



Nicolas Alexandros Papadopoulos

**Avaliação da metodologia BIM através da modelagem
paramétrica 3D de um projeto convencional**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre pelo
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Civil do Departamento de Engenharia Civil da
PUC-Rio.

Orientador: Prof. Luiz Fernando Martha

Co-orientador: Profa. Elisa Sotelino

Rio de Janeiro
Janeiro, 2014



Nicolas Alexandros Papadopoulos

**Avaliação da metodologia BIM através da modelagem
paramétrica 3D de um projeto convencional**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Luiz Fernando Martha

Orientador

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof^a. Elisa Dominguez Sotelino

Co-orientadora

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof. Waldemar Celes

Departamento de Informática - PUC-Rio

Prof. Sergio Scheer

Universidade Federal do Paraná

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de Janeiro de 2014

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Nicolas Alexandros Papadopoulos

Graduou-se em Engenharia Civil na PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro) em 2010. Atualmente atua no instituto Tecgraf/PUC-Rio como pesquisador na área de automação de projetos.

Ficha Catalográfica

Papadopoulos, Nicolas Alexandros

Avaliação da metodologia BIM através da modelagem paramétrica 3D de um projeto convencional / Nicolas Alexandros Papadopoulos ; orientador: Luiz Fernando Martha ; co-orientadora: Elisa Sotelino – 2014. 124 f. il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2014. Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. BIM. 3. Building Information Modeling. 4. Modelagem da informação da construção. 5. Ferramentas BIM. 6. Modelagem paramétrica 3D. 7. Análise de interferência I. Martha, Luiz Fernando. II. Sotelino, Elisa. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

À Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio), por ter me concedido a oportunidade de realizar este trabalho.

Ao instituto Tecgraf pelo apoio para a realização desse trabalho.

Aos meus orientadores, Elisa Sotelino, Eduardo Thadeu Corseuil e Luiz Fernando Martha pelo estímulo e parceria para a realização deste trabalho.

Aos meus pais que sempre me apoiaram.

À *Autodesk* por fornecer as ferramentas necessárias.

Ao Fernando Lima da *Autodesk* que auxiliou no fornecimento e aprendizado das ferramentas computacionais utilizadas.

À Diana pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos da PUC-Rio, Fábio, Tathiana, Júlio, Ricardo, Alexandre, Fernanda, Elvis e Eliot que foram um grande estímulo para a conclusão dessa dissertação.

Aos amigos do Tecgraf, em especial Valente e André que sempre me encorajaram.

Aos professores que participaram da comissão examinadora.

Ao Yuri e Marcelo que forneceram o projeto usado neste trabalho.

Ao Parrot por ter me apoiado na revisão da dissertação.

À Mariana por ter me auxiliado na modelagem.

A secretária de pós-graduação Rita por me orientar nos procedimentos da instituição.

A todos os professores e funcionários do departamento pelos ensinamentos e pela ajuda.

A todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

Resumo

Papadopoulos, Nicolas Alexandros; Martha, Luiz Fernando Campos Ramos; Sotelino, Elisa Dominguez. **Avaliação da metodologia BIM através da modelagem paramétrica 3D de um projeto convencional**. Rio de Janeiro, 2014. 124p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Atualmente o processo que envolve a construção de um empreendimento é baseado em documentos impressos e desconexos. Há uma tendência global de que um mesmo projeto seja elaborado por diversas empresas e diferentes equipes, porém, as ferramentas computacionais que são utilizadas ainda são as mesmas de décadas atrás. Devido a essa mudança de paradigma, a metodologia conhecida como modelagem da informação da construção, BIM, vem aos poucos ganhando aceitação na área de AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção). Motivada por esse processo de transição, essa dissertação tem como objetivo estudar e avaliar algumas das ferramentas computacionais disponíveis no mercado que são utilizadas na implementação da metodologia BIM. Essa avaliação é feita a partir do projeto de um empreendimento real que foi feito utilizando a metodologia tradicional, isto é, documentos 2D independentes. O projeto é modelado em 3D com uma base de dados integrada de acordo com a metodologia BIM. O projeto baseado no modelo 3D é então comparado com o projeto original. Ao término desse estudo são obtidos exemplos reais dos benefícios da modelagem 3D parametrizada. Uma série de deficiências são detectadas nos documentos 2D originais, o que não teria acontecido caso a metodologia BIM fosse usada desde o início do projeto. Além disso, é avaliada a integração entre uma ferramenta de modelagem 3D estrutural (*Autodesk Revit Structure* 2012) e um *software* de análise estrutural (*Autodesk Robot* 2012). Estratégias de integração são testadas e as melhores práticas são descritas em detalhe. Os resultados obtidos sugerem que o uso da metodologia é promissor e sua implementação deve ser seriamente considerada no Brasil.

