

CONRADO SERODIO / JOSÉ GUIDO DE OLIVEIRA  
SÉRGIO MENEZES BORGES / SÉRGIO BARRETO LIMA

# SOLUÇÃO INOVADORA NA CONSTRUÇÃO DE DUTOS

*Os esforços da Petrobras nos últimos anos para dotar o país de uma rede integrada de gasodutos, além do objetivo primário, vêm também contribuindo para o desenvolvimento tecnológico da engenharia de construção de dutos no Brasil. Novas e complexas condições técnicas, logísticas e de implantação, somadas às condicionantes ambientais e aos exíguos prazos requeridos por esses empreendimentos, exigem técnicas e métodos construtivos capazes de superar tais desafios.*

**N**esse contexto, o Gasoduto Caraguatatuba-Taubaté Ø 28" se destaca como uma nova referência, tanto na construção da linha-tronco, no qual já foram aplicados com êxito técnicas e procedimentos diferenciados, que permitiram superar as dificuldades inerentes à montagem da nova linha em faixa já ocupada por vários dutos de grande porte em operação, como também e principalmente na execução das travessias especiais do GASTAU, em que foram aplicados métodos verdadeiramente inéditos na construção de dutos terrestres.

O GASTAU, no trecho do Vale do Paraíba, além de cruzar 40 estradas e 30 cursos d'água em menos de 40km, exigiu transpor também as principais autopistas da Região Sudeste, represas, e cinco rios de grande porte, entre eles o Paraíba do Sul, com uma calha em "V" profundo, largura de 400m e 25m de profundidade, um ponto crítico e capaz de pôr em risco todo o cronograma do empreendimento. Executar essa travessia pelos métodos convencionais ou com perfuração direcional mostrava-se como de



alto risco de insucesso.

A solução inovadora, aplicada com êxito, combinou técnicas de travessias terrestres com a tecnologia aplicada em dutos *offshore*, lançando-se a coluna correspondente ao rio em regime de flutuação controlada e seu posterior abaixamento e enterramento com equipamento *post-trenching*. Essa solução possibilitou superar tal obstáculo em condições totalmente controladas, com segurança e em prazo substancialmente menor do que o usual, estabelecendo um novo paradigma executivo nesse tipo de travessia.

A Indústria da Construção e Montagem no Brasil vem experimentando um 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, essa realidade se mostrou ainda mais intensa, pois a execução dos empreendimentos nesse 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 vieram sendo 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.

Somados a esse contexto, o esforço e os substanciais investimentos que a Petrobras veio fazendo, particularmente 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 desse insumo e ampliando a oferta de gás natural, exerceram notável impacto positivo para o

desenvolvimento tecnológico desse 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 também cresceram, pois as rotas/diretrizes dos novos dutos tiveram que atravessar novas 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 esse conjunto de desafios implica não apenas buscar maior produtividade, ainda que com maior nível de restrições, mas também, e principalmente, para fazê-lo de maneira consistente, revendo e estudando novos métodos, procedimentos, materiais e técnicas que permitam materializar o objetivo final, com eficiência.

Nesse cenário, entre os principais projetos de transporte de gás natural, destaca-se o Gasoduto Caraguatatuba-Taubaté – GASTAU, que por suas características peculiares demonstrou a importância da incessante

busca de 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 98km, 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 metros cúbicos, o GASTAU viabiliza a adição à matriz energética brasileira do gás natural produzido no Campo de Mexilhão e reduz a dependência do gás importado da Bolívia.

## CONDIÇÕES DE IMPLANTAÇÃO E DE EXECUÇÃO

A diretriz estabelecida para a implantação do GASTAU, além de vencer a Serra do Mar, atravessa área de preservação permanente (APP), em uma

## A Indústria da Construção e Montagem no Brasil vem experimentando um importante avanço tecnológico e de processos construtivos particularmente nos últimos cinco anos

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 desse 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 desse 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 decidiu por executar o empreendimento com uma equipe especializada e totalmente dedicada a essa parte da obra. No quadro abaixo, resumem-se as principais características das travessias e dos cruzamentos especiais do GASTAU.

## SOLUÇÕES INOVADORAS PARA NOVOS DESAFIOS

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 seria capaz de atender com a segurança e a confiabilidade requeridas, dentro do crítico cronograma estipulado pela Petrobras para conclusão dos trabalhos. Além disso, o cronograma implicava executar as travessias dentro do período

mais intenso de elevadas precipitações pluviométricas e de descargas atmosféricas que caracterizam essa 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 essas travessias críticas, mas garantir que sua execução não poria 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. Além disso, 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 essa possibilidade, pois trata-se 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 dessas premissas, a equipe técnica e de engenharia da GDK estudou cada travessia em todos os seus aspectos para, a cada uma, determinar 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 fossem as usuais ou tradicionais.

