ANTONIO IVO DE BARROS MAINARDI NETO

Verificação de regras para aprovação de projetos de arquitetura em BIM para estações de metrô

São Paulo

2016

ANTONIO IVO DE BARROS MAINARDI NETO

Verificação de regras para aprovação de projetos de arquitetura em BIM para estações de metrô

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre Profissional em Inovação na Construção Civil.

São Paulo

2016

ANTONIO IVO DE BARROS MAINARDI NETO

Verificação de regras para aprovação de projetos de arquitetura em BIM para estações de metrô

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre Profissional em Inovação na Construção Civil.

Área de Concentração: Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Toledo Santos.

São Paulo

2016

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob

responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catalogação-na-publicação

Mainardi Neto, Antonio Ivo
Verificação de regras para aprovação de projetos de arquitetura em BIM para estações de metrô / A. I. Mainardi Neto, E. Santos -- versão corr. -- São Paulo, 2016.
124 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.BIM 2.Verificação de regras 3.Metrô 4.Análise de projetos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t. III.Santos, Eduardo

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Toledo Santos, por ter me aceitado como seu orientando e acreditado em mim e neste trabalho, pela sua paciência e dedicação, pelos rápidos retornos, por ter me guiado neste mundo da pesquisa acadêmica, então inédita na minha vida. Muito obrigado professor.

À minha família pela ausência, visto que a distância nos separa fisicamente.

À minha irmã Isabella, por entender os momentos de ausência e, por entender os momentos que precisa ouvir as palavras certas.

Aos colegas de trabalho, por colaborar na pesquisa, e por acreditar no potencial de contribuição deste trabalho.

Aos colegas de mestrado por dividir comigo as apreensões e tensões.

Aos amigos mais próximos, pela paciência em momentos mais tensos, onde meu humor não contribuía muito no dia-a-dia.

À coordenação, gerência e chefia do departamento de arquitetura e urbanismo do Metrô, pela autorização de uso do material para este trabalho.

A todos que nestes dois anos e meio passaram pela minha vida, e contribuíram à sua maneira para este resultado.

A você, que nesta nossa história complexa e linda, acreditou desde o primeiro momento que eu fosse capaz de chegar até aqui. À sua colaboração em diversos momentos, mesmo a um oceano de distância. Que além dos tropeços que tivemos, há o aprendizado diário, desde o primeiro dia, e estes me trouxeram até aqui. Que momentos como este se repitam sempre.

Meu muito obrigado a todos!!

RESUMO

Tendo em vista a crescente demanda da região metropolitana de São Paulo por transporte público rápido e eficaz, os investimentos em novas linhas e estações de metrô são crescentes, bem como a necessidade de aceleração do projeto e construção de tal infraestrutura. Nesse contexto insere-se a implantação do processo BIM - "*Building Information Modeling*" ou "Modelagem da Informação da Construção" pela Companhia do Metropolitano de São Paulo em seus projetos de estações e vias. O Metrô atua produzindo projetos internamente e, principalmente, contratando projetos externos que necessitam de análise para aprovação. Com o desenvolvimento dos projetos básicos civis em BIM, houve alterações no trabalho diário, a análise visual se beneficiou do modelo 3D, representando agora o projeto inteiro e não apenas seções deste. Isto possibilitou antecipar decisões que antes eram tomadas no executivo, atuando assim em um momento com maior capacidade de alterações de projeto. Um dos usos importantes do BIM no processo de análise de projeto é a Verificação de Regras. O uso de verificação automatizada permite que o analista possa focar apenas na lista de não conformidades, ganhando tempo para dedicar-se mais a resolução destas. E, por parte do projetista, é possível verificar antecipadamente o cumprimento de diretrizes, e já providenciar soluções aos problemas apontados. A presente pesquisa visou apoiar o processo de implantação deste uso de BIM, pela proposta de fluxo para implantação da verificação automatizada, identificação dos padrões de regras existentes e desenvolvimento de uma classificação de regras com foco na automatização de sua verificação. Os padrões propostos foram usados na análise de documento de Instruções de Projeto Básico de Arquitetura e na tradução de suas regras para aplicação em software para este fim com a intenção de fechar o ciclo da verificação.

