

BIM GEOLÓGICO: METODOLOGIA PRÁTICA COM LEAPFROG WORKS

Lucas DE CASTILHO ¹; Karina NAKAGAWA ²

Resumo – A implementação do *Building Information Modeling (BIM)* no contexto geológico tem crescido no Brasil, apesar de ainda estar em estágio inicial quando comparado ao cenário europeu e norte-americano. Este artigo apresenta um estudo de caso em que modelos geológicos *BIM* foram elaborados com base em dados digitais de sondagens (formato *AGS*), atingindo nível de confiabilidade *LOD 250* segundo a DN 300/2024. A metodologia envolveu a exportação dos modelos gerados no software *Leapfrog* para o formato *IFC (Industry Foundation Classes)*, permitindo integração ao modelo federado do projeto. Foram inseridos *property sets* nos modelos sólidos gerados, incorporando atributos geológico-geotécnicos e outras informações relevantes ao projeto. O uso do *Leapfrog* mostrou-se particularmente eficaz em projetos de grande extensão, graças à sua facilidade de uso, menor demanda computacional e à capacidade de gerar automaticamente superfícies geológicas. Por outro lado, o *Civil 3D* integrado ao *OpenGround* permite maior controle manual, sendo mais adequado para áreas menores e geologias mais complexas, apesar de exigir maiores investimentos em treinamento e recursos técnicos. Dessa forma, torna-se evidente a necessidade de padronizar práticas e desenvolver metodologias robustas para o setor geotécnico brasileiro, ressaltando-se iniciativas importantes como as diretrizes da ABGE (DE 300 e DE 301).

Abstract – The implementation of Building Information Modeling (BIM) in the geological context has been growing in Brazil, although it is still in an early stage compared to European and North American scenarios. This article presents a case study in which geological BIM models were developed based on digital borehole data (AGS format), reaching a reliability level of LOD 250 according to DN 300/2024. The methodology involved exporting models created in Leapfrog software to IFC (Industry Foundation Classes) format, facilitating integration with the federated project model. Property sets were inserted into the generated solid models, including geological-geotechnical attributes and other relevant project information. The Leapfrog software proved particularly effective for extensive projects, due to its ease of use, reduced computational demand, and ability to automatically generate geological surfaces. On the other hand, Civil 3D integrated with OpenGround allows for greater manual control, making it more suitable for smaller areas and more complex geological conditions, although it requires greater investment in training and technical resources. Thus, it becomes evident that there is a need to standardize practices and develop robust methodologies for the Brazilian geotechnical sector, highlighting important initiatives such as ABGE guidelines (DE 300 and DE 301).

Palavras-Chave – BIM Geológico, BIM Geotécnico, Modelagem Geológica, Leapfrog, Openground

¹ Geól., SYSTRA Brasil: São Paulo – SP, (11) 91765-6022, lcastilho2@systra.com

² Geól., SYSTRA Brasil: São Paulo – SP, (11) 97071-3327, knakagawa@systra.com

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o *BIM* (*Building Information Modeling*) geológico tem ganhado destaque no Brasil. Na Europa e América do Norte essa abordagem já se encontra em um estágio mais avançado de desenvolvimento, entretanto, globalmente, sua implementação ainda está em fase inicial. A integração dos dados geotécnicos ao processo *BIM* tem se mostrado uma estratégia promissora para melhorar a gestão de projetos de infraestrutura, embora ainda existam desafios a serem superados. Tawelian e Mickovski (2016) apontam que, mesmo com os benefícios do *BIM*, há uma lacuna na incorporação de dados geotécnicos essenciais para a correta modelagem e interpretação, o que pode limitar a eficácia do gerenciamento de projetos, especialmente em áreas com alta variabilidade do substrato. Além disso, os altos custos iniciais de treinamento e licenciamento representam barreiras para empresas de menor porte, sugerindo a necessidade de adaptação do formato *AGS* (*Association of Geotechnical & Geoenvironmental Specialists*) e de um banco de dados específico para integrar dados históricos e de estruturas subterrâneas.

Em uma abordagem prática, Providakis *et al.* (2019) demonstraram que a utilização de modelos geológicos integrados ao *BIM*, combinados com ferramentas de visualização 3D, permite a análise dos efeitos de construções, como túneis, sobre edificações próximas, facilitando a previsão de recalques e a avaliação dos riscos envolvidos. Essa capacidade de explorar diversas alternativas em um único ambiente de modelagem reforça o potencial decisivo do *BIM* geotécnico para a tomada de decisão. De forma complementar, Valeria *et al.* (2019) ressaltam que, embora o *BIM* esteja se consolidando como uma abordagem essencial na engenharia civil, os aspectos geotécnicos ainda são frequentemente negligenciados. A integração desses dados pode aumentar a precisão dos modelos, facilitar a gestão de informações complexas e melhorar a interoperabilidade entre os diferentes softwares utilizados durante as diversas fases do projeto. Kessler *et al.* (2015) enfatizam que condições imprevistas do subsolo ainda provocam atrasos significativos, mas apontam para um futuro em que a oferta de serviços e softwares compatíveis com *BIM* viabilizará a criação de modelos “ao vivo” do subsolo, com informações disponíveis sob demanda. Nesse mesmo sentido, Zhang *et al.* (2016) propõem um fluxo de trabalho operacional baseado em *BIM* que centraliza e atualiza iterativamente um modelo tridimensional e uma base de dados geotécnicos, contribuindo para a redução de erros e a maximização dos investimentos prévios em dados.

