

The background of the entire page is a close-up photograph of water. The water is dark, but it is covered in a dense pattern of small, shimmering ripples that catch the light, creating a golden-yellow glow. The lighting is soft and diffused, giving the water a textured, almost ethereal appearance. The overall color palette is dominated by these golden and dark greenish-brown tones.

COPPE
UFRJ

Corrida para o mar
Os desafios tecnológicos e ambientais do pré-sal



3 TON



COPPE

UFRJ

Ciência, Tecnologia e Inovação
A arte de antecipar o futuro



SUMÁRIO

- 3 A Coppe na agenda nacional
- 6 Corrida para o mar
- 8 Viagem às profundezas do pré-sal
- 27 Diálogo com o meio ambiente
- 34 Três décadas que mudaram tudo
- 42 A Coppe

A Coppe na agenda nacional

Criada com o objetivo de alavancar a pesquisa em engenharia na universidade e, a partir daí, influir na realidade econômica do país, desde cedo a Coppe empenhou-se em construir uma ponte entre a universidade, as empresas e a sociedade. Mas foi no fim dos anos 70 que começou a exercer um papel mais amplo na agenda nacional. Seu caminho para isso foi através do mar – ou, mais especificamente, na trilha aberta pelo petróleo que a Petrobras ia descobrindo sob águas cada vez mais profundas na Bacia de Campos.

Em 1974, a busca da autossuficiência em petróleo tornou-se uma política de Estado. Acossado pela severa dependência de óleo importado e pela escalada de preços que eclodira no ano anterior, o Brasil assumiu o desafio da corrida para o mar, levando a Petrobras a procurar petróleo na então quase desconhecida Bacia de Campos. Três anos depois, iniciou-se a histórica parceria Coppe/Petrobras, que inaugurou nessa empresa a tradição de buscar e estimular a competência tecnológica das universidades e institutos de pesquisa brasileiros. Juntas, a empresa, por meio do seu Centro de Pesquisas, o Cenpes, e a Coppe viabilizaram a criação de uma engenharia brasileira para a produção de petróleo. Assim, criaram uma rede de conhecimento sobre o tema que reúne, hoje, várias universidades e institutos de pesquisa. Quando a meta da autossuficiência foi finalmente alcançada, em 2005, o Brasil já estava instalado entre os países líderes da tecnologia de exploração e produção em águas profundas.

Agora, vivemos outro momento histórico. A descoberta dos depósitos na camada do pré-sal, que tem potencial para elevar as reservas brasileiras dos atuais 14 bilhões de barris para, talvez, mais de 80 bilhões e que fará do Brasil um grande produtor de petróleo, traz desafios tecnológicos semelhantes aos da Bacia de Campos – agora numa escala muito maior em termos de profundidades e distâncias a serem vencidas. E traz à discussão aspectos regulatórios e ambientais.

Do ponto de vista regulatório, a principal questão é formular um sistema para o aproveitamento do pré-sal que contemple, sobretudo, o interesse nacional, e não o deixe ao sabor das injunções de mercado. Caberá, então, ao país bem aproveitar a renda a ser gerada pelo petróleo, investindo no resgate de seus variados passivos sociais e na diversificação de suas atividades produtivas. É vital cuidar para que o Brasil não venha a se tornar excessivamente dependente da renda do petróleo, configurando-se apenas como exportador de um recurso natural finito e que tende a ser progressivamente substituído. Isso, é importante lembrar, ocorreu com outros ciclos de monoprodução – açúcar, ouro, café e borracha – que marcaram a história econômica brasileira.

Quanto aos desafios tecnológicos e ambientais embutidos no pré-sal, estes começaram a ser enfrentados pela Petrobras, com a contribuição das universidades, na qual se destaca a participação pioneira da Coppe. A parceria Coppe/Petrobras, focada primeiro no desenvolvimento da engenharia para a produção de petróleo, vem se estendendo para o estudo dos problemas ambientais associados ao uso do petróleo e para o desenvolvimento de energias alternativas. Dentre esses estudos, destacam-se as pesquisas e iniciativas voltadas para o enfrentamento das mudanças climáticas. Como se verá nas páginas a seguir, a Coppe está pronta para o pré-sal e seus desdobramentos. Está pronta, sobretudo, para ajudar o Brasil a conciliar energia com clima, desenvolvimento com sustentabilidade.

A base de conhecimento científico e tecnológico gerada pela corrida para o mar em busca de petróleo constitui uma excelente oportunidade para o país montar uma estratégia de aproveitamento, ocupação e preservação de seus domínios marinhos. Com um litoral de 8 mil quilômetros de extensão, o Brasil é senhor de uma área marítima de 3,5 milhões de quilômetros quadrados reconhecida pela ONU, à qual ainda reivindica o acréscimo de 1 milhão de quilômetros quadrados. É o equivalente ao tamanho da Amazônia e a metade do território continental. Comparada com tais grandezas, a presença efetiva do Brasil nessa área, do ponto de vista econômico e de retorno social dos recursos nela existentes, é insignificante.

Se o país decidir olhar para o pré-sal como a ponta de um *iceberg* de oportunidades e inserir na agenda nacional a formulação de uma estratégia integral para sua área marítima, o mar poderá ser para o Brasil do século 21 o mesmo que a conquista do espaço representou para os Estados Unidos no século 20. Uma plataforma de desenvolvimento tecnológico com repercussões amplas e profundas em diferentes áreas da vida econômica e social. Geração de energia de diferentes fontes, incluindo ondas, marés e correntes; construção de estruturas navais; navegação de cabotagem e internacional; e vigilância por satélites são apenas alguns dos setores e atividades que seriam positivamente impactados por essa estratégia.

Com seu vasto acervo de conhecimento de engenharia *offshore*, a Coppe está pronta para contribuir num projeto nacional voltado para o pleno aproveitamento do potencial do mar.

LUIZ PINGUELLI ROSA
Diretor

AQUILINO SENRA MARTINEZ
Vice-diretor

EDSON HIROKAZU WATANABE
Diretor de Assuntos Acadêmicos

SEGEN FARID ESTEFEN
Diretor de Tecnologia e Inovação

GUILHERME HORTA TRAVASSOS
Diretor de Planejamento e Administração

A descoberta de reservas gigantes de petróleo e gás na camada do pré-sal trouxe um grande desafio para o país, a Petrobras e a comunidade científica brasileira: transpor o patamar tecnológico para viabilizar a exploração em poços situados a 300 quilômetros da costa, sob uma camada de até 3 mil metros de água e 4 mil metros de sal e sedimentos.

Não é a primeira vez que os brasileiros se defrontam com um desafio dessa natureza. A partir de 1974, quando se confirmou a existência das reservas da Bacia de Campos, foi necessário desenvolver uma tecnologia nacional para extrair o petróleo de poços localizados a até 4 mil metros desde a superfície do mar e a até 140 quilômetros de distância de terra firme. A Coppe participa desse esforço desde 1977, quando seus professores e alunos iniciaram as atividades de pesquisa e desenvolvimento que ajudaram a Petrobras a colocar o Brasil na liderança mundial da exploração e produção em águas profundas.

Tal como a descoberta do óleo na Bacia de Campos, a descoberta das reservas do pré-sal encontra a indústria nacional e internacional de produção de petróleo no limite da tecnologia. Além de vencer as barreiras tecnológicas a custos econômicos competitivos, será também preciso fazê-lo a custos ambientais aceitáveis, ou seja, com a sustentabilidade da qual o mundo já não pode abrir mão.

Estima-se que a primeira produção significativa de óleo e gás do pré-sal ocorrerá em 2014 e que, em 2020, vários campos estarão em operação. Nas páginas a seguir, veremos como a Coppe está se preparando para ajudar a Petrobras e o Brasil a lidar com os desafios e tornar realidade esse novo cenário.



Corrida para o mar



Viagem às profundezas do pré-sal

Pode-se dizer que há duas vertentes de desafios tecnológicos para explorar o petróleo e o gás contidos no pré-sal. A primeira é de natureza vertical: perfurar o poço até o reservatório, atravessando as camadas de água, de sedimentos e de sal, cada uma com um tipo de comportamento, em temperaturas que variam de 80°C a 150°C e sob altas pressões e gases corrosivos. É necessário considerar ainda o caminho de volta até a superfície, transportando o petróleo e o gás extraídos dos poços, sem entupir os dutos e sem causar vazamentos que provoquem acidentes ambientais.

A outra vertente é a dos desafios horizontais: transportar o petróleo e o gás da área de produção até a costa, a 300 quilômetros de distância, por meio de navios e gasodutos, e carregar pessoal, equipamentos e suprimentos para as plataformas.

Tudo isso será feito num ambiente onde nada é estático. Plataformas, navios e tubulações balançam e se desgastam sob a ação de ventos, ondas e correntes; sedimentos desabam sobre as sondas que perfuram os poços; o sal volta a se fechar sobre o caminho recém-aberto pela sonda; e até o movimento do óleo e do gás que escoam pelas tubulações provoca desgaste e fadiga nos materiais, podendo causar rompimentos.

É, em resumo, um conjunto de problemas que começa com a grande profundidade da água, passa pela colocação de revestimentos nas perfurações em sedimentos moles, não consolidados, continua na difícil travessia da espessa camada de sal, até chegar a um ambiente de altíssima pressão e temperatura, saturado de gases corrosivos.

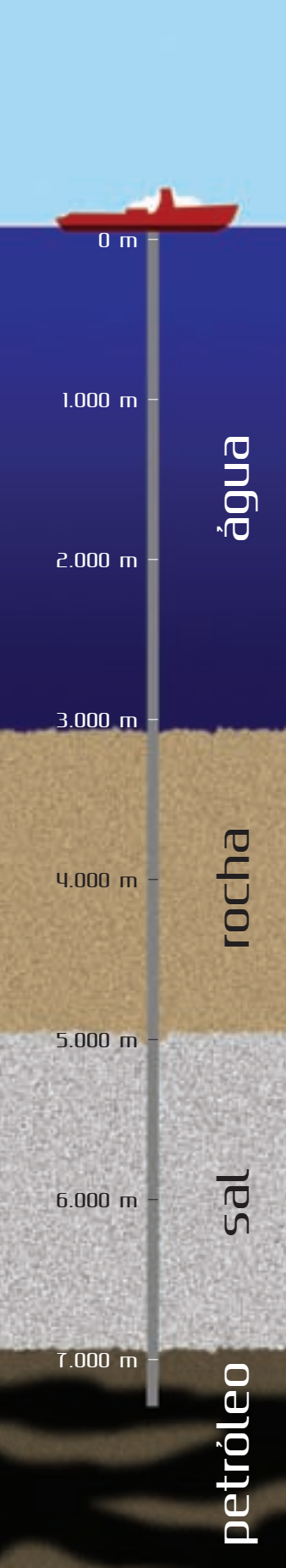
Um universo de muito calor, frio, pressão e movimento

Três décadas de trabalho foram suficientes para que cientistas e técnicos brasileiros desenvolvessem e dominassem a tecnologia aplicada na Bacia de Campos. Na área do pré-sal, ainda há mistérios a serem desvendados. Mesmo nos aspectos conhecidos, os desafios são multiplicados.

Em Campos, para chegar à rocha (uma mistura de areia e carbonato) onde o petróleo está armazenado, é preciso atravessar basicamente duas camadas: a de água, com profundidades de até 2 mil metros; e a dos sedimentos, onde são perfurados poços também de até 2 mil metros. No pré-sal, são três camadas a serem vencidas: a água, cuja profundidade chega a 3 mil metros; a dos sedimentos, com cerca de 2 mil metros; e a de sal, com outros 2 mil. Já se sabe que o sal, nessas profundidades, se comporta como uma massa plástica e impermeável, que, mal aberto o poço, volta a fechá-lo.

Será preciso desenvolver técnicas de perfuração e revestimentos para o poço, capazes de conter os sedimentos não consolidados, para que não colapsem facilmente, e de inibir o efeito da plasticidade do sal, para que não volte a preencher o volume onde se encontrava antes da passagem da sonda.





