatuba, litoral Norte de São Paulo, até a Revap e a Estação de Taubaté, interligando-se com os gasodutos existentes, o Campinas-Rio (Gascar) e Rio-São Paulo (Gaspal). Com uma capacidade de transporte de 20 milhões de m³/dia, o Gastau viabiliza a adição à matriz energética brasileira o gás natural produzido no Campo de Mexilhão e reduz a dependência do gás importado da Bolívia.

Condições de implantação e de execução

A diretriz definida para a implantação do Gastau, além de vencer a Serra do Mar, atravessa área de preservação permanente (APP), em uma região de relevo acidentado e solos variados, cruzando uma das áreas do Sudeste com maior ocupação humana e um expressivo número de autoestradas, rodovias, cursos d'água de grande porte e barragens a serem transpostas.

A singular complexidade deste conjunto de travessias e cruzamentos especiais levou a Petrobras a decidir por contratar sua execução em processo separado daqueles relativos à linha-tronco. Coube à GDK, empresa tradicional do segmento de construção e montagem de dutos de grande porte, a execução deste conjunto de obras especiais, além de executar, mediante outro contrato e com equipes independentes, o Trecho II da linha-tronco, entre as Estações de Taubaté e a de São José dos Campos.

Tratando-se de travessias e cruzamentos com grau de dificuldade e complexidade bastante superiores às usuais, a GDK definiu por executar o empreendimento com uma equipe especializada e totalmente dedicada a esta parte da obra. Na tabela acima resume-se as principais características das Travessias e Cruzamentos Especiais do Gastau.

Soluções inovadoras

Ainda na fase licitatória, ao estudar com profundidade cada uma das travessias, a equipe técnica da GDK concluiu que a mera aplicação dos processos e métodos construtivos usuais, mesmo aqueles já consagrados, não

Perfil da travessia especial sob o Rio Paraíba do Sul – Ø28"

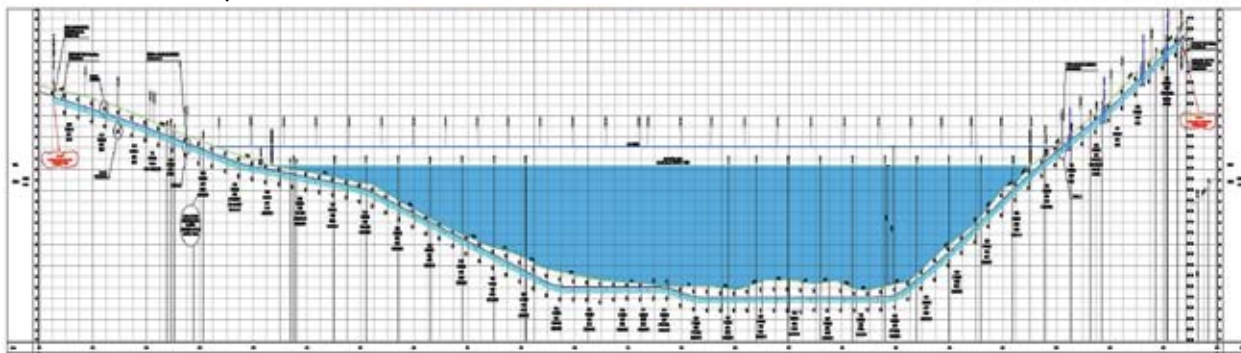


Figura 1. Perfil transversal do Rio Paraíba do Sul

seria capaz de atender com a segurança e confiabilidade requeridos, dentro do crítico cronograma definido pela Petrobras para conclusão dos trabalhos.

Além disso, o cronograma implicava em executar as travessias dentro do período mais intenso de elevadas precipitações pluviométricas e de descargas atmosféricas que caracterizam esta região e que não apenas tornam as condições de trabalho ainda mais críticas como também, com muita frequência, impedem qualquer tipo de atividade de campo por longos períodos.

O desafio que se apresentava não era apenas o de executar estas travessias críticas, mas garantir que sua execução não colocaria em risco o cronograma geral de implantação do empreendimento Gastau, pois sua contratação em realidade ocorreu quase um ano após o início dos trabalhos na linha-tronco.