Apesar dos avanços, o mercado ainda carece de uma metodologia prática, clara e padronizada para o desenvolvimento de modelos geológicos em *BIM*. Como essa abordagem ainda está em fase inicial, não há um consenso estabelecido sobre os processos e diretrizes a serem seguidos. Isso tem impulsionado uma intensa movimentação no mercado entre empresas de projetos, de sondagem e de softwares na tentativa de estruturar um processo e fluxo de trabalho bem definido, associado a ferramentas específicas para a implementação do *BIM* geológico.

Este artigo apresenta um *framework* metodológico adotado com sucesso pela SYSTRA Brasil na produção de documentos *BIM* aplicados à geologia, utilizando um estudo de caso específico. A metodologia emprega o software *Leapfrog*, da *Seequent*, e é comparada com outra abordagem amplamente utilizada no mercado, que envolve o uso do *Civil 3D*, da *Autodesk*, em conjunto com a extensão do *OpenGround* para *Civil 3D*, da *Seequent*. Ao final, são discutidos os pontos fortes e as limitações de cada metodologia, além de sugestões para melhorias futuras na modelagem geológica em *BIM*.

2. O QUE É O BIM GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO?

Quando o tema *BIM* geológico é abordado, é natural e inevitável que seja visualizado mentalmente um modelo geológico tridimensional, contudo, esse tema transcende a mera representação gráfica. Trata-se de um modelo integrado em que informações, características, parâmetros e dados são incorporados na forma de atributos digitais – ou *property sets*, conforme a terminologia empregada no mercado da engenharia. Dessa maneira, o modelo deixa de ser

unicamente uma representação visual da geologia e passa a ser a própria informação digitalizada, permitindo ao usuário a utilização dos dados de forma aprofundada, possibilitando análises mais rápidas e precisas.

Assim, é fundamental que o modelo geológico-geotécnico inclua, nos diversos elementos gráficos exibidos no modelo 3D, seus parâmetros e características correspondentes. Por exemplo, um volume que representa uma determinada unidade geológica não deve conter apenas seu nome, mas também outros parâmetros essenciais para análise geotécnica, como os valores de N_{SPT} , parâmetros específicos do solo e resultados de ensaios de forma integrada, evitando que o analista precise recorrer aos documentos originais, sejam eles em formato PDF ou físico.

Nesse contexto, o desafio do *BIM* geológico pode ser dividido em duas frentes principais: a modelagem geológica e a inserção dos parâmetros e dados no modelo digital. Embora a modelagem geológica já seja empregada em outras áreas das geociências aplicada como mineração, petróleo e meio ambiente desde meados dos anos 2000, sua aplicação na engenharia ainda se encontra em fases iniciais de desenvolvimento, com a geologia de engenharia sendo tradicionalmente representada por seções 2D elaboradas manualmente.

A crescente exigência por parte dos *stakeholders*, como órgãos públicos e clientes que possuem interesse em entregas que contemplem o *BIM* geológico, tem impulsionado a necessidade de adaptação dos métodos de produção por parte de consultorias e projetistas, a fim de viabilizar a criação de tais produtos. Diversas ferramentas de modelagem geológica estão disponíveis no mercado, entre elas o *Leapfrog (Seequent)* e o *Geotechnical Module* do *Civil 3D (Autodesk)*. Para o estudo de caso apresentado neste artigo, utilizou-se o *Leapfrog*, na versão *Works*, que dispõe de funcionalidades específicas para projetos de infraestrutura. Ademais, o artigo realiza uma comparação com a metodologia de modelagem que emprega o *Civil 3D* associado à extensão do *OpenGround (Seequent)*, baseado no *Geotechnical Module*.

3. MODELAGEM COM CIVIL 3D + OPENGROUND

A extensão do *OpenGround* para *Civil 3D*, desenvolvida pela *Seequent*, possibilita a modelagem geológica no ambiente da *Autodesk* a partir de dados de sondagens, por meio da interpolação de superfícies representativas do subsolo. O *OpenGround* adota um método explícito de modelagem, no qual as superfícies geológicas são geradas por conexão direta entre pontos amostrados, permitindo ao modelador maior controle manual sobre as interpretações. A modelagem se dá pela interpolação de camadas entre os furos de sondagem, possibilitando a visualização tridimensional dos dados geológicos e geotécnicos, incluindo descrições litológicas e ensaios. Além disso, as superfícies geradas podem ser convertidas em modelos sólidos, permitindo análises volumétricas e integração com softwares *BIM* e *GIS* por meio de formatos como *IFC* e *LandXML*.

