



COMPLEXO ETILENO XXI UTILIZOU TÉCNICA DE MELHORAMENTO RÁPIDO DE SOLOS MOLES POR MEIO DE DRENOS A VÁCUO

Inaugurado neste ano, o empreendimento coleciona prêmios internacionais e desafios

Por Dellana Wolney



Imagens aéreas do Complexo Etileno XXI na cidade de Coatzacoalcos, Estado de Veracruz, no México

Após 15 anos de tentativas dos governos mexicanos de instalar uma indústria petroquímica privada no país, o grupo Braskem Idesa inaugurou recentemente o Complexo Etileno XXI localizado na cidade de Coatzacoalcos, Estado de Veracruz, México. Trata-se do maior complexo petroquímico da América Latina, pois abrange uma área de aproximadamente 250 hectares, com as edificações industriais concentradas numa área aproximada de 160 hectares.

Embora a Braskem Idesa tenha vencido o leilão para a construção do complexo petroquímico em 2009, a sua construção já havia começado há seis anos. O Projeto Etileno XXI faz parte de resultados da reforma energética e da confiança de empresas que queriam investir no México, tanto que o projeto foi financiado por 17 bancos nacionais e internacionais, incluindo o Banco Mundial, o Banco Interamericano de Desenvolvimento e bancos de desenvolvimento no México e no Brasil.

Como resultado houve um investimento de 4,5 bilhões de dólares no Complexo Etileno XXI que terá capacidade de processamento de 66 mil barris por dia de etano, produzindo anualmente 1,05 milhões de toneladas de etileno, matéria-prima para a produção de 750 mil toneladas de polietileno de alta densidade e 300 mil toneladas de polietileno de baixa densidade.

O empreendimento é composto por uma planta de craqueamento térmico de etano e três plantas de polietilenos: duas de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e uma de PEBD (Polietileno de Baixa Densidade). A construção do complexo petroquímico ficou a cargo da construtora Odebrecht e os projetos executivos, multidisciplinares, foram feitos por empresas projetistas, dentre elas, a GeoCompany Tecnologia, Engenharia & Meio Ambiente.

TRABALHOS INICIAIS

Já nas primeiras etapas de desenvolvimento e construção, o grande complexo se deparou com desafios, um deles foi desenvolver um projeto executivo de modo a viabilizar que uma região do terreno destinada às unidades de craqueamento de etano (*cracker*), que deveriam ser instaladas em fundação direta sob uma região de aterro projetado de 10 metros de altura, apoiado em um pacote de solos moles com espessuras superiores a 18 metros e de área superior a 100 mil metros quadrados, suportasse recalques máximos praticamente desprezíveis, da ordem milimétrica, em um tempo médio de construção total de um ano.

O projeto executivo de melhoramento de solos foi dimensionado de acordo com os requisitos de projeto estabelecidos pela empresa projetista estrutural das obras civis que previu: obter uma plataforma de trabalho estável para suportar as cargas dos equipamentos de construção durante a implantação do complexo e conseguir, após o término do tratamento de solos, recalques residuais negligenciáveis para a carga do aterro construído.

De acordo com o diretor de Administração e Finanças da Odebrecht Engenharia e Construção Internacional, Paulo Levita também foi calculado no projeto atender a capacidade de carga para fundações rasas de 50 kPa com até quatro metros quadrados com recalques admissíveis de 25 mm, e manter as elevações das plataformas preestabelecidas. "Foram desenvolvidos estudos geológicos e geotécnicos extensos para o conhecimento das camadas de solo locais, bem como seus parâmetros necessários para a elaboração do projeto de melhoramento de solos e alteamento dos aterros", afirma.

Os perfis geológicos e cortes estratigráficos obtidos no local indicaram a sobreposição de quatro unidades geotécnicas principais: lutita moderadamente intemperizada (UG-4), lutita fortemente intemperizada (UG-3), lutita intensamente intemperizada (UG-2) e solo residual (UG-1) na superfície. A resistência à penetração do solo era de mínima a nula nas camadas superficiais e em regiões baixas, ocorrendo alta resistência à penetração nas camadas menos intemperizadas de lutita. Por fim, o nível d'água se apresentou na camada superficial de solo residual a poucos metros da superfície.