Atingida a rocha reservatório, provavelmente haverá mais surpresas. Trata-se de uma rocha calcária carbonática, cujo comportamento é ainda desconhecido dos geólogos e engenheiros. As rochas que formam os reservatórios são como esponjas em cujos poros se armazenam o petróleo e o gás. Quando a rocha é basicamente arenítica, a tecnologia existente permite avaliar os interstícios onde há e onde não há petróleo e, assim, delimitar a extensão do campo petrolífero, reduzindo o risco de furar poços secos. Vale lembrar que, naquela região, um único poço pode chegar a custar entre US\$ 120 e 160 milhões, dez vezes mais que na Bacia de Campos. Na rocha calcária, o grau de porosidade ainda tem incógnitas.

Os desafios da perfuração não se esgotam na travessia vertical das camadas de rocha e sal até chegar ao reservatório. Para colocar o campo em produção, é preciso fazer poços direcionais, isto é, poços desviados lateralmente, que se estendam para formar uma malha de produção que carrega o óleo extraído para uma mesma plataforma. Um poço direcional no pré-sal pode chegar a medir de 12 a 20 quilômetros, sendo uma boa parte desse percurso dentro da camada de sal.

Quanto maiores as profundidades das áreas de operação, mais altas são a pressão e a temperatura. Desenvolver materiais que resistam a temperaturas da ordem de 150°C e a pressões de 400 bar – o equivalente a 400 vezes a pressão atmosférica em que vivemos – é mais um desafio. Outro é lidar com o ambiente hostil, de gases corrosivos abundantes no pré-sal – no caso, o dióxido de carbono (CO₂) e o ácido sulfídrico (H₂S). O primeiro existe também na Bacia de Campos, mas em quantidades menores.

Entre as áreas de conhecimento que serão desenvolvidas por conta do pré-sal, contam-se a mecânica de rochas, a produção em rochas carbonáticas, a mecânica do sal, a geofísica de alta resolução, novos materiais para revestimento de poços, a engenharia de estruturas *offshore* e materiais especiais para equipamentos e dutos submetidos a altas pressões e temperaturas e em ambientes quimicamente hostis.

Testes, modelagens e simulações são essenciais para reduzir os riscos e os custos econômicos das operações e para avaliar novas concepções e metodologias. Nos últimos anos, novas e sofisticadas instalações foram acrescentadas ao parque laboratorial da Coppe e novas linhas de pesquisa foram iniciadas para lidar com os desafios do pré-sal.

Um supercomputador e uma caverna: salto de qualidade em simulação

O prédio impressiona pela arquitetura arrojada e singular. A grande construção coberta de vidro e cores fortes foi erguida para abrigar o maior supercomputador da América Latina e o 76º do mundo. Montado com recursos da Petrobras, dentro de uma rede de instituições de pesquisa batizada de Rede Galileu, o equipamento é formado por 7.200 processadores instalados no novo prédio (*foto abaixo*) do Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia (Lamce), erguido pela Coppe no Parque Tecnológico da Cidade Universitária.

Um computador desse porte gera uma demanda de energia igual à de uma pequena cidade. Foi preciso construir uma subestação de 500 kVA só para alimentá-lo. Apesar disso, toda a concepção segue os princípios da arquitetura verde. Os processadores e as portas de refrigeração são projetados para o menor consumo possível de energia, as paredes têm proteção especial para garantir um transiente de temperatura suave e um caimento apropriado para o reaproveitamento da água da





chuva. O projeto também prevê a futura instalação de painéis de energia solar.

Com uma capacidade computacional total de 65 *teraflops* (operações de ponto flutuante por segundo), o novo supercomputador (*foto à esquerda*) foi montado com um olho no pré-sal. Nele serão feitas as simulações que envolverem plataformas, sistemas de engenharia de exploração, hidrodinâmica e geodinâmica, a parte ambiental, as bacias e os reservatórios. “O objetivo é antecipar problemas e soluções, tornando mais rápidas e baratas as operações em campo”, explica o professor José Alves, do Lamce.

Atualmente existem muitos *programas computacionais* comerciais que rodam em centenas de processadores simultaneamente para resolver esses tipos de problemas. No novo supercomputador, a escala é de milhares de processadores rodando simultaneamente. Com eles será possível acompanhar e estudar os fenômenos numa escala espacial-temporal muito mais complexa.

Simulações desse porte produzem uma quantidade gigantesca de dados, o equivalente a várias bibliotecas. Seria impossível examinar tal volume de dados numa tela convencional. Assim, acoplada ao prédio que abriga o computador, foi erguida outra imensa construção: uma caverna de visualização, cujas paredes e teto são telas gigantes, onde os dados são transformados em imagens tridimensionais. É um ambiente de imersão e interação, como os dos jogos virtuais que tanto atraem crianças e adolescentes, diz Gerson Cunha, pesquisador do Lamce.

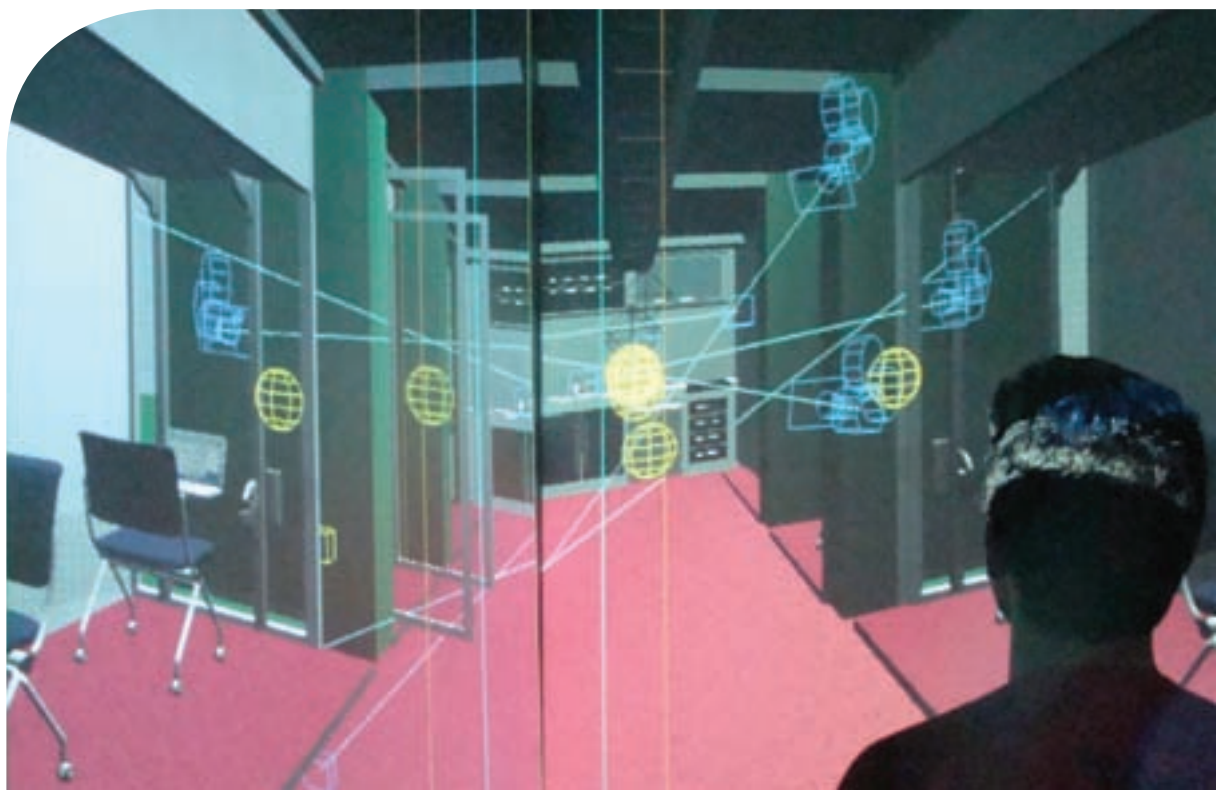
Os recursos de imagem, som e interação (*consoles* e *joysticks*) disponíveis na caverna fariam a delícia dos aficionados pelos jogos de realidade virtual, mas em proporção real e num nível de detalhamento que eles dificilmente imaginariam. Podem levar virtualmente o pesquisador para dentro de uma bacia petrolífera, por exemplo, para que ele “veja” todas as camadas geológicas que a formam. Ou para o interior de um reservatório, onde poderá observar como o petróleo se espalha pela rocha que o aprisiona. Ou observar, olhando de dentro ou de fora,

o comportamento no mar de um navio ou uma plataforma que ainda nem foram construídos. O observador pode também acompanhar o que ocorre no interior de um duto à medida que o óleo ou o gás escoam por ele. Pode até acompanhar o trajeto de uma sonda de perfuração, para avaliar os obstáculos do caminho e experimentar novos ângulos de perfuração.

Pode também mergulhar num poço, para observar como se comportam os tubos de revestimento quando sofrem ataque das temperaturas, pressões e corrosão. Tudo isso com a facilidade do detalhamento: olhar de perto, de longe, abrir e fechar portas, aumentar e diminuir fluxos e velocidades. E, ao contrário dos jogos de computador, se o usuário muda a posição da cabeça, o objeto se desloca e muda a perspectiva do olhar.

São inúmeras as possibilidades de aplicação, muitas ainda sequer imaginadas e que, certamente, serão objeto de novas dissertações de mestrado e teses de doutorado.

“A tecnologia é a extensão dos nossos sentidos. Quando Galileu dirigiu seu telescópio para as estrelas, ele estava aumentando a capacidade da percepção humana. É exatamente isso que se faz agora com o supercomputador: expande-se a capacidade de percepção do homem para os fenômenos que o cercam”, lembra Álvaro Coutinho, responsável pelo Núcleo de Computação de Alto Desempenho (Nacad) da Coppe.



A simulação computacional é, por natureza, uma atividade multidisciplinar. O supercomputador será utilizado por pesquisadores de diversos laboratórios e programas da Coppe, em diferentes projetos de pesquisa. Com sua vasta capacidade de processar dados, o equipamento facilitará a interação de engenheiros, geólogos, químicos, físicos, biólogos e especialistas de outras áreas.

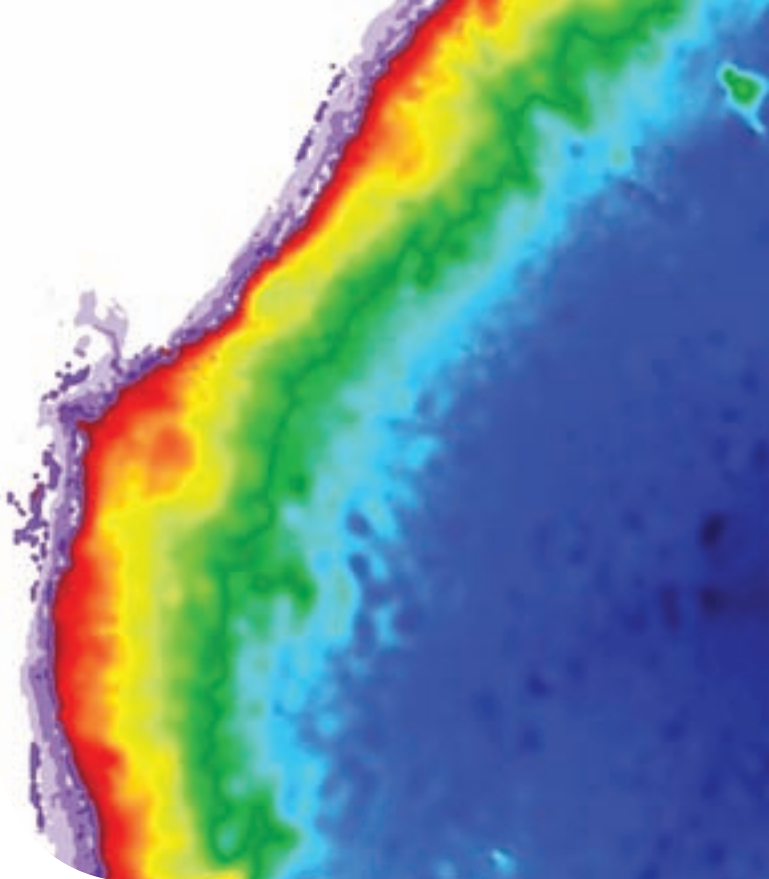
Maior capacidade computacional e técnicas de visualização mais potentes podem ser úteis para ajudar a romper uma das dificuldades do pré-sal. Os modelos de computador utilizados em trabalhos exploratórios de petróleo usam informações fornecidas por ondas sísmicas emitidas na direção que se quer estudar. De acordo com o tempo de retorno e a intensidade das ondas que são refletidas de volta, é possível conhecer as estruturas geológicas em subsuperfície. Mas a presença do sal provoca distorções e perda de resolução, dificultando o conhecimento das camadas subjacentes. Os pesquisadores da Coppe já estão experimentando diversas técnicas de simulação para tentar vencer essa dificuldade.