Dessa forma, a modelagem das unidades geológicas se caracteriza por ser explícita, ou seja, o modelador é diretamente responsável por desenhar as camadas de acordo com o entendimento geológico do local. O *OpenGround* também se destaca como ferramenta de gestão do banco de dados das sondagens. A extensão permite a conexão direta com o *Civil 3D*, importando as informações dos furos de sondagem com todas as suas características descritivas, como granulometrias, valores de N_{SPT} , profundidades das camadas, classificações geológicas e indicações de nível d'água.

Embora o *Civil 3D* não seja originalmente um software de modelagem geológica, sua aplicação para essa finalidade é viabilizada pela extensão do *OpenGround*, que adiciona as funcionalidades geológico-geotécnicas necessárias. Entretanto existem limitações, como em modelagens de trechos amplos ou em vias de extensão considerável, visto que o trabalho computacional pode tornar-se excessivamente intenso inviabilizando o uso da ferramenta.

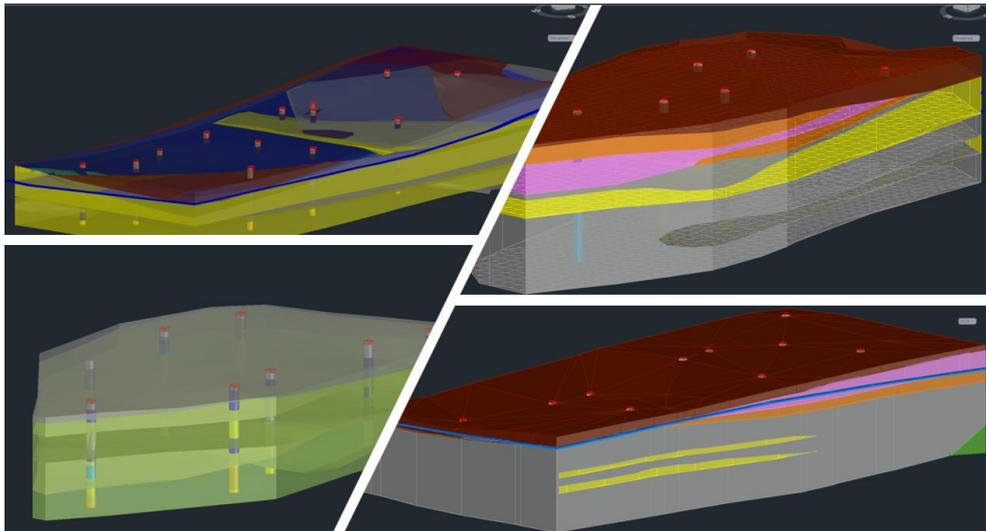


Figura 1 - Modelos geológicos criados com o software *Civil 3D* com a extensão do *Openground*

4. MODELAGEM COM LEAPFROG WORKS

O *Leapfrog*, desenvolvido pela *Seequent*, é um software de modelagem geológica 3D que utiliza interpolação implícita. Em contraste com métodos tradicionais, que dependem da triangulação explícita, o *Leapfrog* constrói um cenário matemático contínuo a partir de dados de sondagens e demais informações geológicas, possibilitando a definição automática de superfícies de contato e domínios litológicos.

A principal vantagem desse método implícito está na agilidade com que modelos geológicos complexos são gerados, minimizando a subjetividade na interpretação dos dados e permitindo a exportação dos modelos para diferentes plataformas, inclusive softwares de análise geotécnica e ambientes *BIM*.

No *Leapfrog*, a modelagem geológica é dinâmica, com atualização automática das superfícies à medida que novos dados são incorporados, o que reduz a necessidade de ajustes manuais e promove interpretações mais rápidas e objetivas. A geração de superfícies leva em conta critérios como anisotropia, direções estruturais e restrições geológicas, assegurando maior aderência ao comportamento do substrato.