Quadro

### Travessias e cruzamentos especiais do GASTAU

Travessia/Cruzamento	Método selecionado	Extensão	Caract. 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	<i>boring machine Colossus 72"</i>
Represa de Santa Branca	flutuação	230 m	rocha
Rio Paraíba do Sul	flutuação + <i>post trenching</i>	420 m	25m profundidade
Rio Capivari	flutuação	280 m	15m profund. / rocha
Rio Lourenço Velho I	flutuação	300 m	pântano
Rio Lourenço Velho II	flutuação	170 m	pântano

## RIO PARAÍBA DO SUL - O DESAFIO DENTRO DO DESAFIO

Entre as travessias e os cruzamentos especiais desse projeto, destaca-se a transposição do Rio Paraíba do Sul, considerada por todos os envolvidos nesse empreendimento um desafio por si só excepcional. Na diretriz determinada para a travessia, o Rio Paraíba apresenta uma largura de 420m, com o leito em subsolo extremamente heterogêneo, com ocorrência de blocos de rocha a média profundidade abaixo do leito. A calha do rio é conformada em um “V” profundo, atingindo 25m de lâmina d’água à época da execução, sendo uma das margens extremamente íngreme e formada por montanhas, e a outra, embora mais plana, num trecho de faixa em curva horizontal encaixada entre benfeitorias e casas existentes. Além disso, o perfil original do rio apresentava no meio da seção uma elevação localizada, como se fosse um pequeno “morro” submerso a 25m e de pouco mais de 40 metros de extensão.

Com essas características e restrições, nenhum dos processos conhecidos – neles incluída a perfuração direcional – demonstrava-se capaz de prover uma solução de baixo risco de completção 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 utilizar 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. Essa coluna foi preparada tubo a tubo na margem esquerda do rio e cada novo segmento soldado foi acoplado a um sistema de flutuação composto por boias duplas especiais fabricadas especialmente para esse tipo de trabalho. Gradativamente a coluna foi levada à margem oposta, por meio de guinchos, mantendo-se o alinhamento e a geometria por meio 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 inicialmente para executar o pré-nivelamento do leito do rio

onde se apresentou a geometria desfavorável ao assentamento da tubulação.

Esse tipo de equipamento, utilizado até então apenas em obras *offshore*, foi mobilizado pela GDK especialmente para esse 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.

A atualização tecnológica e as possibilidades múltiplas de trabalho diferenciam o equipamento dos tradicionais desse tipo, razão pela qual a GDK o selecionou para essa aplicação pioneira.

Concluídas a montagem e a 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* desse tipo.

**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**



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 400m do leito do rio com material compacto, até que o duto atingisse a cota abaixo do leito determinada pelo projeto de engenharia e especificações.

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

Embora o Rio Paraíba representasse um dos obstáculos mais críticos a serem vencidos, para as demais obras especiais integrantes desse 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 substancialmente menores do que os usualmente requeridos nesse 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 das barragens. Visando a incrementar a eficiência e o real controle de produtividade para garantir o cumprimento das demais etapas de montagem, nas travessias da Represa de Santa Branca, do Rio Capivari e do 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.

Isso resultou em maior estabilidade do conjunto, com sensíveis ganhos tanto na produtividade de escavação em m<sup>3</sup>/hora como na segurança da operação como um todo e transmitindo essa segurança aos operadores, permitindo potencializar ao máximo sua capacidade produtiva.

Além disso, uma nova concepção do sistema de posicionamento e de atracção 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 15m, também montadas sobre conjuntos de flutuantes em configuração “H”, utilizados pela GDK em operações de dutos *offshore* em águas rasas. Nas regiões de maior incidência de rocha, os conjuntos de escavação de 24t foram dotados de martelos rompedores hidráulicos de grande porte (34.000 lb), 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 desse pacote de obras, também mereceram o estudo e a seleção de métodos e equipamentos adequados e específicos para cada situação, visando à 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 a montante e trechos de pântano a jusante, optou-se pela cravação de tubo-camisa, utilizando o equipamento *boring machine* de grande porte e de última geração especialmente adquirido para esse projeto (Kolossus 72).

A eficiência e a confiabilidade desse equipamento, somadas à experiência da equipe mobilizada para esse cruzamento, especializada nesse tipo de trabalho, permitiram, apesar de críticas e 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 dos usuários da via, em um prazo 30% menor do que o usual nesse 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 esse método, simplificando sobremaneira a interligação entre a linha-tronco e o trecho da travessia. Foram também determinantes para o êxito desses 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.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS - CONCLUSÕES

O êxito alcançado na realização desse 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 a ganhos de eficiência e à incorporação de processos e equipamentos tecnologicamente atualizados.

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

*Conrado Serodio é diretor;*

*José Guido de Oliveira é gerente de empreendimento;*

*Sérgio Menezes Borges é gerente de contrato; e*

*Sérgio Barreto Lima é gerente de construção da GDK S/A. Os autores são engenheiros.*