Quando a Coppe começou a fazer simulação computacional para a indústria de petróleo, os primeiros trabalhos se aplicavam às plataformas – era a simulação do comportamento de plataformas. Depois, os pesquisadores passaram a estudar o comportamento de fluidos em meio poroso e uma das aplicações é justamente o comportamento do petróleo na rocha reservatório. Em seguida, usaram esse conhecimento para avançar por dois novos caminhos: a área ambiental, isto é, o comportamento do óleo na natureza em caso de vazamentos acidentais; e a escala de bacia petrolífera. A simulação ajuda a entender como o óleo foi gerado numa determinada bacia, como migrou, os caminhos que percorreu, onde se concentrou, num processo que levou milhões de anos para ocorrer. São modelos complexos, em que diversos fenômenos interagem e que facilitam a previsão dos pontos onde pode haver petróleo. Isso acelera e barateia os trabalhos exploratórios em campo.

Um exemplo de aplicação de simulações e modelagens computacionais, mesmo antes da inauguração do novo supercomputador, está nos laboratórios Multidisciplinar de Modelagem de Bacias e de Sensoriamento Remoto Aplicado à Indústria do Petróleo. Nas duas instalações, a equipe liderada por Luiz Landau faz modelagens computacionais que resultam em informações estratégicas sobre o potencial petrolífero das bacias sedimentares (*imagem à direita*). Essas informações são utilizadas no planejamento energético do país e subsidiaram recentemente o trabalho de regulação e realização de leilões de áreas para exploração. No Laboratório de Sensoriamento Remoto, a combinação de satélite e computação de alto desempenho

permite monitorar o mar para captar indícios de óleo, em busca de vazamentos acidentais e de exsudações naturais, reveladoras da existência de petróleo a ser explorado naquela região.

Já em 1984, a Coppe aplicava a tecnologia de modelagem ao estudo do comportamento das camadas de sal. A especialidade, então pioneira, foi assunto de uma tese de doutorado defendida no Programa de Engenharia Civil, pelo engenheiro da Petrobras Álvaro Maia da Costa, sob a orientação do professor Nelson Ebecken.



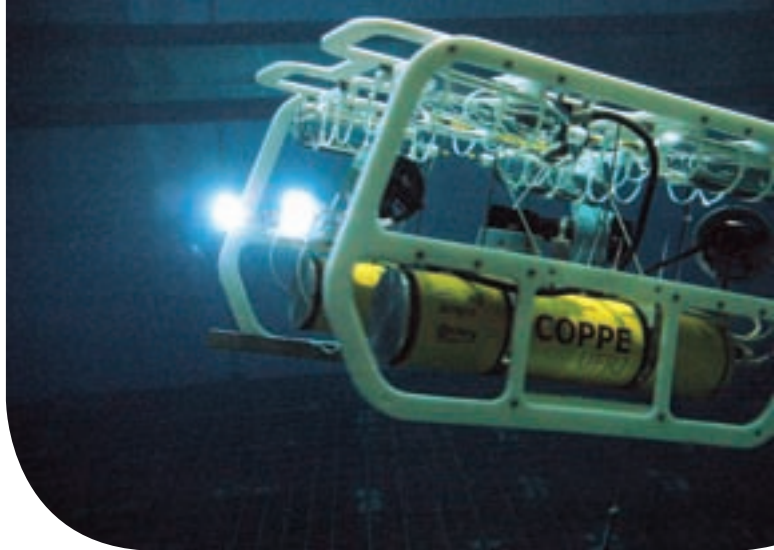
Agora, uma pesquisa de doutorado busca nova metodologia para modelagem, simulação e otimização de incertezas em estratégias de desenvolvimento de campos de petróleo e gás, baseada no hibridismo de técnicas estatísticas, simulação estocástica e processo de decisão markoviano. O objetivo é desenvolver uma metodologia para abordar de forma quantitativa as complexidades e incertezas. O alto grau de incertezas tecnológicas, ambientais e econômicas faz da exploração e produção de óleo e gás um sistema complexo, com elevado grau de aleatoriedade e difícil abordagem pelas técnicas tradicionais.

Com os recursos do novo supercomputador, os trabalhos de pesquisa para lidar com essa complexidade resultarão em muito mais informações e é até possível que dados antigos sejam revisados para gerar novas interpretações e conclusões inéditas.

Controle remoto

Se os modelos computacionais permitem simular os fenômenos e eventos das profundezas dos campos de petróleo, para saber e monitorar em tempo real o que acontece ali, só instalando instrumentação avançada, ligada em rede, para informar aos

operadores os níveis de pressão, temperatura e vazão nos poços monitorados, além de outras informações de segurança, tais como detecção de falhas e diagnósticos. Para responder às necessidades de operação nas unidades de produção, a atuação remota, inclusive por meio de robôs, pode representar uma solução, tendo em vista a distância da costa.



No fim de 2009, foi inaugurado na Coppe o Laboratório de Controle e Automação, Engenharia de Aplicação e Desenvolvimento (Lead). Sua missão é desenvolver e testar equipamentos e metodologias de automação e controle, não só para a exploração e produção de petróleo, mas também para as operações das refinarias.

O Lead é comandado pelo professor Liu Hsu, do Programa de Engenharia Elétrica e participante da equipe Grupo de Simulação e Controle em Automação e Robótica (GSCAR), que, desde os anos 90, quando as operações da Petrobras já atingiam profundidades inacessíveis aos mergulhadores humanos, vem atuando no desenvolvimento de robôs submarinos e de seus sistemas de instrumentação e controle.

Luta contra a fadiga e a corrosão

Os estudos e pesquisas que visam combater dois dos maiores inimigos das operações industriais – a fadiga e a corrosão dos materiais – acabam de ganhar um poderoso aliado na Coppe. Trata-se do Laboratório de Ensaios Não Destrutivos, Corrosão e Soldagem (LNDC), inaugurado em abril de 2009. É o único no mundo a integrar num só local as três áreas de conhecimento.

A vantagem dessa integração é que, num único lugar, é possível determinar o melhor material a ser utilizado na produção, por meio da avaliação de sua resistência à corrosão e à fadiga, e, uma vez utilizado, estimar por quanto tempo pode ainda permanecer em uso, graças às técnicas de ensaios não destrutivos que indicam a integridade do material.

Idealizado em 2001, o LNDC se tornou realidade a partir da descoberta das reservas gigantes do pré-sal na Bacia de Santos. Com 9 mil metros quadrados de área construída, num prédio de arquitetura contemporânea, o LNDC tem dois grandes tanques de testes, um com água e outro seco, para a realização de ensaios não destrutivos. No primeiro (*foto abaixo*), com 12 metros de comprimento, 6 metros de largura e 7 metros de profundidade, são simuladas condições encontradas em campo, para testar a resistência de equipamentos em uso na exploração e produção do petróleo a até 7 mil metros abaixo do nível do mar. A contenção do tanque é projetada para, se necessário, levar os equipamentos até a ruptura.

Já o tanque seco, blindado para evitar a passagem de radiação, destina-se a ensaios com raios gama, raios X e um acelerador de partículas para radiografar equipamentos em busca de trincas e fissuras. É o único no Brasil que permite a inspeção de equipamentos de grande porte para a área de petróleo.

Além disso, possui um laboratório de soldagem para testar novos materiais e metodologias de solda, essenciais para o desenvolvimento dos revestimentos para as tubulações que serão utilizadas em altas profundidades.

Um dos principais vilões das operações da indústria de petróleo são os gases corrosivos misturados ao petróleo e ao gás. No caso do pré-sal brasileiro, o problema é especialmente grave, em virtude dos altos teores de CO₂ (dióxido de carbono) e, principalmente de H₂S (ácido sulfídrico), que aceleram a corrosão dos materiais



em contato com o petróleo. As indústrias de um modo geral, e não só a do petróleo, perdem milhões de dólares por ano com problemas de corrosão.

O coordenador do LNDC, Oscar Rosa Mattos, explica que no laboratório já estão sendo desenvolvidas e avaliadas novas metodologias de testes para a indústria.

Pressão no fundo do mar

Os dutos são um capítulo à parte na indústria do petróleo. São milhares e milhares de quilômetros de tubulações especialmente suscetíveis a corrosão, fadiga e entupimentos que obrigam a interromper as operações. Na cabeça do poço, esses tubos formam uma teia, conectando vários poços a uma mesma plataforma; em seguida, conectam as plataformas aos navios que transportarão o óleo.

Como explica o professor Edison Prates, do Programa de Engenharia Civil da Coppe, os maiores desafios estão nos *risers*, os dutos que transportam o óleo e o gás para a superfície. Eles precisam suportar grandes pressões no fundo do mar (o peso da coluna d'água, que tenta esmagá-los) e ao mesmo tempo grandes trações, pois ficam pendurados a até 2 mil metros – as atuais profundidades de operação em Campos, que no pré-sal serão ainda maiores. Além de serem robustos, os dutos necessitam ter flexibilidade, porque a plataforma se move com as ondas e, se forem rígidos demais, podem se romper por fadiga. Existem materiais flexíveis que são, contudo, excessivamente caros. Então, um grande desafio hoje é construir *risers* com a dose certa de robustez e flexibilidade, a custos economicamente aceitáveis. O Núcleo de Estruturas Oceânicas (Neo) da Coppe, laboratório dedicado a testes de fadiga de *risers* flexíveis (multicamadas com armaduras de tração e carcaça para suportar a pressão), foi instalado no Parque Tecnológico em 2005.



Rigidez, flexibilidade, resistência à fadiga e aos ataques corrosivos não são os únicos problemas das tubulações. É preciso também que tenham algum tipo de proteção térmica para que resistam ao resfriamento à medida que sobem para a superfície. Dentro do reservatório, o óleo e o gás enfrentam temperaturas de 80°C a 150°C (quanto maior a profundidade no interior da terra, mais altas são as temperaturas). Quando atravessam a camada de sal em seu trajeto para o alto, perdem parte do calor, pois o sal é um difusor que esfria o fluxo térmico. Assim, quando chegam ao leito marinho, podem estar abaixo de 90°C. Ocorre que, no leito do mar, sob uma lâmina d'água de 3 mil metros, a temperatura da água é de 4°C. O esfriamento rápido do petróleo provoca a formação de coágulos que entopem as tubulações, especialmente porque no caminho até a plataforma o óleo e o gás ainda estão misturados com água e sedimentos. Só na plataforma é que é feita a separação, com a água sendo devolvida ao mar ou reinjetada no poço, e o gás e o óleo enviados ao continente.

A indústria do petróleo estuda alternativas que incluem a adição de produtos químicos ao óleo e ao gás para retardar o esfriamento, e o desenvolvimento de materiais que protejam termicamente os dutos. Há também ideias de fazer a separação da água e sedimentos ainda na cabeça do poço, o que reduziria o risco de entupimento dos *risers*. No futuro, talvez nem seja preciso manter plataformas, bastaria bombear diretamente o óleo e o gás diretamente do poço para a costa. Mas, por enquanto, é apenas um conceito que precisa ser desenvolvido.