Palavras-Chave: BIM. Verificação de Regras. Metrô. Análise de projetos.

ABSTRACT

BIM code-checking approving of Metro architectural projects

In view of the increasing demand of São Paulo metropolitan area for fast and efficient public transport, the investment in new lines and subway stations are growing, as well as the need for accelerating the design and the construction of such infrastructure. In this context is the deployment of BIM - “Building Information Modeling" by Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô on its stations and rails. Metrô operates the production of projects internally, and particularly contracts external projects that require analysis for approval. With the development of their basic civil projects in BIM, there have been changes in daily work, the visual analysis has been benefited from the 3D model, representing now the entire project and not only its sections. This has made possible to anticipate decisions that used to be taken in the shop drawings phase, thereby acting at a time with greater ability to apply changes in projects. One of the important BIM usages in the project’s review process is the code checking. This allows the analyst to focus on the list of nonconformities only, gaining time to make further effort on their resolution. And, on the part of the designer, it is possible to verify the compliance of the guidelines in advance, and provide solutions to the problems already presented. The present research aimed to support the implementation process of using this BIM use, based on the flow proposal for the deployment of automated verification, the identification of patterns of existing rules and the developing of classification rules focusing on automating its checking. The proposed standards were used when analyzing documents of the architecture basic design instructions and in the translation of their rules for software application for this purpose with the intention to close the checking cycle.

Keywords: BIM. Code Checking. Subway. Design approval.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Porcentagem de projetos utilizando BIM em construtoras com nível alto de implantação do BIM (por país). 22
Figura 2 - Fluxo das informações entres diferentes agentes. 23
Figura 3 - Organograma da Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô. 25
Figura 4 - O cálculo da distância de viagem para uma unidade de apartamento como realizado em FORNAX. 42
Figura 5 - Diferença de entendimento da geometria e o que deve ser analisado. 46
Figura 6 - Interface de Verificação de Regra do Solibri Model Checker. 49
Figura 7 - Interface para alteração dos parâmetros de uma regra. 51
Figura 8 - Interface do Ruleset Manager, onde é realizado o gerenciamento das regras do SMC. 52
Figura 9 - Interface para criação de relatórios de Verificação de Regras no SMC 53
Figura 10 - As quatro etapas que um sistema de Verificação de Regras deve atender. 54
Figura 11 - Características da pesquisa construtiva. 62
Figura 12 - Interface de configuração da regra de pré-verificação. 110
Figura 13 - Interface para edição de parâmetros da regra com o valor “rolante” para identificação do componente. 112
Figura 14 - Interface para edição de parâmetros da regra, considerando a classificação dos componentes. 113
Figura 15 - Vista indicando o não atendimento da regra 2 executada no SMC. 114
Figura 16 - Interface para edição de parâmetros de uma regra de verificação de espaço livre em frente as bilheterias. 115
Figura 17 - Descrição e classificação da regra. 116
Figura 18 - Interface para edição de parâmetros de uma regra. 117

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Processo para aprovação de projetos na GCI..... 30
Fluxograma 2 - Processo de implantação do uso Verificação de Regras. 67
Fluxograma 3 - Processo para a criação de regras no SMC..... 108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de itens de aprovação e usos BIM do MAN-10-203. 31
Tabela 2 - Adaptado do resultado da pesquisa realizada sobre quais os usos são mais frequentemente utilizados nas empresas. 38
Tabela 3 - Adaptado do resultado da pesquisa realizada sobre quais os usos vistos com maiores benefícios para o projeto. 39
Tabela 4 - Estrutura de identificadores da norma NBR 15965. 43
Tabela 5 - Proposta de classificação de aberturas da NBR 15965. 44
Tabela 6 - Visão geral de sistemas de Verificação de Regras. 47
Tabela 7 - Visão geral de uma regra de verificação para acessibilidade no SMC: critério, componentes e características dos componentes. 50
Tabela 8 - Classificação de regras proposta por Solihin & Eastman. 60
Tabela 9 - Classificação de Regras subjetivas. 70
Tabela 10 - Capacidade de implantação da regra ao software Solibri Model Checker (SMC). 71
Tabela 11 – Classificação proposta da regra e do nível de implantação aplicados ao documento Instrução de Projetos Básicos de Arquitetura. 75
Tabela 12 - Descrição de uma regra de pré-verificação do modelo BIM. 109
Tabela 13 - Descrição e classificação da regra de verificação de espaço de acomodação em escadas. 111
Tabela 14 - Descrição e classificação da regra de verificação de espaço livre em frente as bilheterias. 115