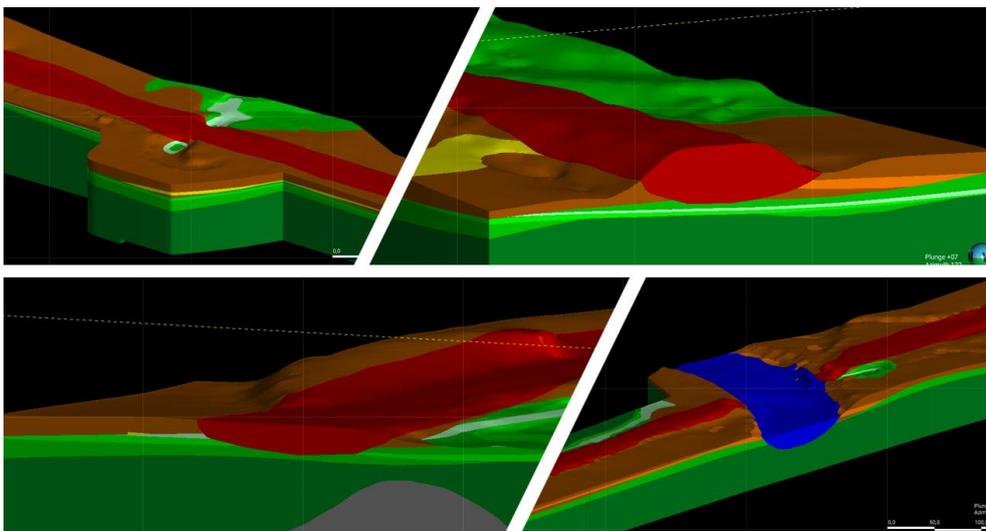


Figura 2 – Modelos geológicos criados com o software *Leapfrog*

5. NÍVEIS DE CONFIABILIDADE DO BIM GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO (MBGc) – LOD

O *Building Information Modeling* incorpora o conceito de *Level of Development (LOD)* para definir o grau de precisão e confiabilidade das informações associadas a cada elemento do modelo, abrangendo tanto aspectos geométricos quanto dados não gráficos, como desempenho, materiais e custos relacionados.

A Diretriz Normativa ABGE 300/2024 (De Mio, 2024a) estabelece níveis de confiabilidade para campanhas de investigação geológico-geotécnicas e para os modelos digitais gerados no ambiente *BIM*, configurando uma abordagem pioneira no Brasil. Estruturado de forma similar a publicações de entidades técnicas nacionais e internacionais, como ABNT, ASTM, API, ISO e ASCE, a Diretriz busca auxiliar empresas e profissionais na melhoria de seus processos relacionados ao *BIM* geológico. A DN (diretriz normativa) é complementada pela DN ABGE 301/2024 (De Mio, 2024b) que aborda a padronização dos dados geológico-geotécnicos para utilização em projetos *BIM*.

No *LOD 100*, as campanhas de investigação geotécnica são de qualidade limitada, com falhas na adoção de metodologias especializadas e pouca análise integrada. Os modelos em *BIM*, nesse nível, são simplificados, resultando em baixa confiabilidade e riscos técnicos e financeiros ao empreendimento. A ausência de padronização e normas específicas, além de resultados incompatíveis, dificulta a validação das informações. No *LOD 200* as campanhas de investigação são realizadas por profissionais especializados, empregando normas atualizadas, planejamento prévio e integração de dados de diversas fontes. Os modelos geológico-geotécnicos baseiam-se em um banco de dados digital, permitindo a identificação de unidades geológicas, análises estatísticas e classificações geomecânicas. Podem ocorrer modelos com graus de confiabilidade intermediário entre *LOD 200* e *LOD 300* (por exemplo *LOD 250*), com campanhas de investigação de qualidade superior.

No *LOD 300*, ampliam-se os ensaios e análises especializadas, abordando problemas geotécnicos específicos. O modelo ganha maior precisão na definição das unidades, índices físicos e mecânicos, e pode empregar classificações geomecânicas em 3D. Esse nível possibilita análises de estabilidade mais confiáveis e melhor previsibilidade de custos e prazos. O *LOD 500*, entretanto, só é efetivamente atingido durante a construção, quando dados reais de campo complementam o modelo. No *LOD 500*, o modelo atinge seu maior nível de confiabilidade ao incorporar dados obtidos durante a execução e a operação da obra (*as built*), como mapeamentos detalhados, inspeções, instrumentação e novas sondagens. O modelo deve ser continuamente atualizado, podendo-se criar modelos 3D específicos quando o volume de dados é elevado. Essa integração de informações de campo com dados anteriores permite avaliar desvios em relação ao *LOD 300* e gerenciar riscos de forma mais robusta, reforçando a confiabilidade das análises. A ausência do *LOD 400* ocorre devido à dificuldade ou impossibilidade de alcançar os mesmos padrões de precisão e confiabilidade que são obtidos nos modelos de edificações.

6. ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso em questão, o modelo *BIM* geológico foi construído a partir de sondagens a percussão e mistas, cujos resultados foram recebidos das empresas executoras já em formato digital (formato *AGS*), atingindo um nível de confiabilidade *LOD 250*, conforme a DN 300/2024. O produto final consistiu em arquivos no formato *IFC (Industry Foundation Classes)* exportados diretamente pelo *Leapfrog* e que foram integrados ao modelo *BIM* federado do projeto. A Figura 3 apresenta um fluxograma para criação de modelos geológicos básicos no *Leapfrog*.

Os *property sets* foram inseridos nos sólidos gerados na modelagem por meio da ferramenta de edição de atributos de volume, acessível para cada volume por meio de clique com o botão direito e seleção da opção "*Volume Attributes*" na janela correspondente (Figura 4). Com essa funcionalidade, foi possível adicionar diversas características aos sólidos exportados, abrangendo

atributos geológico-geotécnicos, informações de interesse ou relacionadas ao projeto fornecidas pelo cliente.