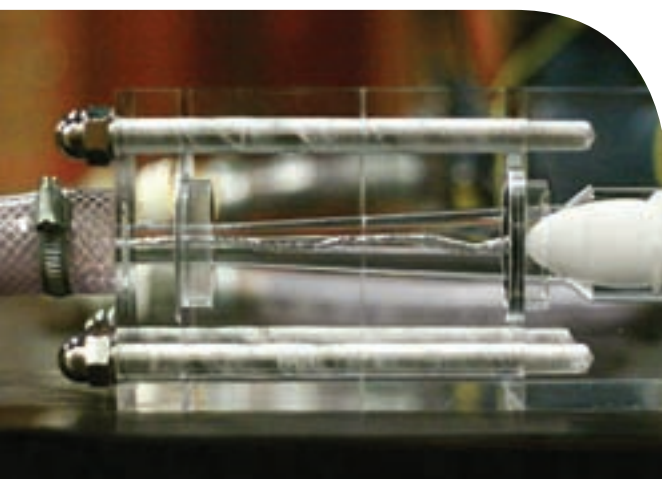


Melhorias no processo de separação de óleo, gás e água

Os esforços mais concretos atualmente visam, pelo menos, diminuir o tamanho das plataformas – e, portanto, os custos – por meio do desenvolvimento de sistemas mais compactos. Estudos dessa natureza estão sendo feitos no Programa de Engenharia Mecânica da Coppe, pela equipe comandada pelo professor Atila Freire, da área de Mecânica de Fluidos. Três laboratórios, com uma área total de 6 mil metros quadrados, estão sendo construídos com recursos da Petrobras para ajudar a melhorar as tecnologias de separação e elevação do petróleo e do gás natural. Trata-se do Laboratório de Escoamento Multifásico em Tubulações, o Laboratório de Separadores Compactos e o Laboratório de Tecnologia de Engenharia de Poços. Os dois primeiros serão inaugurados em 2010 e o terceiro, em 2011.

Atualmente, em locais como a Bacia de Campos, o óleo e o gás natural são separados da água e dos sedimentos em imensos tanques que ocupam muito espaço nas plataformas. É empregado um processo gravimétrico, isto é, os materiais mais pesados decantam e se depositam no fundo do tanque. Mesmo antes da inauguração dos novos laboratórios, a equipe de Atila já está trabalhando, com a Petrobras e a Faculdade de Engenharia de Itajubá, no aperfeiçoamento de separadores compactos, que poderão ser instalados nas plataformas ou, eventualmente, na própria cabeça do poço.

Os novos separadores funcionam por efeito ciclônico. A mistura de petróleo, gás, água e sedimentos que sai do reservatório entra na tubulação girando como um ciclone e os materiais vão se separando dentro da própria tubulação. Os mais pesados – os sedimentos – passam a correr junto às paredes do tubo, enquanto os mais leves tendem a correr mais próximos do centro. Ou seja, a areia fica nas bordas, em seguida o óleo, a água e, finalmente, bem no centro, o gás natural.



Um orgulho da equipe é um aperfeiçoamento concebido pelo Consórcio Petrobras/Coppe/Faculdade de Engenharia de Itajubá. Foi criada uma válvula ciclônica (*foto à esquerda*), que, ao contrário das válvulas convencionais utilizadas nos separadores,

impede que ocorra a emulsão. Esse fenômeno é caracterizado pela quebra das partículas de um dos materiais e sua mistura com o material que corre ao lado. Ou seja, se a emulsão ocorre, o óleo e a água, ou o gás e a água, se misturam de tal forma que fica impossível separá-los novamente depois.



Nos novos laboratórios também será estudado um dos grandes problemas associados ao pré-sal: a grande quantidade de CO_2 presente nos reservatórios. O CO_2 pode formar padrões de escoamento que aumentam a perda de carga, requerendo um aumento da pressão que faz o fluido escoar pela tubulação. Com mais perdas, o escoamento é prejudicado, a produtividade é reduzida, e os custos de produção são aumentados. A Coppe estudará os padrões de formação de escoamentos multifásicos, que têm grande variabilidade, para entender sua influência nas propriedades do escoamento. As informações obtidas permitirão aperfeiçoar os projetos de engenharia dos sistemas de escoamento.

Essas e outras informações poderão ser utilizadas para alimentar o simulador físico de poço que será instalado num dos três novos laboratórios. Assim como os simuladores de voo utilizados pela indústria aeronáutica, o simulador de poço é uma espécie de cabine de comando do poço de petróleo. Ali será possível simular um poço de petróleo de até 2 mil metros de profundidade.

Tubulações resistentes ao calor e à alta pressão

O material e a técnica construtiva das tubulações já são há bastante tempo estudados na Coppe, que até patenteou o conceito de um novo tipo de duto (*foto acima*). Trata-se do duto-sanduíche formado por duas camadas de aço, com um material polimérico no meio. O aço faz o conjunto resistir à alta pressão, e o polímero provê o isolamento térmico.

Faz parte da infraestrutura da Coppe um conjunto de câmaras hiperbáricas, do Laboratório de Tecnologia Submarina, que permitem testar os equipamentos em pressões semelhantes às encontradas no fundo do mar. A primeira câmara, construída em 1989, pode simular as pressões de até mil metros de profundidade. A mais recente, inaugurada já nos anos 2000, simula as pressões e temperaturas existentes a 5 mil metros de profundidade. E já está pronto o projeto de uma nova

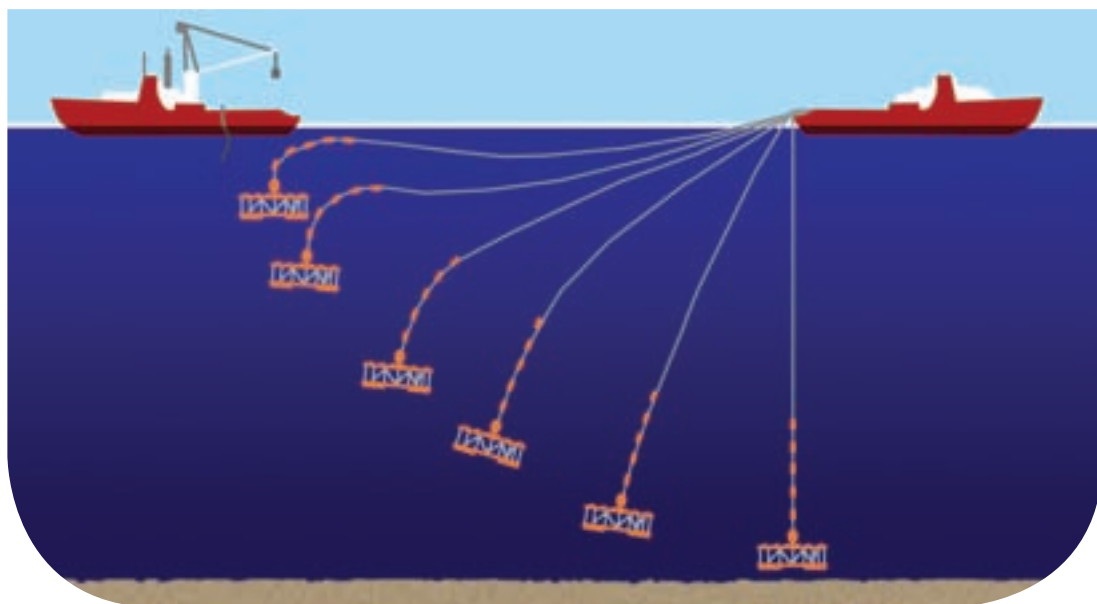
câmara, com as mesmas características, mas capaz de receber equipamentos de grande porte: terá 2,5 metros de diâmetro interno, 7 metros de comprimento e 200 toneladas de peso, podendo simular profundidades de até 7,5 mil metros (*ilustração à esquerda*).

Embora a maioria dos aços e ligas especiais usados na indústria do petróleo seja importada, é essencial saber especificar materiais adequados às características brasileiras. O falecido geólogo Giuseppe Bacocoli, professor da Coppe e técnico aposentado da Petrobras, gostava de lembrar um episódio dos anos 80, para ilustrar a importância da geração de conhecimento nacional para resolver problemas específicos do país. No começo da exploração na Bacia de Campos, os projetistas das plataformas brasileiras exigiam o emprego de um tipo de aço muito especial e dispendioso. Depois de fabricadas várias plataformas, perceberam que o tal aço era perfeitamente dispensável nas tropicais águas brasileiras. Tinha sido desenvolvido para as geladas águas do Mar do Norte, onde materiais menos nobres ficam quebradiços por causa do frio.



Competitividade para a indústria nacional

O desenvolvimento da capacidade brasileira de especificar materiais e projetar os equipamentos abre a possibilidade de fabricação nacional. Atualmente, boa parte dos materiais e equipamentos é importada, porque não há demanda local suficiente para justificar a instalação de indústrias no Brasil. Mas a nova escala de produção prometida pelo pré-sal cria novas perspectivas industriais para o país.



A própria indústria naval brasileira, que entrara em agonia nos anos 80, depois de ter sido a segunda do mundo, começa a se recuperar. Disposta a contribuir para reforçar essa tendência, desde 2006 a Coppe vem desenvolvendo projetos para acelerar o processo de construção de navios, de modo a barateá-los. Com isso, quer tornar a indústria naval brasileira mais competitiva. Numa das linhas de pesquisa, são feitas simulações computacionais dos processos de construção, para apontar a melhor forma de atuar no estaleiro. Em outra linha, batizada de Fabricação Precisa, busca-se controlar a produção dos diferentes blocos que formam um navio, de modo que, quando forem para a montagem, se encaixem perfeitamente. Isso diminui o tempo e o custo empregados na atividade.

Um exemplo da preocupação de criar e testar conceitos que facilitem e barateiem as operações no mar é uma inovação criada na Petrobras e cuja viabilidade foi demonstrada em projeto liderado pelo professor Antonio Carlos Fernandes, do Programa de Engenharia Oceânica: o método de lançamento pendular para descer equipamentos pesados até o fundo do mar, fazendo-os navegar em trajetória quase circular, por meio do uso de um cabo tensionado (*ilustração acima*).

Investigado no tanque oceânico, o procedimento inédito no mundo foi usado com sucesso em 2007, com a colocação de dois equipamentos de cerca de 280 toneladas no campo de Roncador, a 1.850 metros de profundidade. O método pendular

representa uma economia de pelo menos 50% em relação ao método de descida vertical convencional, que é inviável para equipamentos com aquelas dimensões. Tem a vantagem de dispensar o uso de um caro (e muitas vezes indisponível) sistema de compensação contra os efeitos da ressonância durante a descida do equipamento em lançamento vertical.

Já no Programa de Engenharia Civil, o professor Ronaldo Battista se debruça sobre uma nova concepção de plataforma. É uma estrutura batizada de HTLP (*hiperbolic tension leg platform*). Desenhada num formato anelar de seção elíptica, sobre tendões que geram uma superfície hiperbólica, a nova concepção pretende reduzir a força de arrasto da água e as amplitudes de movimento e, assim, diminuir a fadiga dos tendões e das tubulações. Para reduzir o peso, o professor propõe a substituição do aço por novos materiais: compósitos de carbono e poliéster.

Logística precisará de bases intermediárias

Os depósitos de petróleo e gás da camada do pré-sal brasileiro estão a cerca de 300 quilômetros da costa. É o dobro da distância dos mais afastados poços de petróleo da Bacia de Campos, que estão a não mais de 140 quilômetros. Isso significa problemas inéditos de logística para as operações. Será necessário criar alternativas para transportar equipamentos, pessoal e suprimentos para as áreas de produção.

A solução atual de transporte de pessoal e de pequenas cargas por helicópteros tem limitações para uso em áreas remotas como a região do pré-sal. Serão necessárias estruturas no meio do caminho, para funcionarem como pontos de apoio intermediários.

Uma das ideias em discussão é a construção de megaestruturas flutuantes. Equipadas com galpões, pátios de armazenamento, alojamentos, locais para atracação de embarcações e pistas de pouso capazes de receber vários helicópteros simultaneamente, essas bases intermediárias seriam como grandes ilhas artificiais. Outra possibilidade é a construção de vários grandes módulos, porém um pouco menores – uma espécie de “arquipélago” formado por várias “ilhotas”, teoricamente mais fáceis de serem instaladas e mantidas em posição.

Como as condições de mar na região são mais severas que as da Bacia de Campos, será preciso desenvolver projetos específicos e simulações numéricas e físicas com



modelos reduzidos para avaliar que tipo de estrutura se comportará melhor ante a ação das ondas, correntes e ventos.