Para a elaboração do projeto, o professor do Departamento de Estruturas e Fundações da Poli-USP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) e diretor técnico da GeoCompany Tecnologia, Roberto Kochen conta que foi realizada uma visita técnica à obra que constatou que o local apresentava ondulações suaves, atingindo cotas máximas em torno de 50 m e cotas mínimas em torno de 9 m, sendo que nas partes altas havia solo residual de lutita e nas partes baixas, argilas muito moles a moles, com gênese de alteração de lutita.

“A lutita apresenta rocha matriz argilosa, expansiva, com elevada alterabilidade na presença de água. Nos cortes em Lutita Pouco Alterada (UG-1) existe a possibilidade de expansão por alívio de tensões e saturação. Os locais de argila mole apresentam baixa resistência e elevada compressibilidade, havendo sondagens disponíveis em que o índice SPT (*Standart Penetration Test*) obtido é nulo (a haste afunda por peso próprio), e há relatos de caminhão de sondagem ter afundado e atolado nesses locais, observando a espessura de solo muito mole de até 8 metros”, explica Kochen.

LEVANTAMENTO E PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Para a definição dos parâmetros geológicos e geotécnicos da área de interesse, a fim de presumir os dados de entrada do projeto, bem como de ensaios de laboratório e caracterização completos, foram realizadas sondagens SPT e indicadores do nível da água, necessárias para investigar

em profundidade a região, delimitando-a, e para descrever com maior precisão os parâmetros do solo. Também foram feitos ensaios CPTU (*Cone Penetration Test*) para uma análise preliminar dos parâmetros de compressibilidade e consolidação das áreas de argila mole. Também foi possível determinar *in situ* a SU (Resistência Não-Drenada) dos depósitos de argila mole.

Para as finalidades de dimensionamento provisório, pois os solos moles passaram por melhoramento de solos por geodrenos a vácuo, a camada de solo mole foi considerada homogênea e sua envoltória de resistência favorável à segurança para o comportamento global da camada de solo mole. Kochen diz que pontos de resistência muito acima ou muito abaixo da tendência geral de resistência não drenada do solo foram desprezados, conforme a boa prática da engenharia, pois não representam o comportamento global do solo.

“Por meio dos ensaios CPTU realizados, a resistência não drenada das argilas pode ser aferida em função do local e profundidade, em vez de constante para toda camada de solo mole. É importante notar que a resistência não drenada dos solos moles do Projeto Etileno XXI apresentam parâmetros de mesma ordem de grandeza que os solos moles sedimentares quaternários do litoral brasileiro, especialmente nas cidades de Santos (SP) e Rio de Janeiro (RJ)”, esclarece o engenheiro Roberto Kochen.

A resistência não drenada desses solos é mínima e apresenta riscos de rupturas de deslizamentos caso os limites de alteamento de aterro prescritos em projeto não sejam respeitados. De forma direta, isso significa que as regiões de grande

rescre-
mbém
ra uma
idade e
ossível
os de-
pois os
or geo-
da ho-
guram-
o mole.
muito
do solo
nharia,
o.
ia não
local e
ada de
renada
parâme-
sles se-
mente
parece o
resenta
e altea-
speita-
grande

espessura de solo mole apresentariam patamares inter-
diários construtivos, com acompanhamento da instrumen-
tação para prosseguir na construção do aterro definitivo e
nas plataformas de trabalho necessárias para a implantação
do Projeto Etileno XXI.

Nas etapas de sondagens, foram identificados os parâ-
metros de resistência à penetração simples; estratos de camada
de solos; teor de umidade e limites de Atterberg; granulo-
metria e porcentagem de finos; densidades e pesos espe-
cíficos; módulo de elasticidade e parâmetros de resistência
Mohr-Coulomb. Para o dimensionamento de aterro sobre
os referidos solos moles, foram obtidos parâmetros de com-
pressibilidade, permeabilidade e resistência não drenada
após a campanha de ensaios CPTU.