Devido à extensão da área do projeto, o modelo foi segmentado em diversas partes, sendo cada uma exportada individualmente. Optou-se pela exportação via *Project Tree*, por meio do clique com o botão direito sobre o modelo a ser exportado e posterior seleção de "Export", permitindo a personalização dos nomes dos sólidos representativos das unidades geotécnicas (Figura 5). As sondagens podem ser exportadas para *IFC* tanto pela *Project Tree*, por meio do clique com o botão direito sobre as sondagens e seleção de "Export" e "Export to IFC" (Figura 6) quanto pelo menu principal, acessando as opções "IFC" e "Export". O arquivo resultante incluirá, nos atributos, todas as informações carregadas no banco de dados das investigações. Para ambos os casos, a versão 4.0 do *IFC* mostrou melhores resultados de exportação.

No arquivo *IFC* gerado, todos os atributos atribuídos aos sólidos formados pela geologia e pelas camadas de sondagens são organizados de forma estruturada. Esses arquivos são carregados juntamente com o modelo federado do projeto, permitindo a observação da interface entre o substrato geológico e os elementos estruturais projetados, como fundações de OAE, aterros, cortes etc. Essa abordagem possibilita uma análise mais precisa de como os condicionantes geológicos podem influenciar, interagir ou interferir no projeto e na obra, contribuindo para a tomada de decisão e para avaliações de risco. Dessa forma, contratantes e investidores terão maior segurança e assertividade na condução do projeto.

7. DISCUSSÃO

A abordagem explícita adotada pelo *Civil 3D* exige maior intervenção manual para ajustes geológicos, proporcionando, entretanto, um controle mais refinado sobre as interpretações. Essa característica contrasta com a modelagem implícita do *Leapfrog*, na qual as superfícies são geradas automaticamente por meio de Funções de Base Radial (RBF). Dessa forma, a escolha entre os métodos depende do grau de automação desejado e da complexidade da geologia a ser modelada. O módulo geotécnico nativo da *Autodesk* apresenta limitações, restringindo-se à interpolação simples e à criação de malhas entre as camadas das sondagens. Em contrapartida, a evolução desse módulo, atualmente denominado *OpenGround Cloud Civil 3D Extension* (anteriormente conhecido como *HoleBASE SI Civil Extension*), acrescenta capacidades significativas, permitindo a modelagem de geologia complexa com um nível de detalhe aprimorado.

Apesar das vantagens, o uso dessa ferramenta pode ser dispendioso, e apresentar desafios computacionais. É necessário que o modelador possua duas licenças distintas – uma para o *Civil 3D* e outra para o *OpenGround* (ou para o *HoleBASE*) – e tenha domínio técnico de ambas as aplicações para desenvolver o produto final. Ressalta-se que o manuseio seguro e eficaz do *Civil 3D* requer no mínimo conhecimentos intermediários, o que não é tarefa trivial dada a complexidade intrínseca do software. Embora o *OpenGround* também seja complexo, um conhecimento básico permite sua utilização para a produção de modelos. Contudo, a modelagem explícita é notoriamente demorada. Por outro lado, mesmo com as dificuldades mencionadas, a grande vantagem desse método reside na possibilidade de modelar as camadas de forma quase "artesanal", permitindo a inclusão de detalhes estratigráficos que seriam mais trabalhosos de reproduzir em um software de modelagem implícita.

O método de modelagem com o *Civil 3D* baseia-se na criação de perfis geológicos que serão interpolados para a formação dos volumes. Dessa maneira, o modelador mantém controle total sobre as formas atribuídas às superfícies que representam os contatos entre as camadas. Por exemplo, um modelo pode ser formado inicialmente com dois perfis, e o modelador pode adicionar perfis em diferentes direções para detalhar características específicas ou criar lentes. Embora a criação de lentes seja um processo trabalhoso, essa capacidade de detalhamento constitui o grande destaque deste método.

Fluxograma de Trabalho

Importação e validação de dados

1. Topografia

Formatos mais comuns: Digital Elevation Model (*.dem) e Geo Tiff (*.tiff, *.tif)

2. Dados dos Furos de Sondagem

Formato do arquivo: *.csv.
Arquivos obrigatórios:
• **Collar**: informações das sondagens
• **Intervals**: outras informações que estão intervaladas

Arquivo opcional:
• **Survey**: informações de orientação da perfuração

Informações que devem estar no arquivo:

i) Collar

HoleID	East (X)	North (Y)	Elev (Z)	Max Depth
Nome da Sondagem	Coordenada X	Coordenada Y	Cota	Profundidade da Sondagem

ii) Intervals

HoleID	From	To	Descrição/Geologia/NSPT/entre outros
Nome da Sondagem	De	Para	Informação desejada para importar e realizar a modelagem

Observação: HoleID serve para relacionar a coordenada com os intervalos.