Outra área que pode se beneficiar com as simulações é a das manobras de aproximação, conexão e aliviação (“*offloading*”), o nome dado na indústria do petróleo às operações de transferência do óleo das plataformas ou dos navios-tanque para os navios aliviadores que o transportam para a costa. Essas operações envolvem embarcações de grande porte, que precisam se aproximar com segurança e se conectar, mantendo o posicionamento em meio à ação de ventos, ondas e correntes. Segundo o professor Sergio Sphaier, do Programa de Engenharia Naval e Oceânica, a Coppe pode fazer estudos sobre a capacidade de manobrabilidade das embarcações que servirão às operações no pré-sal.

Boa parte das simulações físicas com modelos reduzidos poderá ser feita no tanque oceânico da Coppe (*foto acima*). Inaugurado em 2003, é o tanque de testes mais profundo do mundo para simulações do comportamento de estruturas oceânicas e de instalações submarinas. Tem 15 metros de profundidade e um poço central com 10 metros adicionais. Sua construção permitiu que o Brasil ingressasse numa nova era dos estudos hidrodinâmicos para avaliação do comportamento de sistemas complexos constituídos de subsistemas que respondem conjuntamente à ação das ondas. Plataformas e dutos são submetidos a testes experimentais em escala reduzida para avaliação, de forma controlada, do desempenho em situações de cargas ambientais extremas, reproduzindo as condições de um campo de petróleo. Novas concepções de plataformas e novos métodos de instalação de equipamentos também são testados no tanque.

O tanque oceânico está sendo equipado com um sistema para simular também as correntezas marinhas. A primeira etapa da nova instalação começará a funcionar no primeiro semestre de 2010.

O professor Carlos Levi explica que o sistema permite que a água seja injetada num dos lados do tanque e recolhida no lado oposto, onde entra em tubulações de recirculação externa, formando um rio dentro do tanque.

Com os três sistemas ligados ao mesmo tempo (ondas, ventos e correntes), diz Levi, haverá um nível de realismo para as simulações muito adequado para os trabalhos de interesse do pré-sal.

Tecnologia nacional para combustíveis brasileiros

A inauguração, em novembro de 2007, do Centro de Pesquisas e Caracterização de Petróleo e Combustíveis (Coppecomb) marca o início de uma nova frente de cooperação da Coppe com a Petrobras: o desenvolvimento de metodologias para melhor conhecer os tipos de petróleo brasileiro e de processos para melhorar a qualidade dos nossos combustíveis.

Nenhum petróleo é igual ao outro: as características de cada um influem nos processos de refino. Conhecer essas características é importante para determinar, por exemplo, a origem de derramamentos no meio ambiente ou mesmo a procedência de exsudações naturais.

Da mesma forma, a atividade de caracterização é importante para a especificação de motores e sua adaptação a novos combustíveis, como os biocombustíveis que tendem a se tornar cada vez mais presentes na matriz energética brasileira.

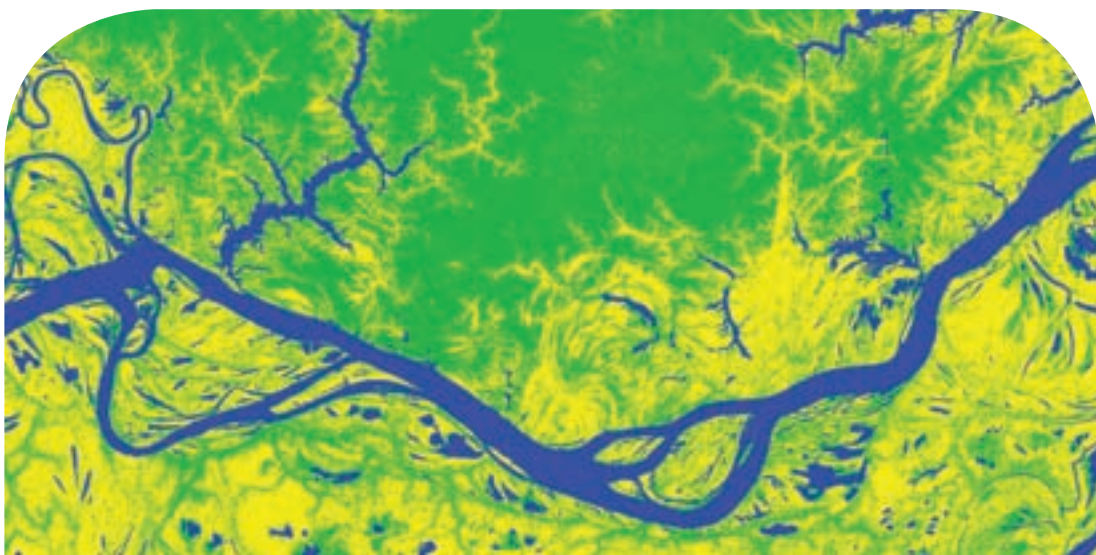
O Coppecomb reúne a competência acumulada no Programa de Engenharia Química da Coppe e é formado por seis laboratórios: preparo de amostras, cromatografia, destilação, avaliação de petróleo, químico e físico-químico.



Diálogo com o meio ambiente

Ao mesmo tempo em que busca novas tecnologias para a exploração de óleo sob a camada do pré-sal, a Coppe põe sua competência técnica a serviço da criação de uma engenharia das mudanças climáticas causadas pelo uso dos combustíveis fósseis, pelas atividades agropecuárias e pelo desmatamento. Responde, assim, à necessidade de conciliar o desenvolvimento econômico do país com medidas de mitigação e adaptação ante as mudanças ambientais globais que ameaçam a vida no planeta.

Professores e alunos da Coppe estão debruçados sobre projetos que visam expandir o uso de fontes alternativas de energia, criar formas de transporte menos poluentes e gerenciar adequadamente os recursos hídricos. Também participam da formulação de estratégias nacionais e globais, por meio do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas e do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) da ONU. A Coppe está implantando uma nova área de pesquisa, voltada para a captura e sequestro de carbono e se prepara para dar um salto no tratamento das



mudanças climáticas, desenvolvendo modelos climáticos aplicados à engenharia, um trabalho inédito no Brasil.

Por uma engenharia das mudanças climáticas

Em outubro de 2009, a Coppe e o Ministério da Ciência e Tecnologia assinaram um convênio para criação do Instituto Coppe de Energia e Clima, o primeiro do país a combinar tecnologia, engenharia e energia para identificar vulnerabilidades e propor ações de mitigação e adaptação às mudanças do clima.

O novo instituto usará toda a base de conhecimento e de laboratórios existentes nos programas da Coppe, articulando os vários grupos de pesquisa que trabalham com diferentes ângulos dos temas de energia e de meio ambiente. Utilizará o maior supercomputador do Hemisfério Sul, instalado na Coppe, para desenvolver modelos climáticos específicos para a aplicação em engenharia. Indo além dos aspectos de meteorologia e climatologia, esses modelos serão úteis, por exemplo, para o planejamento urbano, ajudando a identificar áreas adequadas ou inadequadas para a ocupação humana. Ou, num outro exemplo, para ajudar a identificar ou eliminar riscos para os ecossistemas associados à abertura de rodovias e outros projetos de infraestrutura, como os incluídos no Plano de Aceleração do Crescimento.

O Instituto terá, como núcleo integrador, uma nova linha de pesquisa a ser implantada com o início da operação do novo supercomputador da Coppe. Essa linha consistirá de modelos climáticos aplicados à engenharia para mitigação e adaptação à mudança do clima. Além disso, alimentará outros estudos nas áreas voltadas às diversas formas de energia: petróleo, gás natural, elétrica, nuclear, fontes alternativas e eficiência energética.

A Coppe possui vários grupos de pesquisa que lidam com os temas de energia e clima e tratam de tecnologias sustentáveis e energias renováveis. Com



pesquisas sobre biocombustíveis a partir de diferentes fontes – de sementes oleaginosas a esgoto e óleo de cozinha descartado (*foto à esquerda*) –, a instituição desempenhou importante papel na especificação da mistura de biodiesel ao óleo diesel consumido no país. Fez os testes químicos e mecânicos, de motores de ônibus e caminhões, que mostraram ser possível chegar à mistura de 5% de biodiesel, sem necessidade de adaptação nos motores dos veículos em circulação.

Desde 2004, o Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG) dá suporte ao Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, que é dirigido pelo presidente da República e cuja função é auscultar a sociedade brasileira para a formulação de estratégias de mitigação e adaptação às mudanças do clima. Por proposição do Fórum, o governo federal formatou em 2007 o Plano Nacional de Mudança do Clima. O Fórum também participou ativamente das discussões que definiram a posição levada pelo Brasil, em dezembro de 2009, à Conferência de Cúpula sobre o Clima, em Copenhague.

O destino do carbono

A destinação a ser dada ao dióxido de carbono, o principal gás causador do efeito estufa, é um desafio ambiental. Segundo informação do Ministério de Minas e Energia, o teor de carbono no campo de Tupi, o primeiro descoberto na região do pré-sal, é de 8% a 12%, ao passo que a média nacional é de 4%.

As fontes de emissões de gases do efeito estufa oriundas do petróleo do pré-sal são basicamente o CO₂ presente no reservatório com o óleo; as emissões, nas plataformas, de gás natural, caso não seja aproveitado comercialmente; as emissões resultantes do transporte e processamento do gás e do óleo bruto; e, principalmente, as emissões geradas pela queima do gás e seus derivados e dos derivados do petróleo. É verdade que, como lembra Alexandre Szklo, professor do Programa de Planejamento Energético (PPE) da Coppe, as emissões provenientes da combustão do óleo e do gás não serão necessariamente maiores por causa da descoberta do pré-sal. “O que cria as emissões é a demanda, não propriamente a oferta. Não são as descobertas do pré-sal que gerarão a demanda, mas sim a própria dinâmica da economia e da matriz energética mundiais”, diz ele.

Portanto, nesse aspecto das emissões, muita coisa depende do padrão que tomará a comercialização dos produtos do pré-sal. Szklo lembra que, se o petróleo for



refinado no Brasil e o país exportar derivados, as emissões brasileiras de gases de efeito estufa aumentarão, mas não necessariamente as emissões mundiais – pois o refino do petróleo do pré-sal, um óleo mais leve, deverá demandar menos energia que o refino de óleos de muito baixa qualidade, como os canadenses e venezuelanos. E se o Brasil exportar apenas o óleo bruto, as emissões brasileiras serão apenas aquelas ligadas às atividades de exploração e produção, mas não as do refino. Já as emissões mundiais poderão aumentar ou diminuir, dependendo de quem comprar o petróleo brasileiro: se forem os europeus, as emissões poderão aumentar, pois eles substituirão as cargas de óleos que compram do Oriente Médio, do Leste Europeu e do Mar do Norte, mais leves que os do pré-sal. Se forem os Estados Unidos ou o Sudeste Asiático, poderão diminuir, pois serão substituídos óleos mais pesados.

Isso não significa, é claro, que seja dispensável investir na busca de soluções para o problema das emissões. Segundo Roberto Schaeffer, professor de Planejamento Energético da Coppe, para reduzir as emissões é necessário mudar padrões de consumo. “Como essa mudança não se dará de uma hora para outra, é preciso criar a ponte que fará a transição de um mundo fortemente dependente de combustíveis fósseis para outro onde as fontes renováveis de energia terão papel predominante na matriz energética mundial. Um dos pilares dessa ponte será a captura e sequestro de carbono”, explica Schaeffer.

A Coppe está abrindo uma nova área de pesquisa para estudar e desenvolver tecnologias de captura e armazenamento de carbono. Estão sendo formatados projetos em conjunto com a China, um dos países mais avançados nessa área.

Embora os chineses estudem o assunto porque sua economia é largamente baseada na utilização de termelétricas a carvão, os projetos conjuntos com o Brasil podem ser dirigidos para o sequestro e armazenamento do carbono proveniente do petróleo. A criação, em 2009, do Centro Brasil-China de Mudanças Climáticas e Tecnologias Inovadoras de Energia, fruto de um acordo entre a Coppe e a univer-

sidade chinesa de Tsinghua, abriu o caminho para o intercâmbio entre os cientistas dos dois países.