Contudo, é importante considerar que a execução de dutos de longa distância permite corrigir eventuais desvios no cronograma mediante a implementação de planos de aceleração, em geral baseados no aumento de recursos e da produtividade média durante um determinado período. No caso de travessias complexas, assunto em pauta, não existe esta possibilidade, pois se trata de um trabalho localizado, no qual a única forma de concluir com êxito e no prazo é estudá-lo e planejá-lo detalhadamente, com uma única chance de acertar.

Dentro destas premissas a equipe técnica e de engenharia da GDK estudou cada travessia em todos os seus aspectos para definir, a cada uma, o método executivo mais eficiente, o planejamento e a sequência de ataque, os profissionais mais indicados para cada tipo de travessia ou cruzamento, assim como o grupo de equipamentos especiais de construção e acessórios mais adequados aos trabalhos, usando para isso não só a experiência em dutos terrestres e marítimos, como também buscando soluções com maior conteúdo de engenharia de campo, mesmo que não sejam as tradicionais.

Rio Paraíba do Sul

Entre as travessias e cruzamentos especiais deste Projeto, destaca-se a transposição do Rio Paraíba do Sul, considerado por todos os envolvidos neste empreendimento como um desafio por si só excepcional. Na

diretriz definida para a travessia, o Rio Paraíba apresenta largura de 420 m, com o leito em subsolo extremamente heterogêneo, com ocorrência de blocos de rocha à média profundidade abaixo do leito.

A calha do rio é conformada em um "V" profundo, atingindo 25 m de lâmina d'água à época da execução, sendo uma das margens extremamente íngreme, formada por montanhas, e a outra, embora mais plana, num trecho de faixa em curva horizontal encaixada entre benfeitorias e casas existentes. O perfil original do rio apresentava no meio da seção uma elevação localizada, como se fosse um pequeno "morro" submerso a 25 m e de pouco mais de 40 m de extensão. A **Figura 1** (no alto da página), apresenta a seção transversal da travessia.

Com estas características e restrições, nenhum dos processos conhecidos – neles incluídos a perfuração direcional – demonstravam-se capazes de prover uma solução de baixo risco de completação com sucesso e dentro do curtíssimo cronograma requerido.

Assim, após estudo e pesquisa, a GDK concebeu uma solução de engenharia construtiva que associou a experiência e as técnicas por ela desenvolvidas na execução de obras de dutos offshore, pelo método *string and lay* e ainda utilizou, de forma pioneira na história da construção de dutos terrestres no Brasil, o processo de pós-enterramento da coluna no trecho subfluvial, trazendo ao empreendimento um equipamento de última geração do tipo *post-trenching machine*.

Um detalhado estudo de engenharia foi elaborado para definir e dimensionar a geometria mais adequada para a coluna, os detalhes dos procedimentos de montagem e equipamentos associados, os sistemas de flutuação e posterior posicionamento da coluna e, finalmente, o enterramento da mesma em sua posição final.

A partir de um levantamento batimétrico de precisão, a coluna da travessia, correspondente à seção molhada e mais dois tubos, todos com jaqueta de concreto de 3" de espessura foi projetada com a geometria de um 'U' longo e semiaberto nas extremidades de encontro com as margens.

Esta coluna foi preparada tubo a tubo na margem esquerda do rio e a cada novo segmento soldado foi acoplado um sistema de flutuação composto por boias

duplas especiais fabricadas exatamente para este tipo de trabalho. Gradativamente, a coluna foi levada à margem oposta, por meio de guinchos, mantendo-se o alinhamento e geometria através de um sistema de poitas no leito do rio e tensores, controlados pela topografia de campo.

Simultaneamente à preparação da coluna, o equipamento *post-trenching* foi configurado, de início, para executar o pré-nivelamento do leito do rio onde se apresentou a geometria desfavorável ao assentamento da tubulação.