Relacionar cabeçalho da tabela importada com o software

i) Collar

Hole ID	Column	Column type	Import Name
East (X)	sonidID	Hole ID	HoleID
North (Y)	toposond	Not Imported	
Elev (Z)	utmz	East (X)	East (X)
Max Depth	utmz	North (Y)	North (Y)
Trench	cota	Elev (Z)	Elev (Z)
	fnprof	Max Depth	Max Depth

ii) Intervals

Description	Hole ID	Column	Column type	Import Name
"Description" Lithology	From	holeid	Hole ID	Hole ID
"Description" Category	To	from	From	From
"Description" Text		to	To	To
"Description" Numeric		Description	Text	Description
"Description" Time Stamp		granu	Lithology	granu
"Description" Date		Simple_Lith	Lithology	Simple_Lith
"Description" URL		nSPT	Numeric	nSPT
"Description" Hex Colour		coloreslet	Category	coloreslet
Not Imported				

Modelo categórico

4. Criando modelo geológico

i) Criando modelo na pasta

Base lithology column: base de dados de interesse

Surface resolution: resolução de superfície (↓valor ↑resolução ↑ tempo de processamento)

Model extents: tamanho do bloco do modelo

ii) Definindo limites do modelo

iii) Criando superfícies

- Seleciona a superfície
 - Dado base para construção (ex: litologia)
 - Seleciona litologia primária (modelada) e depois as litologias em contato

iiii) Contruir volumes de saída

- Duplo clique em "Surface Chronology"
 - Tocar as superfícies de interesse e colocar em ordem cronológica

iv) Resultado final

3. Corrigir erros e fazer o tratamento dos valores inválidos

a) Na modelagem **não** pode ter dados com **erros**.

Current Error (in table collar)	Showing holeid SP-310+900.06 only					
Ignored	id	holeid	x	y	z	maxdepth
collar (172)	1	SP-310+9L	557261.0	7516077.0		16.2

row 1, column 2

b) Em casos de **alertas**, não afetará no processamento do modelo.
c) **Valores inválidos:** revisar dados e dar check

Figura 3 – Fluxo de trabalho utilizado para a criação de modelos geológicos básicos para projetos de BIM geológico utilizando o software Leapfrog Works

18º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

7

Volume	IdentificadorProjeto	NomeProjeto	TipoFuncaoProjeto	EnderecoProjeto	DescricaoProje...	FaseProjeto	NomeObjeto	Disciplina
Output Volumes								
Simple_Lith: AT	ESCREVA AQUIL...	Trecho				EXE	Sólido-Aterro	GG
CATEGORIA_AL: B1		Trecho				EXE	Sólido-Aluvião Organico	GG
CATEGORIA_AL: B2		Trecho				EXE	Sólido-Aluvião Arenoso	GG
CATEGORIA_AL: B3		Trecho				EXE	Sólido-Aluvião Argiloso	GG
Simple_Lith: EB		Trecho				EXE	Sólido-Embasamento	GG
CATEGORIA_ST: A1		Trecho				EXE	Sólido-Sedimento NSPT 0-5	GG
CATEGORIA_ST: A2		Trecho				EXE	Sólido-Sedimento NSPT 5-10	GG
CATEGORIA_ST: A3		Trecho				EXE	Sólido-Sedimento NSPT 10-20	GG
CATEGORIA_ST: A4		Trecho				EXE	Sólido-Sedimento NSPT>20	GG

Figura 4 – Janela de edição “*volume attributes*” do *Leapfrog*. *Property Sets* atribuídos aos volumes representativos das camadas geológicas para o projeto estudo de caso

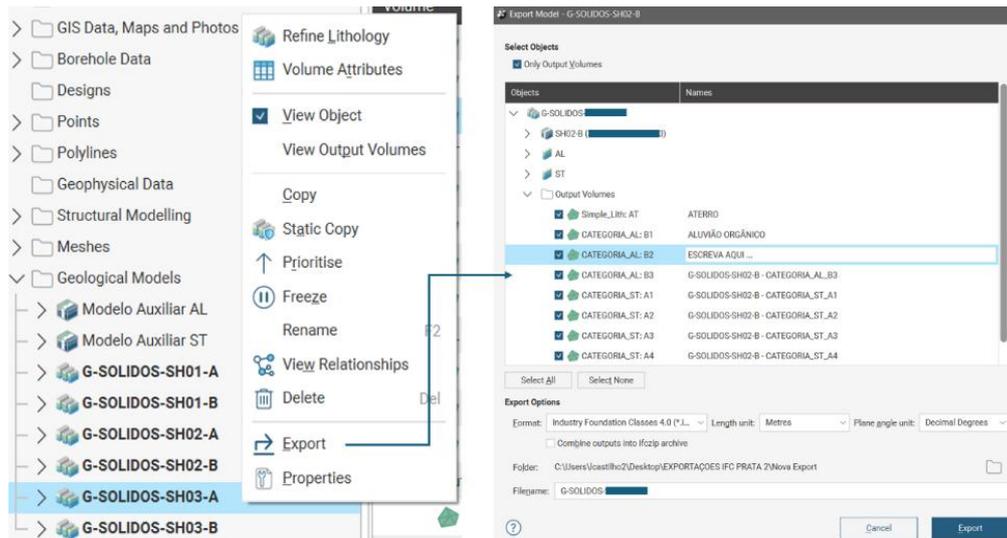


Figura 5 - Método de exportação para *IFC* no *Leapfrog* que foi utilizado pois permite a modificação do nome das camadas na janela de exportação