Palavras-chave

BIM; Building Information Modeling; Modelagem da Informação da Construção; ferramentas BIM; modelagem paramétrica 3D; análise de interferência.

Abstract

Papadopoulos, Nicolas Alexandros; Martha, Luiz Fernando Campos Ramos (Advisor); Sotelino, Elisa Dominguez (Co-Advisor). **Assessment of the BIM methodology through the 3D parametric modeling of a conventional project.** Rio de Janeiro, 2013. 124p. Dissertation - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Currently the process involved in the construction of a facility remains fragmented and dependent on paper-based communication modes. There is a global trend where a single project may be developed by different companies and may involve several teams of specialists. However, the computational tools that are still in use are the same as the ones being used for decades. Due to this paradigm shift, a methodology known as Building Information Modeling, BIM, has been gaining acceptance in the AEC (Architecture, Engineering and Construction) area. Motivated by this process of transition, this thesis aims to study and evaluate some of the computational tools available in the market that are used to implement the BIM methodology. This assessment is made using the design of an actual facility, which is done using the traditional 2D design methodology, i.e., disjoint 2D documents. The project is modeled in 3D with using integrated database according to the BIM methodology. The resulting project is then compared to the original project. At the end of this study, real examples of the benefits of parameterized 3D modeling are obtained. Several inconsistencies in the original design documents are observed, which would not have occurred if the BIM methodology had been used from the beginning of the project. In addition, the integration between a 3D structural modeling tool (*Autodesk Revit Structure* 2012) and a structural analysis tool (*Autodesk Robot* 2012) is evaluated. Integration strategies are tested and the best practices are described in detail. The findings of this work suggest the use of the BIM methodology is promising and support its use in Brazil.

Keywords

BIM; Building Information Modeling; BIM tools; 3D parametric modeling; clash detection.

Sumário

1. Introdução	15
1.1. Motivação	15
1.2. Objetivo	18
1.3. Escopo	19
1.4. Estrutura da dissertação	20
2. Revisão da literatura - Building Information Modeling BIM	21
2.1. BIM e a modelagem paramétrica	21
2.2. Evolução dos sistemas CAD ao BIM.	23
2.3. Dificuldades da metodologia tradicional utilizando CAD 2D	25
2.4. Ferramentas computacionais e interoperabilidade	32
2.5. Industry foundation classes (IFC)	33
3. O projeto fornecido para a modelagem paramétrica 3D	35
3.1. Descrição do empreendimento	35
3.2. Documentação	37
3.3. Arquitetura	37
3.4. Estrutura	40
3.5. Instalações	43
4. Modelagem paramétrica 3D	48
4.1. Modelagem da arquitetura	48
4.1.1. Definição dos níveis e eixos	49
4.1.2. Modelagem das paredes e pisos	50
4.1.3. Modelagem das escadas	50
4.1.4. Portas e janelas	51
4.1.5. Telhados	51
4.2. Modelagem da estrutura	54
4.2.1. Inserção de colunas	54
4.2.2. Inserção das vigas	56
4.2.3. Estrutura metálica do telhado	60
4.3. Modelagem das instalações	62