SUMÁRIO

1. Introdução 19
1.1. Objetivo geral 20
1.2. Objetivos específicos 20
2. Modelagem da Informação da Construção – BIM 21
2.1. Industry Foundation Classes – IFC 23
3. Metrô de São Paulo e o BIM 25
3.1. Grupo de trabalho BIM 26
3.1.1. Manual de diretrizes para o desenvolvimento de projetos BIM 26
3.2. Processo de aprovação de projeto 28
3.2.1. Projeto básico de Arquitetura 29
3.2.2. Processos atuais de análise de projeto 31
3.2.3. O documento “Instrução de Projeto Básico de Arquitetura” 32
4. Verificação de Regras 35
4.1. CORENET – Cingapura 40
4.1.1. CORENET e-PlanCheck 41
4.1.2. FORNAX 42
4.2. Padronização 43
4.3. Levantamento de plataformas para Verificação de Regras 46
4.3.1. Solibri Model Checker – SMC 49
4.3.1.1. Criação de regras no SMC 50
4.3.1.2. Resultados da verificação 52
4.4. O Processo de Verificação de Regras 53
4.4.1. Tradução das regras 54
4.4.2. Preparação do modelo 3D 55
4.4.3. Execução de verificação 57
4.4.4. Relatório da verificação 58
4.5. Classificação de regras de Solihin & Eastman 59

5. Procedimentos Metodológicos 61
5.1. Base de informações 62
5.2. Plataforma de verificação automatizada 63
5.3. A classificação das regras 63
6. Resultados 65
6.1. Fluxo de trabalho de implantação de verificação 65
6.1.1. Sistema de classificação de regras 68
6.1.2. Classificação de regras subjetivas 68
6.1.3. Implantação no Solibri Model Checker (SMC) 70
6.1.4. Classificação aplicada à IP-9.00.00.00/3B2-001 72
6.1.5. Aplicação de Regras no SMC 107
6.1.6. Pré-verificação do modelo BIM 109
6.1.7. Premissas de projeto 110
6.1.8. Hall de bilheterias e bloqueios 114
6.1.9. Plataformas 116
6.2. Considerações Gerais 118
7. Conclusões 119
8. Referências 121

1. INTRODUÇÃO

Obras metroviárias, pela sua natureza, são de extrema complexidade e implicam esforços e custos excepcionais, tanto em relação às disciplinas da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) envolvidas, quanto em relação a todas as fases do ciclo de vida do empreendimento.

O BIM, acrônimo para *Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação da Construção[1], permite o desenvolvimento de projetos em ambientes virtuais, resultando em um modelo em três dimensões. Esse modelo 3D é composto por componentes, representando de modo volumétrico os objetos da construção como paredes e vigas, e carregam em si informações como materiais e dimensões. Essas informações são utilizadas em diversos momentos do ciclo de vida das obras, sendo a análise e aprovação do projeto a etapa onde esta pesquisa se insere.

O processo tradicional de análise de projetos mostra-se ultrapassado frente às possibilidades que o BIM apresenta, pois, realizado de maneira visual, manual e dependendo unicamente do conhecimento prévio dos analistas, resulta em lentidão e falta de padronização para aprovação. A análise de projeto em BIM se beneficia do grande número de dados e informações fornecidas pelo modelo 3D e pode ser automatizada, num uso de BIM denominado “Verificação de Regras”.

Devido à grande demanda na região metropolitana de São Paulo por transporte público rápido e eficaz, a Companhia do Metropolitano de São Paulo, tem investido em soluções e estudos para a melhoria de seus processos relacionados à expansão de sua rede, entre as quais a análise e aprovação de projetos. O Metrô de São Paulo, como a companhia é conhecida, obtém seus projetos por meio de processo de licitação pública com desenvolvimento externo, sendo que parte deste pode ocorrer internamente, dependendo da demanda.