Esses parâmetros geotécnicos foram alcançados e detalha-
dos para dimensionamento e detalhe de engenharia do pro-
jeto de Melhoramento de Solos do Etileno XXI, respectiva-
mente: compressibilidade, que é a estimativa dos recalques
durante o período construtivo e após a execução da obra;
permeabilidade que é a estimativa do tempo de adensa-
mento do solo mole e detalhamento do cronograma de exe-
cução dos aterros; resistência não drenada, que determina a
resistência do solo mole ao deslizamento, risco evidente nas
regiões de maiores espessuras de solo mole e maior espes-
sura de aterro.

SOLUÇÃO ADOTADA

Por meio da avaliação geotécnica do levantamento realizado
no Projeto Etileno XXI, Kochen afirma que os geodrenos a vácuo

O COMPLEXO PETROQUÍMICO INCLUI AS SEGUINTE INSTALAÇÕES:

- *Cracker* de eteno a partir de etano, utilizando tecnologia proprietária da Technip;
- Duas plantas de polietileno de alta densidade utilizando tecnologia INEOS Innovene;
- Uma planta de polietileno de baixa densidade utilizando tecnologia BASEL Lupotech;
- Instalações de armazenagem, tratamento de resíduos e utilidades, que incluirá uma planta de cogeração de ciclo combinado de energia e vapor de 150 MW;
- Uma plataforma logística multimodal para transporte de 1 milhão de toneladas de polietileno por ano através de trens e caminhões de carga ou ensacados;
- Prédios administrativos, de manutenção, de apoio e sala de controle.

foram a melhor solução em termos técnicos e econômicos para este tratamento de solo mole. O dimensionamento realizado estimou o que também foi posteriormente confirmado, que essa técnica demandaria de quatro a cinco meses de consolidação e recalque máximo de 0,97 metros durante a construção das áreas de depósitos de argila mole com maior espessura.

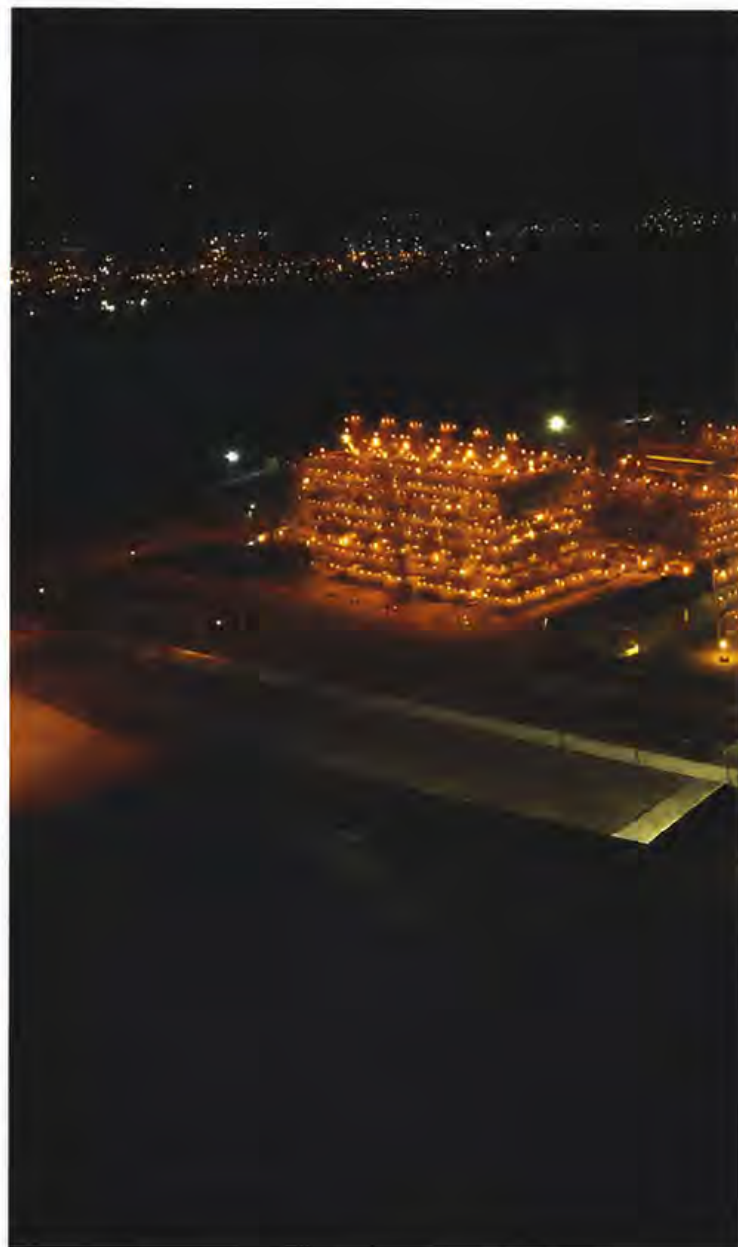
INOVAÇÕES E MELHORIAS:

- Uma liga inovadora chamada Centralloy HTE para Schmidt+Clemens (X45NiCrAlNb 45-35-4) foi utilizada nas bobinas do forno de cracker, permitindo uma maior eficiência energética na produção de etileno;
- A maior torre de refrigeração de água na América Latina, com 90.000 m³/h de fibra de vidro e 22 células;
- As estruturas metálicas da área de polimerização da planta de HDPE (*High-density polyethylene* – sigla em inglês para Polietileno de Alta Densidade) foram erguidas por meio da modularização para, simultaneamente, pré-erguer estruturas, reduzindo o tempo de construção, custo de máquinas pesadas e mão de obra e quase eliminando o uso de andaimes;
- Cerca de 10.650 toneladas de tubulação foram pré-fabricadas;
- Empilhamento não estrutural foi desenvolvido para melhorar a estabilidade, dadas as condições pantanosas do terreno;
- Recuperação de 90% da condensação dos sistemas de vapor e recuperação de 65% dos efluentes para serem reutilizados na fábrica;
- Planta de 160 MW de cogeração utilizando vapor produzido na planta, o que melhorou o desempenho energético.

A baixa permeabilidade dos solos moles do complexo demandou uma sobrecarga adicional para consolidações, o que é mais econômico por meio de geodrenos a vácuo do que de sobrecarga regular de solo, devido as grandes áreas envolvidas. Esta etapa consistiu na inserção de Drenos Verticais Pré-Fabricados feitos de material plástico flexível, cobertos com geotêxtil drenante associados à aplicação a vácuo. Tais drenos são inseridos verticalmente no terreno, com a ajuda de um mandril de aço, cujas seções geralmente são retangulares.

Eles podem ser inseridos em solos extremamente moles, em profundidade de mais de 35 metros, dependendo dos equipamentos disponíveis no local. Os canos liberam a carga em um coletor conectado a um sistema a vácuo. Valas são escavadas no perímetro do aterro, de modo que sua base esteja localizada abaixo do nível da água. Em condições ideais é possível induzir a sucção na ordem de 70 kPa em solo mole, o que corresponde à aplicação de uma altura de aterro equivalente a quatro metros, sem riscos de deslizamentos.

Segundo Kochen é desejável aplicar um preenchimento de sobrecarga, de modo que a depressão de recalques seja preenchida, além de evitar um retorno a níveis de tensão muito baixos. Os geodrenos a vácuo demandam uma instrumentação própria na construção do aterro para deformação, po-



repressão e outras análises de desvios que possam autorizar procedimentos com a construção do aterro depois de cada etapa de consolidação.

ÊXITO

O dreno a vácuo ainda é uma técnica inovadora e funciona como sobrecarga e também aumenta a capacidade de drenagem do sistema. A trajetória de tensões resultante da aplicação destes esforços favorece a estabilidade dos aterros sobre solos moles durante o período construtivo. No caso do Projeto Etileno XXI, o sistema de melhoramento de solos com drenos a vácuo foi dimensionado para desenvolver os recalques primários (adensamento) e secundários durante o tempo de construção dos aterros, diminuindo os recalques a longo prazo.