Este tipo de equipamento, utilizado até então apenas em obras offshore, foi mobilizado pela GDK especialmente para este trabalho, sendo uma unidade de última geração e apto a desempenhar múltiplas funções, além do enterramento em si. É dotado de sistema de navegação e controle instrumentado de escavação, sendo possível configurá-lo para diversas classes de materiais a serem escavados.

Sua operação combina um sistema de corte mecânico por meio de fresas semicônicas articuladas com um sistema de retirada de material por meio de sucção permitindo direcionar não apenas o corte como também a disposição do material desagregado. Na **Figura 2** (a seguir), mostra-se a configuração básica do equipamento, cuja atualização tecnológica e possibilidades múltiplas de trabalho o diferenciam dos equipamentos tradicionais deste tipo, razão pela qual a GDK o selecionou para esta aplicação pioneira.

Concluídas a montagem e regularização do leito para permitir a instalação da coluna na conformação projetada para deixá-la livre de tensões, iniciou-se a segunda etapa para submergir a coluna de forma gradual e controlada, no alinhamento do eixo da travessia até seu posicionamento no leito do rio, com o apoio de embarcações dotadas de sistema de tração e uma equipe de mergulho da própria GDK, com larga experiência em operações offshore deste tipo.

Checado o correto posicionamento da coluna, a *post-trenching machine* foi reconfigurada e posicionada sobre a coluna submersa; num processo contínuo, gradativo e monitorado metro a metro, o equipamento foi abrindo a vala sob a tubulação, ao longo dos mais de 400 m do leito do rio com material compacto, até que o duto atingisse a cota abaixo do leito definida pelo projeto de engenharia e especificações. Na **Figura 3** mostram-se as vistas gerais da travessia e da preparação da coluna.

O sucesso da solução idealizada e aplicada pela primeira vez no Brasil combinou a criatividade para enfrentar um desafio com a experiência da equipe e a seleção de recursos dos mais atuais, demonstrando a assertividade da metodologia aplicada, minimizando o grau de incerteza naturalmente associado a travessias com elevado grau de dificuldade. A travessia do rio Paraíba, que se constituía em um dos possíveis “gargalos” da implantação do duto foi concluída antes mesmo do



Figura 2. Equipamento *post-trenching* Eras



Figura 3. Vista geral do rio Paraíba e preparação da coluna

prazo originalmente previsto, com total segurança do cumprimento do planejamento de construção e sem nenhuma intercorrência que pudesse colocar em risco sua completção.

Experiência e atualização tecnológica

Embora o Rio Paraíba representasse um dos obstáculos mais críticos a serem vencidos, para as demais obras especiais integrantes deste conjunto de travessias e cruzamentos, na visão da equipe técnica da GDK, também implicava pesquisar e usar métodos e recursos diferenciados e com real conteúdo de engenharia e de tecnologia atualizados, para assegurar sua completção com êxito dentro do curto prazo disponível.

Assim, em todas as demais travessias e cruzamentos, aprimoramentos tecnológicos e de processos construtivos foram estudados e aplicados, resultando em maior eficiência, segurança e agilidade na sua execução, viabilizando sua conclusão em prazos seguros, e bem menores do que os usualmente requeridos neste tipo de atividade, sempre sujeita a imprevistos que requerem soluções alternativas e maior esforço para sua conclusão.

Um dos pontos críticos nas travessias de cursos d'água em geral reside na escavação do leito para abertura de vala e na zona de transição entre a seção molhada e a margem dos rios e barragens. Visando incrementar a eficiência e real controle de produtividade para garantir o cumprimento das demais etapas de montagem, nas travessias da Represa de Santa Branca, Rio Capivari



Figura 4. Escavadeira extralonga

e Rio Lourenço Velho, em solos que variavam entre os pantanosos e aqueles com presença de rocha, foram aplicados conjuntos de escavadeiras anfíbias do tipo Kori, com plataforma de escavação das máquinas CAT 320, montadas de forma associada a pontões flutuantes extras – além dos providos pela própria Kori.

Isto resultou em maior estabilidade do conjunto, com sensíveis ganhos tanto na produtividade de escavação em m³/hora, como na segurança da operação como um todo; ao transmitir essa segurança aos operadores, permitiu-se potencializar ao máximo sua capacidade produtiva.