Estímulo à vida marinha

A indústria do petróleo também se vê às voltas com a tarefa de dar um destino ambientalmente seguro a plataformas e tubulações desativadas. No Brasil ainda não há plataformas desativadas, mas já há uma grande quantidade de dutos sem serventia.

A 6 quilômetros da costa de Rio das Ostras, próximo a Macaé, a Coppe está testando recifes artificiais (*foto abaixo*), construídos com dutos descartados pela Petrobras, para estimular o crescimento da vida marinha e atrair peixes. O objetivo é desenvolver a precária pesca praticada na região. Com altura de prédios de três andares, os recifes têm formatos variados – cubos, pirâmides, prismas, mon-



tados pelo encaixe de dutos, como num jogo de armar gigante. Em poucos meses, os organismos marinhos revestem os tubos com variadas formas de vida.

Desde os anos 90, o viés ambiental aparece na maioria dos projetos relacionados a petróleo em andamento na Coppe. Em Arraial do Cabo, um equipamento de citometria ótica (*foto abaixo*) monitora a vida marinha, na superfície e em grandes profundidades. O equipamento capta a assinatura ótica dos organismos marinhos existentes na água em tempo real. Assim, é possível avaliar e acompanhar mudanças nas populações das espécies daquele ecossistema e detectar todas as perturbações relevantes. No Núcleo de Transferência de Tecnologia (NTT), liderado por Nelson Ebecken, do Programa de Engenharia Civil, engenheiros e biólogos interagem na aplicação dessa tecnologia.

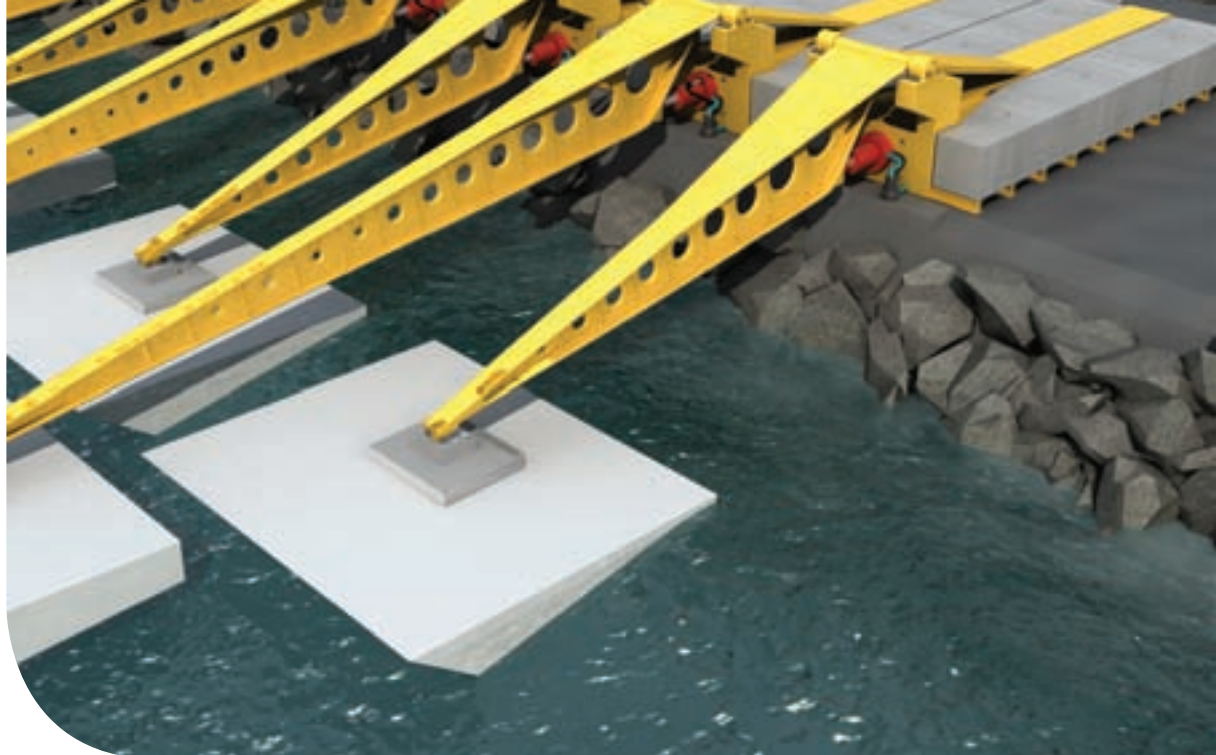
O futuro que vem dos oceanos

Vários projetos em andamento na Coppe buscam, no próprio corpo de conhecimento acumulado na exploração e produção *offshore* de petróleo, as soluções para a crise energética e ambiental. Da experiência e do conhecimento obtidos na superação dos desafios no mar surgem tecnologias voltadas para o uso de fontes renováveis e a recuperação dos impactos ambientais legados pelos combustíveis fósseis.

Um exemplo é o inovador projeto de usina para gerar eletricidade a partir das ondas do mar (*ilustração à direita*), financiado pela empresa Tractebel, dentro do Programa P&D da Aneel. A planta-piloto está em construção no porto de Pecém, no Ceará, a 60 quilômetros de Fortaleza. Segundo o professor Segen Estefen, responsável pelo projeto, o Brasil tem

potencial para produzir pelo menos 15 gigawatts de energia elétrica a partir das ondas do mar, o que equivale a cerca de 15% da potência total instalada no país hoje (como comparação, os aproveitamentos hidrelétricos do rio Madeira, na Amazônia, terão quando concluídos, juntos, 6,45 gigawatts).





Outro conceito está sendo testado para a Petrobras. Enquanto a usina do Ceará é pensada para ficar na costa, apoiada num quebra-mar ou outra estrutura semelhante, o novo conceito é baseado em estruturas flutuantes, como as plataformas de petróleo.

A mesma concepção, com modificações, está sendo estudada para extrair energia da correnteza dos rios. Usinas desse tipo supririam, por exemplo, comunidades isoladas da Amazônia e ajudariam a reduzir a dependência da região das termelétricas a diesel.

Nada é mais estimulante para o avanço do conhecimento que um obstáculo a ser vencido, uma fronteira a ser transposta. A corrida do homem para o espaço, liderada pelos Estados Unidos, resultou em aplicações revolucionárias na medicina, na indústria alimentícia e de fármacos, nas telecomunicações e até no vestuário e em objetos de uso doméstico. Assim como a usina de ondas, uma fonte de energia renovável, é fruto de tecnologias desenvolvidas para a exploração do petróleo no mar, outros projetos e aplicações surgirão do avanço do conhecimento a partir dos desafios do pré-sal. Aplicações inéditas para as estruturas *offshore* e para os novos materiais que estão sendo desenvolvidos nascerão da competência e da criatividade de cientistas e engenheiros.

A corrida para o mar é o novo passaporte para o futuro. Nessa corrida, o Brasil está na linha de frente.

Três décadas que mudaram tudo

E eles foram para o mar

Foi em 1977. Ao lado da Petrobras, que vivia então uma incessante busca por depósitos de petróleo, professores e alunos da Coppe mergulharam no mar. Ali ajudaram a erguer a tecnologia que hoje dá ao Brasil a liderança mundial da exploração e produção de petróleo em águas profundas.

Quando a Petrobras e a Coppe assinaram, em 1977, o primeiro grande convênio de cooperação celebrado entre a empresa e uma universidade, deram início a uma parceria duradoura, que ajudou a mudar a face da indústria brasileira de petróleo. A cooperação gerou até agora mais de 2 mil projetos de pesquisa, formou centenas de mestres e doutores e resultou na criação de cursos de pós-graduação *lato sensu* e de especialização.

No começo dos anos 70, a economia brasileira crescia aceleradamente. Era o chamado “milagre econômico” – movido basicamente a petróleo importado. Nessa ocasião, a Petrobras produzia algum óleo em terra e extraía outro tanto do mar de Sergipe, onde em 1968 descobrira o primeiro campo marítimo brasileiro. Eram águas rasas, não mais que 30 ou 40 metros de profundidade.

Embora executados por estaleiros nacionais, os projetos estruturais das primeiras plataformas de produção usadas no Nordeste foram feitos no exterior. Baseavam-se em especificações técnicas do American Petroleum Institute desenvolvidas para o Golfo do México.

O primeiro choque do petróleo, imposto pelos países árabes em 1973, foi um baque. A pesada dependência brasileira das importações de óleo drenava dólares, desequilibrava as contas nacionais e ameaçava interromper o crescimento econômico. Pressionada, a Petrobras intensificou os esforços para achar e produzir petróleo no mar, fazendo furos exploratórios no litoral fluminense e capixaba. Em novembro de 1974, veio a primeira boa notícia: a empresa descobrira o primeiro campo de petróleo da Bacia de Campos, o de Garoupa. Depois, em rápida sucessão, foram descobertos Pargo, Namorado e Badejo, em 1975; Enchova, em 1976; Bonito e Pampo, em 1977. Havia, porém, um grande problema: os poços prometiam muito petróleo, mas cada nova descoberta estava mais distante do litoral e em águas bem mais profundas (acima de 100 metros) que os pequenos campos do Nordeste e os do Mar do Norte e do Golfo do México, nos quais então se concentrava a experiência internacional em engenharia *offshore*.

Por essa ocasião, o Programa de Engenharia Civil da Coppe começava a estudar o uso de métodos computacionais para fazer análise estrutural. Para projetar uma estrutura, é preciso antes analisar os esforços a que ela será submetida. Estruturas como pontes e edifícios têm um comportamento relativamente fácil de analisar – além de serem estáticas, em geral a única ação dinâmica a que são submetidas é a do vento. Já as estruturas no mar interagem com uma variedade de agentes dinâmicos, como ondas e correntes marinhas, além do



próprio vento. Exigem, portanto, uma análise estrutural mais complexa. Daí a utilidade dos métodos computacionais.

A Coppe já tinha na época uma vasta experiência em análise estrutural, área de pesquisa de Fernando Lobo Carneiro (*foto à direita*), o criador e então coordenador do Programa de Engenharia Civil. Em 1976, ele trouxe para o Programa o argentino Agustín Juan Ferrante (*foto abaixo*), que trabalhava com um sistema computacional chamado Strudl (*Structural Design Language*), desenvolvido no Massachusetts Institute of Technology (MIT). Lobo Carneiro foi atraído pelas possibilidades de uso do Strudl no desenvolvimento de sistemas computacionais para a análise de estruturas complexas.

Foi de Ferrante a ideia de procurar a Petrobras e oferecer os serviços da Coppe. Afinal, à medida que rumava para águas profundas, a empresa teria de abandonar as plataformas fixas, cravadas no fundo do mar, e recorrer a plataformas flutuantes.

Convênio marca primeira parceria da Petrobras com universidade

A princípio, as conversas não evoluíram. Até que houve uma reestruturação na empresa e foi criada uma Divisão de Engenharia com a missão de dar mais ênfase a projetos *offshore*. Para chefiá-la foi nomeado Sergio Mueller, um antigo e experiente engenheiro da Petrobras. Convencido de que a empresa já havia acumulado certa experiência operacional e de construção, e que chegara a hora de desenvolver pessoal e tecnologia de engenharia, Mueller defendeu a proposta da Coppe junto a seus superiores. Em pouco tempo, estava formatado o hoje histórico convênio de cooperação. Assinado no segundo semestre de 1977 e batizado de “Recursos Computacionais de Engenharia *Offshore*”, previa a formação de recursos humanos e o desenvolvimento dos programas computacionais que permitiriam à Petrobras projetar suas próprias plataformas.

Coube a Lobo Carneiro coordenar as atividades do convênio e, assim, liderar a equipe que, nos anos seguintes, contribuiria para o desenvolvimento das tecnologias de exploração



de petróleo em águas profundas. Além de respeitado engenheiro e pesquisador, o professor Lobo Carneiro era um veterano da campanha “O petróleo é nosso”, que resultou na criação da Petrobras. Tinha até assumido uma cadeira de deputado federal só para garantir a aprovação da lei que criou a empresa em 1953.