[1] Conforme publicado na NBR 15965 (2011)

Uma das etapas responsáveis pela lentidão em projetos é a fase de aprovação, demandando inúmeras revisões técnicas e legais. Atualmente este processo é realizado manualmente, dependendo do conhecimento das normas pelo profissional que está realizando tal análise.

Esta pesquisa é direcionada à aplicação do uso de BIM denominado Verificação de Regras, no qual leis, normas e diretrizes, que determinam regras que devem ser atendidas em projeto, são analisadas de forma automática em plataforma computacional, apoiada pelo modelo BIM da obra. Dado o potencial de processamento do computador, possibilita-se uma análise de atendimento a estas regras mais rápida, comparado ao modo tradicional. O resultado desta análise é um relatório de não conformidade que será examinado pela analista.

1.1. OBJETIVO GERAL

A pesquisa tem como objetivo desenvolver processos e meios para a implantação do uso de BIM “Verificação de Regras”, atendendo às diretrizes para a produção de um projeto de arquitetura e urbanismo de estações metroviárias.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

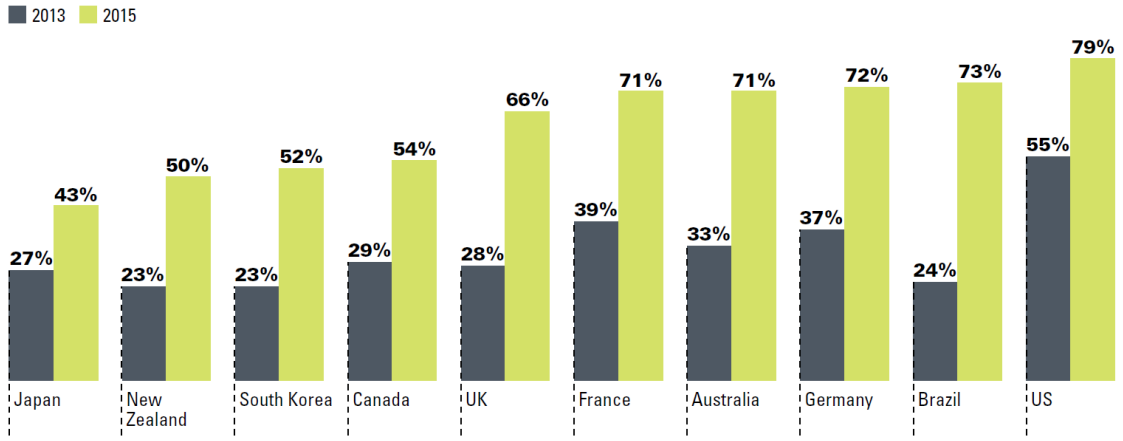
a) Identificar as etapas necessárias para a aplicação do uso Verificação de Regras;
b) Entender e registrar fluxos para a implantação do uso Verificação de regras;
c) Desenvolver um padrão de classificação para regras para tratar sua implementação;
d) Traduzir regras de projeto arquitetônico de estações de metrô contidas no documento “Instrução de Projeto Básico de Arquitetura” e simulá-las em software de verificação automatizada.

2. MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO – BIM

BIM é o acrônimo em língua inglesa para "*Building Information Modeling*", cuja tradução adotada no Brasil - "Modelagem da Informação da Construção" - está indicada na NBR-ISO 12.006:2. Segundo Eastman et al. (2011), o BIM é um dos mais promissores avanços para a indústria de AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), propondo novos processos em todo o ciclo de vida de uma edificação, por meio de novos conceitos e tecnologias que objetivam a melhoria do que é praticado atualmente. Entre estas tecnologias, destaca-se o uso de modelos desenvolvidos em ambientes virtuais, portanto em computadores, representando os projetos de construção civil em três dimensões (tridimensional), com geometria precisa, contendo informações para alimentar os processos que envolvem todas as etapas do ciclo de uma edificação.