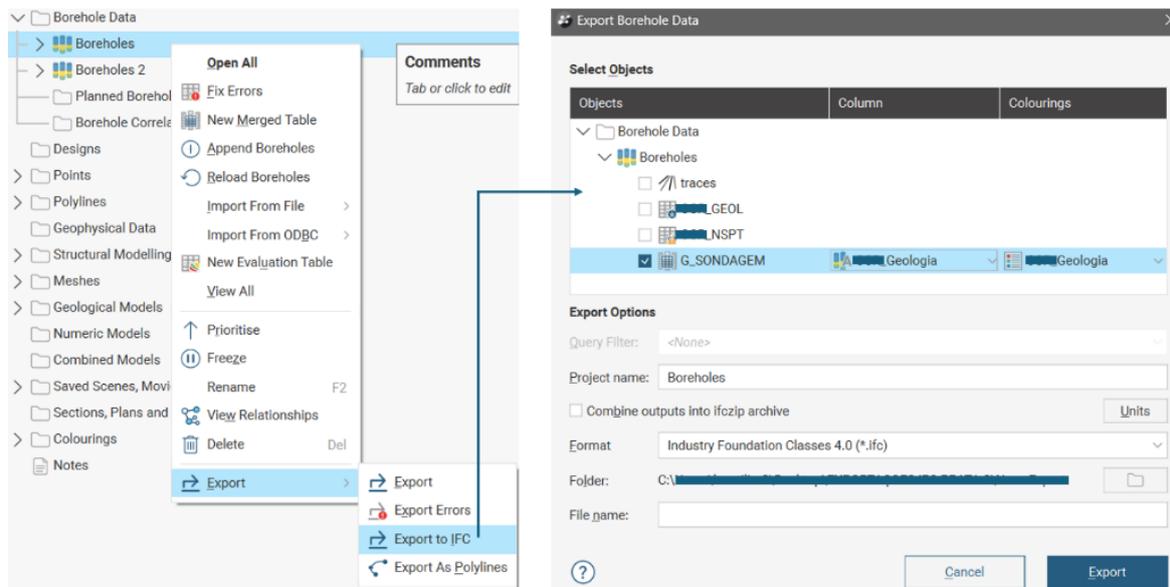


Figura 6 – Janela de exportação para *IFC* do *Leapfrog* para a sondagens

A modelagem com o *Leapfrog* revela-se mais intuitiva do que a metodologia anterior, pois toda a interface e área de trabalho é orientada especificamente para a modelagem geológica. Embora o programa possua uma complexidade inerente, um conhecimento básico já permite a

criação dos primeiros modelos geológicos, e a curva de aprendizagem é mais rápida, suportada pela ampla disponibilidade de tutoriais disponíveis. Essa acessibilidade contrasta com a metodologia anterior, na qual os materiais disponíveis são limitados a vídeos antigos de versões obsoletas da extensão *HoleBase*.

Uma vantagem significativa do *Leapfrog* para a criação de modelos geológicos *BIM* reside na autonomia da aplicação, eliminando a necessidade de recorrer a softwares complementares para obter funcionalidades adicionais. Embora o uso do *OpenGround* não seja indispensável para a modelagem em si, recomenda-se a integração do software de gestão de dados geotécnicos para facilitar a importação de sondagens e ensaios. Ademais, o *Leapfrog* se mostra particularmente vantajoso para projetos de grande extensão ou vias de ordem quilométrica, uma vez que demanda menos recursos computacionais em comparação com a metodologia anterior. Contudo, desafios permanecem na modelagem de detalhes, como lentes delgadas ou camadas interdigitadas, onde as opções de modelagem manual oferecidas pelo software se revelam mais limitadas.

Outra característica de destaque é a capacidade do *Leapfrog* de inserir *property sets* nativamente, extraindo informações diretamente do banco de dados, o que agiliza a integração dos dados geológicos ao modelo *BIM*. Além disso, o processo de exportação para *IFC* é facilitado, permitindo que todos os elementos do modelo – tanto volumes quanto sondagens – sejam exportados simultaneamente para um único arquivo *IFC*.

De uma perspectiva objetiva, o desenvolvimento de modelos tridimensionais aplicados ao *BIM* Geológico promoveu avanços significativos nos processos analíticos e de elaboração do projeto de engenharia. A metodologia proposta possibilita, por exemplo, uma redução expressiva no tempo gasto com a elaboração de seções geológicas, permitindo que estas sejam geradas automaticamente e em lotes, eliminando a necessidade do desenho manual e proporcionando uma economia estimada em torno de 75% do tempo habitualmente despendido. Além disso, a utilização de ferramentas integradas para análises geoespaciais e estatísticas contribui diretamente para maior eficiência, reduzindo em aproximadamente 50% o tempo dedicado a essas atividades.