Imediatamente após a assinatura do convênio, a Petrobras começou a enviar seus engenheiros à Coppe para realizarem cursos de mestrado, doutorado e especialização. Ao mesmo tempo, os pesquisadores dos Programas de Engenharia Civil e Engenharia Oceânica mergulharam

no desenvolvimento dos sistemas computacionais desejados pela Petrobras. Eram os sistemas que, mais tarde, seriam conhecidos como Adep (sigla para Análise e Dimensionamento de Estruturas e Plataformas) e Inpla (sigla para Instalação de Plataformas). Ambos seriam largamente utilizados pela empresa nos anos seguintes para projetar e instalar dezenas de plataformas.

Um grande impulso para a parceria Coppe/Petrobras veio em 1979, com o rompimento da torre de processamento de uma plataforma de produção projetada pela empresa norte-americana Chicago Bridge & Iron para o campo de Garoupa. Os prejuízos da Petrobras foram agravados pela interrupção da produção, justo no ano em que os países árabes promoviam um segundo choque do petróleo, com nova escalada de preços para o produto.

Nas investigações que se seguiram para apurar responsabilidades, a pequena e jovem equipe de Ferrante no Programa de Engenharia Civil – Nelson Ebecken, Edison Prates, Gilberto Ellwanger e Luiz Landau, com a ajuda de Sergio Sphaier e Paulo de Tarso Esperança, do Programa de Engenharia Naval e Oceânica – demonstrou que houve falha de projeto. Acostumados com as grandes calmarias e fortes tempestades do Golfo do México, os projetistas norte-americanos não haviam levado em conta as diferenças do mar de Campos – desprovido de grandes calmarias e tempestades, mas permanentemente agitado ao longo de todo o ano. O projeto não considerava a ação continuada de pequenas ondas, agravada pelo fato de que o conjunto do qual fazia parte a torre estava conectado a um navio, o que aumentava os esforços sobre ela e acelerava a fadiga do material. Além de explicarem por que a torre de processamento se romperia, os profissionais da Coppe ainda alertaram que o mesmo poderia acontecer com a outra torre, a de carregamento.



Graças ao laudo da Coppe, a Petrobras foi indenizada pelos norte-americanos. O episódio chamou a atenção da empresa para a eficiência da instituição e, por tabela, da universidade brasileira de um modo geral, com a qual passou a interagir cada vez mais.

A conquista do mar

As décadas de 1980 e 1990 assistiram a sucessivas quebras de recordes de produção em águas profundas pela Petrobras. A cada patamar de aumento da lâmina d'água – de 100 para 200 metros, para 300, 400, até os atuais 2 mil metros – novos desafios eram encontrados. Em quase todos, havia participação de pesquisadores da Coppe.

Em 1985, já havia em operação 33 plataformas fixas projetadas com base no trabalho da Coppe. Estavam instaladas em águas de 10 a 48 metros de profundidade, no Nordeste, no sul da Bahia e no Espírito Santo. No mesmo ano, estava em andamento o projeto das sete primeiras plataformas inteiramente nacionais da Bacia de Campos, que operariam em torno de 100 metros de profundidade.

A essa altura, a cooperação Coppe/Petrobras tinha se diversificado muito e ia de vento em popa. Dezenas de professores e alunos do Programa de Engenharia Civil e de outros programas participavam de projetos para a empresa nas mais diferentes áreas. Alguns passavam grande parte do tempo dentro do Cenpes, o Centro de Pesquisas da Petrobras, onde os profissionais da Coppe chegaram a ter uma sala e uma secretária só para eles. Mas eram tantos que não havia espaço para todos. Os mais jovens do grupo, como Luiz Landau, tratavam de ocupar as mesas de funcionários do Cenpes depois que estes encerravam o expediente. Entusiasmados, varavam madrugadas rodando programas de computador e discutindo soluções para os desafios que se sucediam.

O “caso das estacas”, como ficou conhecido, foi um desses desafios. As estacas que sustentariam as sete plataformas da Bacia de Campos tinham sido projetadas pela Petrobras com características um pouco diferentes do habitual, com o objetivo de economizar aço. Quando foram fazer o detalhamento do projeto de construção, os engenheiros da empresa verificaram que a capacidade de resistência das estacas, em relação ao solo da região, não seria exatamente o que se esperava. Se fosse empregada a tecnologia que se pretendia usar quando foi feito o pré-projeto, o

custo do estaqueamento iria mais do que triplicar, inviabilizando economicamente a instalação das plataformas.

Assim, os profissionais da Coppe ajudaram o Grupo de Desenvolvimento e Métodos do Cenpes a encontrar uma solução diferente, uma nova concepção de estaqueamento. As novas estacas tinham a ponta cônica, como um lápis, que permitia maior contato com o solo. Sob a coordenação do Cenpes, a Coppe participou dos estudos experimentais, realizando testes e medições, e depois que as plataformas foram construídas, fez a monitoração do desempenho de todas elas. As estacas de ponta cônica foram patenteadas pela Petrobras.

O pesquisador Ney Roitman, um dos participantes do projeto, lembra-se de que havia interesses econômicos poderosos contra a nova concepção. A empresa que executaria o serviço de cravação das estacas para a Petrobras estava interessada em usar uma solução própria, que já havia vendido para outros países. Os profissionais do Cenpes e da Coppe sabiam que o sucesso das estacas de ponta cônica dependia muito da forma de cravação. Se fosse aplicada uma carga muito grande, elas poderiam fissurar embaixo. Por via das dúvidas, trataram de monitorar cuidadosamente o trabalho da empresa, para garantir que não exagerasse na força aplicada.

Tecnologia permitiu avançar nas profundidades

Quando a profundidade das operações no mar de Campos alcançou a casa das centenas de metros, foi preciso abandonar as plataformas fixas cravadas no fundo do mar e recorrer a estruturas flutuantes. Primeiro, foram as plataformas semisubmersíveis. Em seguida, navios-plataforma (antigos petroleiros convertidos) também passaram a ser usados. Nesse processo, aumentou a participação dos pesquisadores do Programa de Engenharia Naval e Oceânica da Coppe, que se juntaram aos pioneiros da Engenharia Civil. Traziam com eles o conhecimento da hidrodinâmica do mar e, sobretudo, ajudavam a ampliar o conhecimento específico sobre o mar brasileiro.

As estruturas flutuantes são mantidas em posição por linhas de ancoragem que somam vários quilômetros. Quanto maior a profundidade, mais longos e pesados se tornam os cabos, maior a pressão e o desgaste a que são submetidos, maiores as dificuldades de instalação e monitoramento.

Exemplo típico de desafio vencido pela Petrobras com a ajuda da Coppe foi a substituição do aço por poliéster nas linhas de ancoragem. Mais leve, o poliéster permitiu à estatal ultrapassar a barreira dos 600 metros de lâmina d'água (uma plataforma operando nessa profundidade precisa ser ancorada por 12 linhas lançadas a 1.800 metros de distância na horizontal, formando uma teia que, se fosse de aço, ocuparia quase toda a capacidade de flutuação da plataforma). A Coppe fez a análise de confiabilidade do novo material, o que permitiu à Petrobras convencer as agências classificadoras de risco a aceitá-lo. A partir daí, todas as linhas de ancoragem passaram a ser de poliéster, resolvendo o problema da ancoragem.

Uma parte importante do trabalho da Coppe é justamente monitorar o comportamento das estruturas para informar os projetistas da Petrobras. Um dos projetos mais inovadores foi o do *riser* rígido da plataforma P-18, no começo dos anos 2000. Os *risers* são as tubulações que trazem o óleo do fundo do mar para a plataforma. Como conta o pesquisador Carlos Magluta, foram quase dois anos monitorando a resposta da plataforma e do *riser* rígido que estava sendo utilizado pela primeira vez. Esse projeto faz parte de um esforço da Petrobras para encontrar alternativas aos *risers* flexíveis utilizados atualmente, de tecnologia basicamente francesa e de custo muito alto.

Outro tipo de problema com que a indústria *offshore* tem de lidar é a corrosão dos equipamentos. Nos anos 80, José Cláudio de Faria Telles, da Coppe, desenvolveu um sistema computacional, batizado de Procat, que faz a simulação numérica de sistemas de proteção catódica. Esta é feita por anodos que emitem uma corrente elétrica absorvida pela estrutura que se quer proteger. O potencial na estrutura vai então para uma faixa onde não ocorre a oxidação que provoca a corrosão. O Procat permite simular o trajeto da corrente pela água do mar até a estrutura. Até hoje, está em plena utilização pela Petrobras. Tem sido aplicado também por outras empresas e não apenas sob a água. Recentemente, foi adaptado para um estudo sob a terra: a corrosão das fundações de torres de transmissão de energia elétrica.

A experiência acumulada pela Coppe desde aqueles primeiros trabalhos em análise dinâmica hoje é aplicada também na chamada manutenção proativa ou preditiva. Trata-se de monitorar um equipamento ou conjunto de equipamentos, para identificar um problema numa fase inicial e acompanhá-lo para detectar o momento em que é preciso parar a operação para providenciar o reparo. No Programa de Engenharia Oceânica, o pesquisador Tiago Lopes e sua equipe desenvolveram um sistema completo para monitorar os turbocompressores, máquinas cuja função é

comprimir o gás natural extraído do fundo do mar antes de enviá-lo ao continente. A mesma equipe, na década de 1980, desenvolveu um sofisticado sistema de monitoramento da fadiga de juntas tubulares em plataformas fixas.

As pesquisas da Coppe também auxiliam a operação das plataformas. Um exemplo são os chamados diagramas de *offset*, o estudo do deslocamento máximo que a plataforma pode sofrer sem se desconectar de tubulações e amarras e, portanto, sem afetar a produção. Esses diagramas começaram a ser implementados na Bacia de Campos em 2007.

A tendência é o uso cada vez maior de tecnologias inteligentes. Isso envolve o uso de complexos sistemas e ferramentas computacionais, de novos materiais e de sistemas de controle a distância. A crescente complexidade exige um alto grau de interdisciplinaridade, com pesquisadores de diferentes áreas mobilizados para contribuir com seus conhecimentos específicos. Foi assim que outros programas da Coppe – entre eles, os de Engenharia Mecânica, Química e Metalurgia – se juntaram ao de Engenharia Civil e ao de Engenharia Naval e Oceânica na execução de projetos para a Petrobras.

O convênio de cooperação assinado em 1977 foi extinto no começo dos anos 90. Não fazia mais sentido mantê-lo, pois a cooperação com a Petrobras já então se dava em muitas frentes e com múltiplas formas de financiamento. Ganhara vida própria. No fim de 2009, a parceria Coppe e Petrobras já contabilizava mais de 2 mil projetos.



A Coppe

A Coppe – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia – nasceu disposta a ser um sopro de renovação na universidade brasileira e a contribuir para o desenvolvimento do país. Fundada em 1963, a instituição que ajudou a criar a pós-graduação no Brasil foi fundada pelo engenheiro Alberto Luiz Coimbra e teve como embrião o curso de mestrado em Engenharia Química da então Universidade do Brasil, hoje Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Ao longo de quatro décadas, a Coppe tornou-se o maior centro de ensino e pesquisa em engenharia da América Latina. A instituição, que possui 12 programas de pós-graduação *stricto sensu* (mestrado e doutorado), já formou mais de 11,5 mil mestres e doutores e conta hoje com 325 professores doutores em regime de dedicação exclusiva, 2.600 alunos e 350 funcionários, entre pesquisadores e pessoal técnico e administrativo. Possui 116 modernos laboratórios, que formam o maior complexo laboratorial do país na área de engenharia.

Apoiada nos três pilares que desde sempre a norteiam – a excelência acadêmica, a dedicação exclusiva de professores e alunos, e a aproximação com a sociedade –, a Coppe destaca-se como centro irradiador de conhecimento, de profissionais



qualificados e de métodos de ensino, servindo de modelo para outras universidades e institutos de pesquisa em todo o país.