Outros países já se beneficiam do uso desse processo e, nos últimos anos, vê-se no Brasil uma perspectiva futura de crescimento em relação a seu uso. A McGraw Hill Construction (2014), realizou uma pesquisa com construtoras que se encontram em um alto nível de uso do BIM, com origem em diversos países, na qual apresenta o percentual de projetos e obras que utilizam BIM em 2013 e a estimativas destes para 2015 (Figura 1). No Brasil, entre as construtoras que participaram desta pesquisa, revela-se o interesse em ampliar o número de projetos e obras que utilizam o BIM, de 24% em 2013, para 73% em 2015. Para alcançar este resultado faz-se necessário o investimento de recursos não apenas financeiros, mas também humanos e organizacionais, como reorganização interna, treinamentos e revisão de processos internos.

Figura 1 - Porcentagem de projetos utilizando BIM em construtoras com nível alto de implantação do BIM (por país).



Fonte: McGraw Hill Construction, 2014.

Determinações na esfera federal já foram realizadas em apoio ao uso do BIM pela indústria da construção no Brasil, como a publicação do Plano Brasil Maior, desenvolvido pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI, que aponta como diretriz "Intensificar o uso de tecnologia da informação aplicada à construção e a implantação do sistema de classificação da informação da construção – normas BIM (NBR)" (PLANO BRASIL MAIOR, 2013, p. 64).

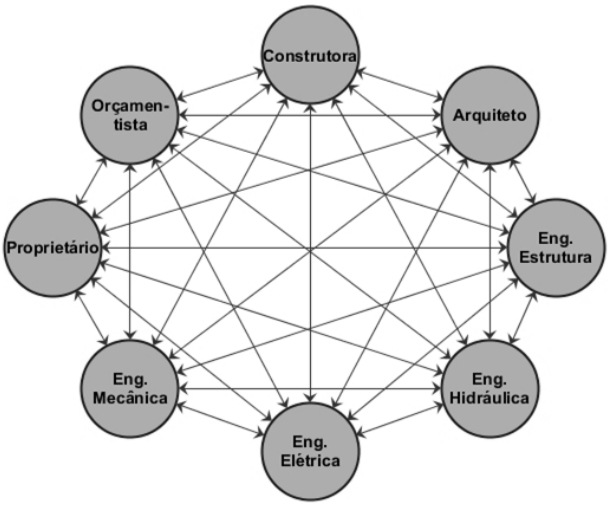
Alguns posicionam o BIM como o futuro, porém o que se vê é uma realidade nas empresas que já iniciaram seu uso, chamados de *early adopters.* Essas empresas normalmente se mantêm na vanguarda da tecnologia e processos, investindo em desenvolvimento e pesquisas internamente, sem a colaboração de órgãos ou associações. Os resultados são, então, apresentados aos superiores que, por sua vez, analisam o investimento necessário e determinam objetivos que pretendem atingir com o BIM, como diminuição do tempo de obra, diminuição do número de revisões etc. Em ambas as situações, determinam-se quais os objetivos que a empresa ou departamento pretende alcançar, e se relacionam os objetivos aos usos BIM necessários para atingi-los. O "*The uses of BIM*" (KREIDER; MESSNER, 2013), categoriza os usos em: Coletar, Gerar, Analisar, Comunicar e Realizar. Cada categoria contém subcategorias com as aplicações dos usos, sendo a subcategoria Analisar

pertencente à categoria Analisar representante da aplicação do uso Verificação de Regras.

2.1. INDUSTRY FOUNDATION CLASSES – IFC

No mercado da construção civil, atuam diversos agentes, cada um com uma ou mais funções. Por exemplo, o arquiteto que desenvolve o projeto, que se comunica com os demais projetistas, realiza a compatibilização interdisciplinar e o quantitativo. Outro agente, por sua vez, irá realizar o orçamento por meio deste quantitativo, para que um terceiro programe o planejamento da obra. Todos estes produtos listados (projeto, compatibilização, quantitativo, orçamento e planejamento), possivelmente serão realizados com a mesma base de informação (projeto), aplicada ao seu software de trabalho, além da possibilidade de cada um destes produtos terem sido desenvolvidos por meio de mais de um software. Como mostra a Figura 2, para que este processo de comunicação entre todos os agentes obtenha sucesso, deve-se ter em mente certo planejamento, uma vez que softwares proprietários não necessariamente comunicam-se entre si. Adicionalmente, quando a comunicação é possível, a integridade das informações ainda precisa ser verificada.