4.3.1. Modelagem de HVAC	63
4.3.2. Modelagem das tubulações	66
4.3.3. Modelagem de eletrocalhas	69
4.4. Deficiências encontradas no projeto fornecido	70
4.5. Análise de interferências usando o modelo 3D	73
4.5.1. Ambiente de visualização e análise de interferência	73
4.5.2. Resultados das análises de interferência	76
4.5.3. Primeira análise de interferência entre o modelo estrutural e o modelo de instalações	79
4.5.4. Segunda análise de interferência entre o modelo estrutural e o modelo de instalações	81
4.5.5. Análise de interferência entre os três tipos de instalações	83
4.5.6. Análise de interferência entre a arquitetura e as instalações	91
4.5.7. Considerações finais da análise de interferência	92
5. Integração com ferramenta de análise estrutural	93
5.1. Interpretação do modelo analítico	93
5.1.1. Estudo de um modelo analítico em um pórtico simples	94
5.1.2. Modelo analítico padrão do <i>Revit</i> em pórticos complexos	100
5.1.3. Modelo analítico em estruturas 3D	104
5.2. Interpretação do modelo analítico do projeto original fornecido	105
5.2.1. Pilares sobrepostos no <i>Robot</i>	106
5.2.2. O uso de " <i>Rigid Links</i> " (ligações rígidas)	110
5.2.3. Exportação de novas famílias criadas no <i>Revit</i>	112
5.2.4. Malha de elementos finitos	113
6. Conclusão e sugestões para trabalhos futuros	116
6.1. A modelagem paramétrica e benefícios da metodologia BIM	116
6.2. Sugestão para trabalhos futuros	118
7. Referências	120

Lista de figuras

Figura 1: Fluxograma de trabalho.	18
Figura 2: BIM e o ciclo de vida de uma edificação (Autodesk).	23
Figura 3: Processos de engenharia.	26
Figura 4: Gráfico que demonstra a influência das alterações de projeto no custo final do empreendimento em determinada etapa da construção. Adaptado do original de Patrick MacLeamy (Eastman et al., 2010).	29
Figura 5: Quantidade de informação BIM x tradicional CAD 2D	31
Figura 6: Simulação da fachada sul.	36
Figura 7: Imagem da fachada oeste.	36
Figura 8: Fachada sul em um desenho de arquitetura.	38
Figura 9: Planta de arquitetura do térreo modelada no <i>Revit</i> .	39
Figura 10: Fachada leste em um desenho de arquitetura.	39
Figura 11: Corte da estrutura.	41
Figura 12: <i>Hall</i> central em forma de octógono.	41
Figura 13: Treliça de sustentação do telhado.	42
Figura 14: Estrutura metálica da parte leste da construção.	42
Figura 15: Modelagem das instalações da edificação no <i>Revit</i> MEP.	44
Figura 16: Suporte SPV-1 situado no eixo E do projeto.	45
Figura 17: Pequena parte da planta de distribuição de gases especiais.	46
Figura 18: Pequena parte da planta de arranjo físico dos dutos de ar condicionado.	46
Figura 19: Vista telhado.	51
Figura 20: (a) Telhado do laboratório; (b) Partes usadas na modelagem do telhado.	52
Figura 21: (a) Telhado modelado; (b) Visualização do resultado.	52
Figura 22: (a) Modelagem do telhado por perfil; (b) Telhado do piso técnico pronto.	53
Figura 23: (a) Vistas das marquises; (b) Edição da marquise; (c) Edição do perfil.	53
Figura 24: Destaque nas partes do telhado onde a modelagem foi mais	

trabalhosa.	54
Figura 25: Pilares de perfil diferenciado.	55
Figura 26: (a) Corte no eixo 1 da estrutura; (b) Corte no eixo G da estrutura.	57
Figura 27: Vigas do piso técnico.	58
Figura 28: Projeto original em <i>AutoCAD</i> .	59
Figura 29: Níveis do projeto estrutural.	60
Figura 30: Treliças piso técnico.	61
Figura 31: Terças apoiadas sobre a treliça.	61
Figura 32: Telhado de estrutura metálica.	61
Figura 33: Propriedades do duto.	64
Figura 34: (a) Trecho do projeto original; (b) Trecho adaptado no <i>Revit</i> .	65
Figura 35: Planta gases especiais.	67
Figura 36: Suporte SP de largura variável de acordo com a tabela.	68
Figura 37: Transições de tubulações.	68
Figura 38: (a) Curva 90° do <i>Revit</i> ; (b) Curva do desenho original em <i>AutoCAD</i> .	69
Figura 39: Interface para análise de interferência.	74
Figura 40: Formulário de análise de interferência do programa <i>Navisworks</i> .	76
Figura 41: Dutos que colidem com a estrutura na primeira análise de interferências.	80
Figura 42: Duto flexível de ar condicionado colidindo com uma coluna.	81
Figura 43: (a) Eletrocalha colide com a coluna no <i>Navisworks</i> ; (b) Vista em planta com comparação entre a conexão usada no <i>Revit</i> com a do projeto original.	82
Figura 44: Em branco pode-se ver as eletrocalhas que atravessam as vigas destacadas em vermelho.	83
Figura 45: Tubulação atravessando a laje.	83
Figura 46: Eletrocalha colidindo com dutos.	84
Figura 47: Tubulação e duto de ar condicionado colidem.	85
Figura 48: (a) Posição da tubulação em planta; (b) Posição do duto em planta.	85
Figura 49: Tubulação descendo do piso técnico para o térreo colide com duto	86
Figura 50: (a) Posição da tubulação no projeto original; (b) Medidas da abertura.	86
Figura 51: Colisão entre tubulação, dutos de ventilação e eletrocalhas.	87
Figura 52: (a) Detalhes da colisão entre uma redução da eletrocalha e a tubulação; (b) Posição da eletrocalha definida no projeto original.	87
Figura 53: (a) Tubulação segue na mesma direção e posição de um duto de ar	