Para a GeoCompany, o sucesso desta etapa do empreendimento está ligado ao cronograma da obra, porque



a execução dos aterros foi concluída em um período de cinco meses. Em menos de um ano houve a elaboração do projeto e a execução, monitoração e liberação da área da plataforma de craqueamento térmico do empreendimento. A instrumentação projetada e aplicada durante a etapa construtiva, além de liberar as etapas de alteamento dos drenos e aterros de modo dinâmico e seguro, foram fundamentais para o controle da segurança, pelo monitoramento da estabilidade da obra ao longo das etapas construtivas.

O engenheiro Roberto Kochen destaca que o êxito do projeto foi possibilitado também pelo forte alinhamento de conceitos, metas e ações do empreendedor (Braskem) e do construtor (Odebrecht), em relação à geologia do local. "O movimento de terra foi realizado em um prazo curto, considerando que o sítio vive sob o regime de chuvas intensas e está permanentemente sujeito a fatores de risco imprevisí-

veis, tais como furacões, terremotos e greves (todos potencialmente negativos para o cronograma de obras)".

Ele revela que foi feita a opção pelos Drenos Verticais Profundos com aplicação de vácuo para a aceleração dos recalques; por ser uma técnica mais rápida (cada dreno poderia ser cravado e instalado em menos de dez minutos) e mais econômica (cerca de cinco vezes mais barata que colunas de brita e dez vezes mais barata que o uso de *jet grouting*, numa área de aproximadamente 100 mil metros quadrados).

"O trabalho atendeu aos requisitos de cronograma de economia, superando desafios inéditos para a GeoCompany, como a necessidade de implantar e iniciar a operação dos drenos a vácuo em prazo inferior a dois meses, de acelerar os recalques para que eles ocorressem segundo o cronograma da fase de construção. Foi mais uma vitória da engenharia e da geotecnia", pontua Kochen.



AÇÕES DE ÂMBITO SOCIAL:

O projeto instituiu planos e programas para promover relações positivas em sua área de influência e contribuir para o desenvolvimento local da região, o que resultou em muitos benefícios para as comunidades do entorno. De 2012 a 2014, podem ser citadas:

- 46 novas pequenas empresas locais receberam apoio econômico indireto do projeto;
- Foram formadas cinco cooperativas formalizadas, resultantes das oficinas de treinamento de habilidades produtivas, beneficiando 255 mulheres;
- Um mecanismo de reclamações chamado *Conexión* foi introduzido para identificar necessidades específicas de adaptação e para servir como um "termômetro social" para o ambiente de trabalho e as percepções da comunidade;
- Em Nahualapa e Pollo de Oro, o acesso à eletricidade passou de 0% a 100 %;
- O acesso a redes de esgotos adequadas em Democracia e Libertad aumentou de 30% para 100%;
- O acesso ao tratamento de resíduos sólidos era 12,6% em média, sendo que três comunidades tinham acesso zero. Depois de investimentos do projeto, a média subiu para 75,6%, com a maioria das comunidades adquirindo 100% de acesso.

CONCEITO E AÇÕES

Durante os quatro anos que durou a fase de construção, o Projeto Etileno XXI contratou mais de 28 mil pessoas de 29

nacionalidades diferentes. Utilizando um modelo de gestão de recursos humanos diferenciado, chegou ao pico da construção no fim de 2015 com 17.055 integrantes e com nenhuma paralização por greve. O destaque do modelo foi a desmobilização da mão de obra direta que, por meio do programa de realocação "Enlace" facilitou nos últimos sete meses da construção que 15 empresas que atuam no México ofertassem trabalho para mais de sete mil integrantes, dos 11 mil desmobilizados.

Operacionalmente foi montado um espaço amplo e confortável para que os trabalhadores estivessem em um ambiente com o mesmo nível, ou melhor que o do momento da sua contratação. O processo foi conduzido por uma equipe de RH (Recursos Humanos) experiente em conjunto com a *Junta de Conciliação* que é parte da Secretaria de Trabalho Estadual que atesta o cálculo da rescisão do contrato e as empresas parceiras que foram recrutar os trabalhadores juntamente com o sindicato.

Com a experiência adquirida no Projeto Etileno XXI, Paulo Levita diz que convencer as empresas parceiras a mobilizar a Nachital com o objetivo de recrutar a mão de obra qualificada que seria admitida foi fácil, porque os argumentos foram solidificados pela experiência em recrutar mais de 7.500 trabalhadores em 31 estados do México.