Figura 2 - Fluxo das informações entres diferentes agentes.



Fonte: Autor.

Observando esta demanda, um grupo nomeado atualmente como *buildingSmart*, buscou formas de criar uma padronização e meios que possibilitem a interoperabilidade entre os softwares.

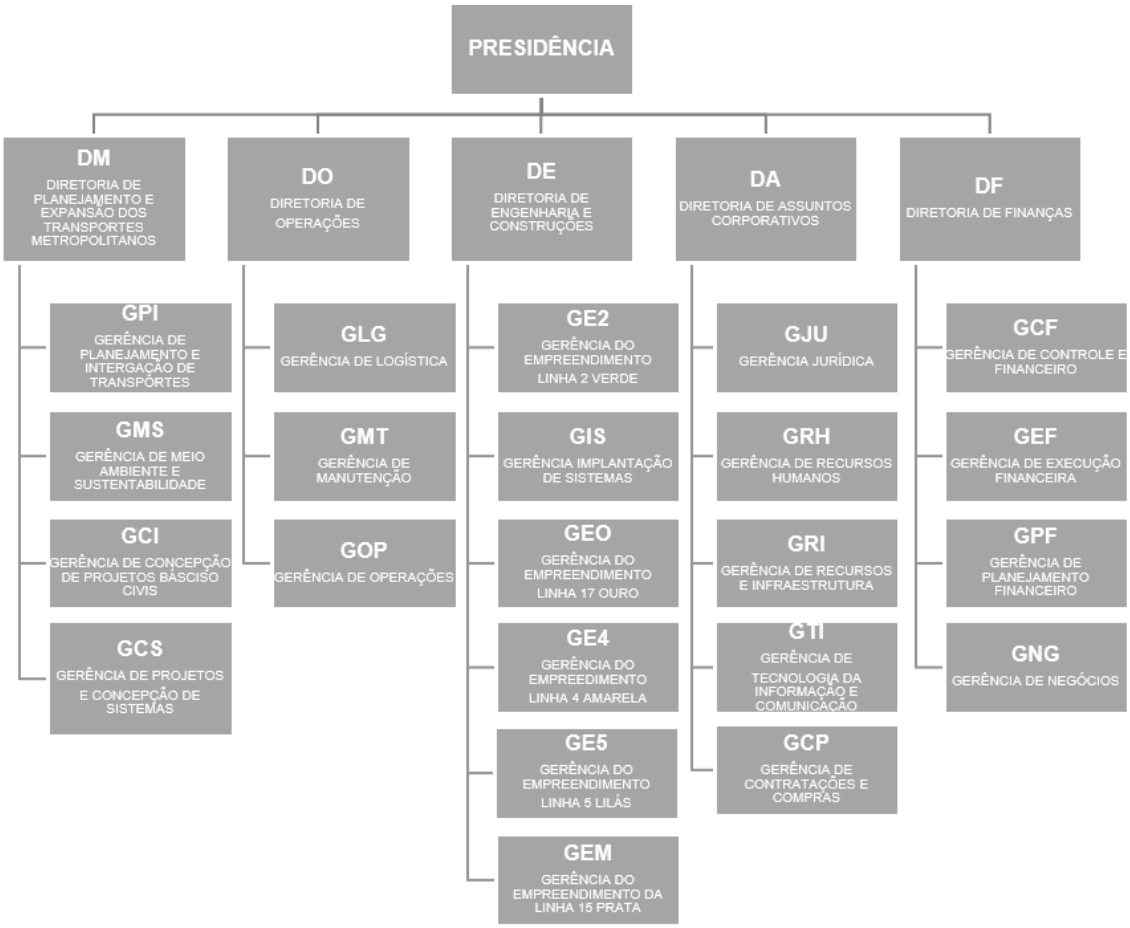
O *Industry Foundation Classes* (IFC) é, portanto, o padrão neutro para o compartilhamento de informações do processo BIM. Este padrão está especificado pela ISO 16739 com quais informações podem ser utilizadas, como elas se relacionam e sua organização, sendo definidos em linguagem de especificação de informações EXPRESS.