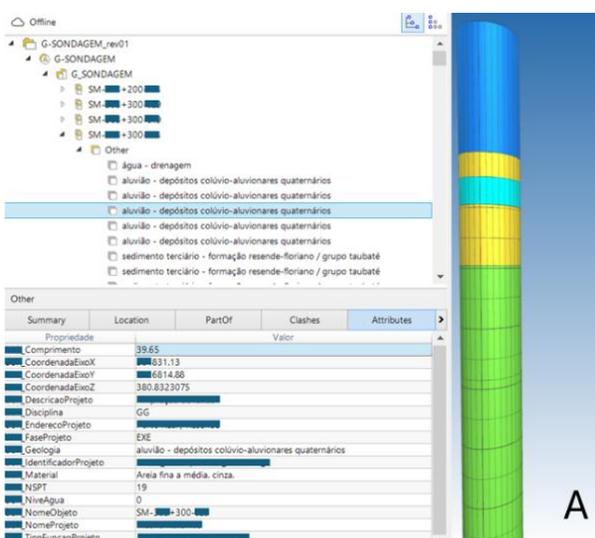


Figura 7- Propriedades atribuídas às sondagens observados no arquivo *IFC* gerado. A camada na cor ciano é a que está selecionada e exibe suas características

8. CONCLUSÃO

A incorporação da geologia e geotecnia no universo *BIM* encontra-se em estágio inicial, o que evidencia a necessidade e a oportunidade para o desenvolvimento de pesquisas e aprimoramento metodológico por parte de consultorias e projetistas. Esse cenário impulsiona a busca por uma padronização na utilização de softwares, a fim de alcançar modelos geotécnicos e

geológicos mais precisos e confiáveis. As iniciativas da ABGE, com a publicação das diretrizes DE 300 e DE 301, representam avanços significativos, pois estabelecem parâmetros estruturados para o tratamento dos dados geotécnicos e para a definição dos níveis de confiabilidade dos modelos *BIM* geológicos-geotécnicos.

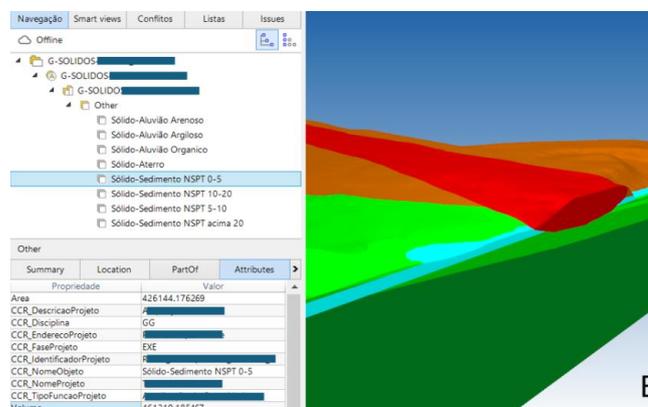


Figura 8 - Propriedades atribuídas aos volumes do modelo geológico observadas no arquivo *IFC* gerado. A camada na cor ciano é a que está selecionada e exibe suas características

No estudo de caso elaborado, o software *Leapfrog* demonstrou eficácia na modelagem geológica, permitindo a inserção de propriedades nos sólidos modelados, como camadas geológicas e sondagens, além de possibilitar a exportação para o formato *IFC*. Suas capacidades se destacam em projetos de grande extensão, uma vez que sua operação demanda relativamente poucos recursos computacionais. Em contrapartida, o *Civil 3D*, em conjunto com a extensão do *OpenGround*, apresenta-se como uma alternativa viável, especialmente em áreas de modelagem menores onde o detalhamento é mais importante, permitindo uma edição manual mais refinada de lentes e camadas delgadas. Contudo, essa abordagem é computacionalmente mais onerosa e requer um domínio técnico aprofundado tanto do *Civil 3D* quanto do *OpenGround* para a obtenção de resultados satisfatórios.

REFERÊNCIAS

- DE MIO, G. (2024a) “Diretriz Normativa ABGE 300/2024: BIM Geotécnico: Níveis de Confiabilidade de Investigações Geológico-Geotécnicas”. Vários colaboradores. 1ª Edição, 28p. São Paulo: ABGE
- DE MIO, G. (2024b) “Diretriz Normativa ABGE 301/2024: BIM Geotécnico: Padrão Digital de Uso e Compartilhamento de Dados Geológico-Geotécnicos”. Vários colaboradores. 1ª Edição. São Paulo: ABGE
- KESSLER, H. et al (2015) “Building Information Modelling (BIM): A Route for Geological Models to Have Real World Impact” in AER/AGS Special Report 101
- PROVIDAKIS, S. et al. (2019) “Predictions of Settlement Risk Induced by Tunnelling Using BIM and 3D Visualization Tools” in Tunnelling and Underground Space Technology, Vol 92
- TAWELIAN, L. R., & MICKOVSKI, S. B. (2016) “The Implementation of Geotechnical Data Into the BIM Process” in Procedia Engineering, Vol. 143, p.734-741
- VALERIA, N. et al (2019) “A New Frontier of BIM Process: Geotechnical BIM” in Proceedings of the XVII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, p.1-6
- ZHANG, J. et al (2016) “The Workflow and Operational Model for Geotechnical Investigation Based on BIM” in IEEE Access, Vol 4, p.7500-7508