O padrão de excelência se reflete na produção acadêmica. Anualmente são defendidas na instituição cerca de 200 teses de doutorado e 400 dissertações de mestrado. Seus pesquisadores publicam por ano, em média, 1.800 artigos científicos em revistas e congressos, nacionais e internacionais. Na última avaliação da Capes, oito dos 12 cursos da Coppe obtiveram os conceitos 6 e 7, os mais altos do sistema, atribuídos a cursos com desempenho equivalente aos dos mais importantes centros de ensino e pesquisa do mundo. Dos dez cursos de pós-graduação de engenharia oferecidos no país que obtiveram conceito 7, seis são da Coppe.

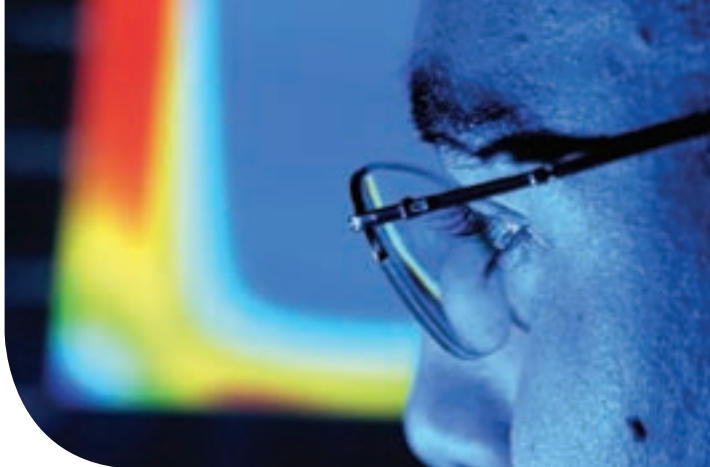
Seus profissionais e sua infraestrutura de pesquisa estão permanentemente preparados para responder às necessidades do desenvolvimento econômico, tecnológico e social do país. Graças a essa sintonia com o futuro, a Coppe se tornou referência nacional e internacional no ensino e pesquisa de engenharia e vem ajudando o Brasil a enfrentar alguns dos mais importantes desafios de sua história recente.

Apoiada na qualidade da infraestrutura e dos recursos humanos de que dispõe, a instituição se lançou num ambicioso projeto de atuação internacional, iniciado em 2008, com a criação do Centro Brasil-China de Mudança Climática, Energia e Tecnologias Inovadoras, uma parceria com a Universidade de Tsinghua, principal universidade chinesa na área de engenharia. O Centro está sediado na Universidade de Tsinghua, em Pequim, onde mantém um escritório para coordenar suas atividades e estabelecer contatos com empresas brasileiras e chinesas potencialmente interessadas nas tecnologias que serão desenvolvidas em conjunto.

Compromisso com o país e a sociedade

A Coppe se caracteriza pela sua capacidade de se manter sempre um passo adiante das demandas da sociedade brasileira. Ciente da importância do papel da ciência e da tecnologia para o desenvolvimento do país, criou uma estrutura voltada para a gestão de convênios e projetos. Desde que foi inaugurada, em 1970, a Fundação Coppetec já administrou mais de 10 mil convênios e contratos com empresas, órgãos públicos e privados e entidades não-governamentais nacionais e estrangeiras.

Foi pioneira na aproximação da academia com a sociedade. Transformando resultados em riquezas para o país, criou em 1994 a Incubadora de Empresas, cuja atuação já favoreceu a entrada de 90 serviços e produtos inovadores no mercado. Por ela passaram 38 empresas, que já ganharam autonomia, e outras 19 estão nela abrigadas. Mais de 50% das empresas atuam na cadeia do petróleo.



A instituição também colocou a engenharia e suas tecnologias para enfrentar a pobreza e as desigualdades sociais, lançando uma ponte entre o Brasil dos incluídos e o dos excluídos. Para atuar nessa frente de trabalho, inaugurou em 1995 a Incubadora Tecnológica de Cooperativas Populares, que se tornou referência e teve seu modelo replicado em outros estados e países. Já graduou 83 cooperativas e criou milhares de postos de trabalho.

A Coppe se transformou em referência sem perder a essência que deu origem a sua história: a ousadia, o espírito crítico, a profunda ligação com a realidade brasileira, o compromisso com a inovação e com o desenvolvimento do Brasil.

COPPE/UFRJ

Diretoria

Luiz Pinguelli Rosa – Diretor

Aquilino Senra Martinez – Vice-diretor

Segen Farid Estefen – Diretor de Tecnologia e Inovação

Edson Hirokazu Watanabe – Diretor de Assuntos Acadêmicos

Guilherme Horta Travassos – Diretor de Planejamento e Administração

Fundação Coppetec

Segen Farid Estefen – Diretor Superintendente

Marcos Cavalcanti – Diretor Executivo

Fernando Peregrino – Superintendente

Programas de Mestrado e Doutorado

Programa de Engenharia Biomédica (PEB)

Coordenador: Antonio Maurício Ferreira Leite Miranda de Sá

Vice-coordenador: Wagner Coelho de Albuquerque Pereira

<http://www.peb.ufrj.br>

Programa de Engenharia Civil (PEC)

Coordenador: Fernando Luiz Bastos Ribeiro

Vice-coordenador: José Antonio Fontes Santiago

<http://www.coc.ufrj.br>

Programa de Engenharia Elétrica (PEE)

Coordenador: Luis Guilherme Barbosa Rolim

Vice-coordenador: José Manoel de Seixas

<http://www.pee.ufrj.br>

Programa de Engenharia Mecânica (PEM)

Coordenador: Marcelo Amorim Savi

Vice-coordenador: José Luis Lopes da Silveira

<http://www.mecanica.coppe.ufrj.br>

Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (PEMM)

Coordenador: Luis Marcelo Marques Tavares

Vice-coordenadora: Marysílvia Ferreira da Costa

<http://www.metalmat.ufrj.br>

Programa de Engenharia Nuclear (PEN)

Coordenador: Su Jian

Vice-coordenador: Nilson Costa Roberty

<http://www.con.ufrj.br>

Programa de Engenharia Oceânica (PENO)

Coordenador: Murilo Augusto Vaz

Vice-coordenador: Sérgio Hamilton Sphaier

<http://www.peno.coppe.ufrj.br>

Programa de Planejamento Energético (PPE)

Coordenador: Alexandre Salem Szklo

Vice-coordenador: Mauricio Cardoso Arouca

<http://www.ppe.ufrj.br>

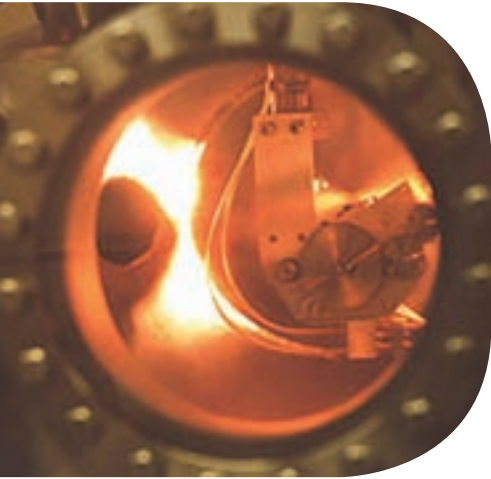
Programa de Engenharia de Produção (PEP)

Coordenador: Fábio Zamberlan

Vice-coordenadora: Anne-Marie Maculan

<http://www.producao.ufrj.br>





Programa de Engenharia Química (PEQ)

Coordenador: Cristiano Piacsek Borges

Vice-coordenador: Paulo Laranjeira da Cunha Lage

<http://www.peq.coppe.ufRJ.br>

Programa de Engenharia de Sistemas e Computação (PESC)

Coordenador: Geraldo Bonorino Xexéo

Vice-coordenador: Luis Alfredo Vidal de Carvalho

<http://www.cos.ufRJ.br>

Programa de Engenharia de Transporte (PET)

Coordenador: Carlos David Nassi

Vice-coordenador: Márcio de Almeida D'Agosto

<http://www.pet.coppe.ufRJ.br>

Cursos *lato sensu*

MBE – Pós-graduação Executiva em Meio Ambiente

Coordenador: José Márcio Almeida

<http://www.mbcursos.com.br>

MBP – Pós-graduação Executiva em Petróleo e Gás Natural

Coordenadora: Suzana Kahn Ribeiro

<http://www.mbcursos.com.br>

MBT – Pós-graduação Executiva em Transportes

Coordenador: Márcio Peixoto

<http://www.pet.coppe.ufRJ.br/mbt>

Segurança Aplicada aos Projetos de Exploração e Produção de Petróleo

Coordenador: José Márcio Vasconcelos

<http://www.oceanica.ufRJ.br/labeco>

Pós-graduação em Sistemas Offshore

Coordenador: José Márcio Vasconcelos

<http://www.oceanica.ufRJ.br/labeco>

Gestão do Conhecimento e Inteligência Empresarial

Coordenador: Marcos Cavalcanti

<http://www.crie.coppe.ufRJ.br/mbkm>

Engenharia de Planejamento

Coordenador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

http://www.producao.ufRJ.br/curso_MBA.htm

CESERG – Curso de Especialização Superior em Ergonomia

Coordenador: Mário Vidal

<http://www.ergonomia.ufRJ.br/ceserg>

A Coppe em números

Total de títulos concedidos*

8.649 mestres
2.670 doutores

Produção acadêmica anual**

378 dissertações de mestrado
213 teses de doutorado

Interação com a sociedade (governos, empresas e sociedade civil)

10 mil contratos*
1 mil projetos em andamento**
61 patentes depositadas*

Infraestrutura e recursos humanos***

325 professores doutores
2.604 alunos (1.704 mestrandos e 900 doutorandos)
50 pesquisadores pós-doutores
350 funcionários
116 laboratórios
Uma incubadora de empresas de base tecnológica
Uma incubadora de empresas de base tecnológica para a área de gás e petróleo (com início de funcionamento previsto para 2010)
Uma incubadora de cooperativas populares
Um núcleo de atendimento em computação de alto desempenho

* Até 2008 ** Em 2008 *** Em 2009



Expediente

Editora

Dominique Ribeiro

Redatora

Terezinha Costa

Repórter colaboradora

Lúcia Seixas

Produtores executivos

Carla Maria da Silva

Carlos Ribeiro

Michelle Pereira

Rosimeire Marostica

Assistente de produção

Daiana Pralon Garcia

Revisão de texto

Marcelo Bessa

Fotografia

Somafoto

Banco de Imagens Petrobras/Geraldo Falcão

Banco de Imagens Petrobras/Bruno Veiga

Agência de Notícias Petrobras

Projeto gráfico

Editora E-papers

Impressão

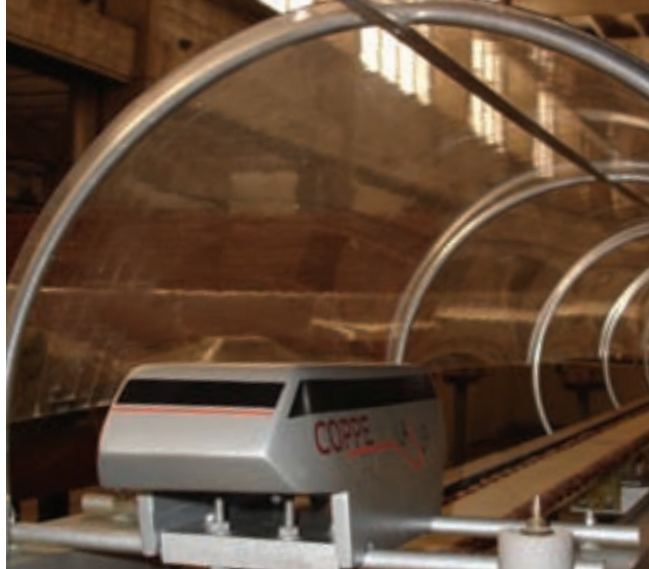
Gráfica Colorset

Assessoria de Comunicação da Coppe/UFRJ

E-mail asscom@adc.coppe.ufrj.br

<http://www.planeta.coppe.ufrj.br>

Prédio do Centro de Tecnologia, Bloco G
Cidade Universitária, Ilha do Fundão
CEP 21949-9000 – Rio de Janeiro – RJ
Telefones (55 21) 2562-8318 / 2562-8319







www.coppe.ufrj.br