condicionado; (b) Duto detectado na análise de interferência em planta.	87
Figura 54: (a) Interferência dentro do <i>Navisworks</i> ; (b) Vista em corte com o duto e a tubulação.	88
Figura 55: Caso 1, dutos colidindo com uma eletrocalha.	89
Figura 56: Caso 2, dutos colidindo com uma eletrocalha (Imagem do <i>Revit</i>).	89
Figura 57: Caso 2 mostrado em planta no projeto original.	90
Figura 58: Caso 3, Dutos colidindo com eletrocalha (Imagem <i>Revit</i>).	90
Figura 59: Colisão entre dutos e o forro.	91
Figura 60- Modelo físico de um pórtico.	94
Figura 62: Visualização do modelo analítico junto com a modelagem 3D.	95
Figura 63: Modelo analítico modificado (Modelo 2).	95
Figura 64: Carregamento do pórtico.	96
Figura 65: (a) Modelo 1; (b) Modelo 2; (c) Modelo 3.	97
Figura 66: Resultado para o "modelo 1".	97
Figura 67: Resultado para o "modelo 2".	98
Figura 68: Resultado para o "modelo 3" com <i>offset</i> .	98
Figura 69 - Modelo físico e analítico de um pórtico com dois pavimentos.	100
Figura 71: Pórtico com vigas duplas.	101
Figura 72: Modelo analítico convencional.	101
Figura 73: Modelo analítico com numeração das barras.	102
Figura 74: Resultado do momento fletor na direção Y usando o <i>Robot</i> .	103
Figura 75: Resultado do momento fletor na direção Y usando o <i>Ftool</i> .	103
Figura 76: (a) Vista de cima do modelo 3D; (b) Vista de baixo do modelo 3D.	104
Figura 77: (a) Vista lateral do modelo 3D; (b) Vista lateral do modelo 3D com a laje elevada.	104
Figura 78: Fachada oeste do estudo de caso.	105
Figura 79: (a) Vista em perfil da laje apoiada por perfis metálicos; (b) Vista em 3D.	107
Figura 80: (a) Destaque das ligações no modelo analítico; (b) Ligações no modelo físico.	108
Figura 81: (a) Modelo físico entre dois pavimentos; (b) Modelo analítico na mesma posição.	108
Figura 82: Interpretação que o <i>Robot</i> faz ao adicionar uma viga alguns milímetros abaixo de um nó.	109
Figura 83: Sobreposição dos elementos que representam as colunas.	109
Figura 84: (a) Modelo analítico; Modelo físico.	110

Figura 85: Necessidade de " <i>Rigid Links</i> " para corrigir o eixo analítico da viga.	110
Figura 86: Eixo analítico da viga usando " <i>Rigid Links</i> ".	111
Figura 87: (a) Viga com o eixo analítico descentralizado; (b) Eixo analítico corrigido.	111
Figura 88: Pilares atípicos do projeto original.	112
Figura 89: Laje do nível 806,25 m (piso técnico).	113
Figura 90: Laje do nível 808,15 m com detalhe das bordas.	114
Figura 91: Laje do nível 808,15 m depois do ajuste das bordas.	115