"Um dos principais atrativos foi ter uma quantidade significativa de candidatos em um só lugar, com um nível alto de qualificação técnica e com uma visão de Segurança Industrial diferenciada, decorrente dos programas de capacitação empreendidos durante a fase de construção. A estratégia foi implantada desde o primeiro contato com os trabalhadores, na fase de recrutamento e seleção, até a fase de desmobilização, em que a empresa acompanhou o processo de entrevista junto aos potenciais novos empregadores", esclarece.

Para a contratação foi feita uma abordagem não discri-



minatória, com foco exclusivo no conhecimento e habilidades dos candidatos, sem levar em consideração características como sexo, idade, raça, religião ou orientação sexual. O total de inclusão feminina chegou a 12% da força laboral da construção, número recorde de contratação em postos de trabalho tradicionalmente dominados por homens no México.

RECONHECIMENTO

No dia 12 de outubro de 2015, em Wilmington, Delaware, nos Estados Unidos, o Projeto Etileno XXI recebeu o Prêmio de Segurança Industrial: *The 2015 DuPont Safety and Sustainability Awards*. Além dos desafios geotécnicos, a construção do empreendimento enfrentou desafios consideráveis para a implantação de uma cultura eficiente de segurança. Diferentes percepções de riscos e abordagens para mitigá-los no projeto, assim como barreiras culturais para práticas seguras no canteiro de obras influenciaram fortemente na conquista deste prêmio.

Outra característica que foi relevante nesta conquista foi a dimensão do empreendimento e número de integrantes na obra. O desafio diário neste caso era garantir a segurança no trabalho desse contingente de pessoas desde o início da construção em 2012. O prêmio foi outorgado ao Complexo Etileno XXI pelo seu desempenho em segurança industrial e registrou a maior pontuação reconhecida na história da premiação.

A gestão respaldada pelo compromisso da alta direção com políticas, padrões e procedimentos que permitem identificar, monitorar e controlar de forma consistente os riscos e potenciais perigos de SMS (Segurança Meio Ambiente e Saúde) buscou constantemente a eliminação dos incidentes e cumpre com as normas legais, melhorando o desempenho do empreendimento.

O SMS foi baseado em comportamento, percepção de risco

dos integrantes e mudança de atitude em relação à prevenção. Os treinamentos personalizados, programas de segurança baseados no comportamento humano, comunicação efetiva, indicadores preventivos avaliados pela direção do projeto e o reconhecimento das pessoas, foram fundamentais no caminho para zerar incidentes. Esses esforços proporcionaram resultados que podem ser traduzidos em mais de 92 milhões de homens/horas trabalhadas com taxas recordes no quesito segurança.

Além do Prêmio de Segurança Industrial, recentemente o Complexo Etileno XXI foi eleito como o melhor projeto de engenharia do ano pela revista americana ENR (*Engineering News-Record*). A Odebrecht conquistou a premiação máxima, o 2016 *Global Best Projects*, prêmio concedido anualmente pela publicação entre 23 projetos selecionados. A escolha dos projetos levou em conta fatores como saúde e segurança, inovações, desafios, *design* e qualidade de construção das obras, além da ênfase na diversidade das equipes.

Em maio deste ano, a Odebrecht foi convidada pelo IFC (*International Finance Corporation*), parte do Banco Mundial que financia o setor privado, para participar, em Washington, D.C., do seu evento anual *IFC Sustainability Exchange* e compartilhar com outros clientes o modelo de gestão de recursos humanos utilizado no projeto, que não sofreu interrupções de nenhuma ordem.

“O grande desafio foi alinhar as estratégias e fazer o gerenciamento do projeto com tamanha diversidade cultural. Desta forma, a barreira a ser vencida não foi técnica e sim cultural e comportamental. As premiações internacionais destas renomadas entidades são um reconhecimento do trabalho da Organização Odebrecht, que busca constantemente contribuir com a mudança na condição socioeconômica das comunidades em que atua”, finaliza Paulo Levita. ☐