Uma nova concepção do sistema de posicionamento e de atracação das unidades com balancins e cabos tensores resultou em benefícios na produtividade e no correto posicionamento sobre o eixo de lançamento, com o que as difíceis escavações em regime submerso, sem visibilidade para os operadores, puderam ser realizadas com maior precisão e menor overbreak em relação aos processos usuais.

Nos trechos mais profundos e de difícil acesso, novamente o diferencial tecnológico aplicado mostrou sua importância. A empresa também investiu em novas e modernas escavadeiras especiais, denominadas 'extralongas', da Doosan, com capacidade de atingir profundidades de escavação eficiente de 15 m, também montadas sobre conjuntos de flutuantes em configuração 'H', utilizados pela GDK em operações de dutos offshore em águas rasas, conforme ilustrado na **Figura 4**.

Nas regiões de maior incidência de rocha, os conjuntos de escavação de 24 ton foram dotados de martelos rompedores hidráulicos de grande porte (34000 lbs), para romper e desagregar a rocha e um novo sistema de limpeza que associa os conhecidos *drag-lines* tradicionais com um sistema de *pulling* rápido e desenhado para maior produtividade.

Os cruzamentos de estradas de grande porte, integrantes deste pacote de obras, também mereceram o

estudo e seleção de métodos e equipamentos adequados e específicos para cada situação, visando a melhor equação entre o tipo de subsolo a ser atravessado, as condições de contorno das estradas (geometria de entrada e saída, obstáculos naturais e benfeitorias), inserção da via na ocupação humana, menor prazo de execução e segurança dos trabalhos e das comunidades vizinhas.

Assim, enquanto nas autoestradas Carvalho Pinto I e II aplicou-se a técnica de perfuração direcional, por serem rodovias com três faixas de rolamento em cada pista, grande canteiro central e laterais das faixas de domínio com geometria transversal mais favorável à menor extensão possível pelo método HDD, no cruzamento da Rodovia Carvalho Pinto, encaixada entre morros à montante e trechos de pântano à jusante, optou-se pela cravação de tubo-camisa, utilizando o equipamento "boring machine" de grande porte e de última geração especialmente adquirido para este projeto (Kolossus 72).

A eficiência e confiabilidade deste equipamento, somada à experiência da equipe mobilizada para este cruzamento, especializada neste tipo de trabalho, permitiu, apesar das críticas restrições locais e da responsabilidade sobre a preservação da estrada que é a principal via de acesso a todo o litoral Norte do estado de São Paulo, que o cruzamento fosse executado em condições de total segurança da obra, das comunidades e usuários da via.

E isso foi feito em um prazo 30% menor do que o usual neste tipo de serviço e ainda, com um grau de precisão entre as cotas de entrada e saída substancialmente mais apurado do que o normal em perfurações por este método, simplificando sobremaneira a interligação entre a linha-tronco e o trecho da travessia.

Foram também determinantes para o êxito destes cruzamentos a total integração e cuidadoso planejamento das etapas em conjunto com as equipes de Segurança, Meio Ambiente e Relacionamento com as comunidades, garantindo que todos os trabalhos fossem executados em estrito atendimento às melhores práticas executivas, em absoluta segurança e sem nenhum impacto ambiental ou social.

O êxito alcançado na realização deste complexo conjunto de travessias e cruzamentos especiais demonstrou de forma inequívoca a importância da associação entre a experiência efetiva das equipes de trabalho, o planejamento, a criatividade com conteúdo de engenharia e o empenho em desenvolver novas metodologias, aprimorando processos consagrados visando ganhos de eficiência e a incorporação de processos e equipamentos tecnologicamente atualizados.

A conjugação destes fatores, a pesquisa e a aplicação planejada de métodos voltados à melhor economicidade, maior confiabilidade nos prazos e na consistência e segurança de completação com sucesso, mostrou neste empreendimento um caminho responsável para os novos desafios que se apresentam na construção e montagem de dutos de grande porte no Brasil. ■