Os softwares que pretendem trabalhar com ele podem passar por um processo de homologação, e assim poderem utilizar o selo de compatibilidade com o IFC. Este padrão é atualizado constantemente, sofrendo alterações e adições com o intuito de ampliar a possibilidade de utilização para uma indústria tão expansiva e complexa como a da construção civil.

3. METRÔ DE SÃO PAULO E O BIM

O processo de um projeto de construção civil no Metrô de São Paulo tem seu início pelo Projeto Funcional, em que se encontram determinadas as diretrizes para a linha metroviária a ser implantada, como desapropriações, projeto esquemático e demais dados que alimentarão os processos seguintes. A Gerência de Concepção de Projeto Básico – GCI pertencente à Diretoria de Planejamento e Expansão dos Transportes Metropolitanos – DM (Figura 3), recebe o projeto funcional e inicia os processos para os projetos preliminar e, posteriormente, o básico, sendo este o produto a ser entregue pela Gerência. A presente pesquisa focará o projeto de arquitetura, responsabilidade da Coordenação de Arquitetura e Urbanismo - CAU pertencente à GCI, onde o projeto preliminar é produzido internamente e o básico, participando de um processo de licitação com desenvolvimento externo.

Figura 3 - Organograma da Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô.



Fonte: Metrô de São Paulo, 2016.

3.1. GRUPO DE TRABALHO BIM

O Grupo de trabalho BIM da GCI - GT BIM GCI formou-se no início de 2012, com o objetivo de estudar e desenvolver a implantação do BIM na gerência. O grupo foi formado por engenheiros e arquitetos de todas as áreas da GCI, criando estudos, materiais e desenvolvendo possibilidades de uso. Visando preparar o mercado, palestras e reuniões foram realizadas com o intuito de demonstrar como a empresa utilizaria este novo processo e como as próximas licitações seriam publicadas. A partir de novembro de 2013, as licitações públicas da GCI passam a exigir a entrega do projeto de construção civil utilizando o BIM, conforme descrito no escopo de contratação, e com o apoio do documento Manual de diretrizes para o desenvolvimento de projeto BIM - MAN 10-203. Este descreve os itens necessários para a contratação, determinando como devem ser feitas as entregas do projeto de construção civil, formatos de arquivo, conteúdo do Modelo 3D e usos BIM descritos no BIM Project Execution Planning Guide v2.1 (COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM, 2011), para os quais será utilizado, entre outros.

3.1.1. MANUAL DE DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS BIM

O vencedor do processo licitatório e, portanto, contratado, deve seguir diretrizes e exigências técnicas e administrativas durante o desenvolvimento do projeto. Estas exigências passam por questões desde atendimento a normas, até a nomenclatura de arquivos. Para que sejam atendidas, estas devem estar expostas de maneira clara em momento prévio ao contrato, ou seja, no lançamento da licitação, expondo quais são as exigências requeridas, bem como seus níveis de requisição, permitindo uma maior precisão na previsão de custos. Esta mesma questão deve ser levada ao BIM e, uma vez que o desenvolvimento de projeto em BIM requer alto rigor em relação aos processos e meios em que as informações são produzidas, manuais e guias são

produzidos indicando como o projeto necessita ser produzido e conduzido, possibilitando o atingimento dos benefícios permitidos com o uso do BIM (EADIE et al., 2013).

Para atender isto, o Metrô desenvolve documentos como manuais e instruções de projeto, como os seguintes:

a) MAN 10-201 – Elaboração e Fornecimento da Documentação Técnica de Engenharia Civil, Arquitetura, Geotecnia, Topografia, Desapropriações e Via Permanente;
b) MAN 10-203 – Manual de Diretrizes para o Desenvolvimento de Projetos BIM;
c) MAN 09-200 – Medição de Obras Civis;
d) IP-9.00.00.00/3B2-001 – Instrução de Projeto Básico de Arquitetura.

Baseado nisso o Metrô de São Paulo desenvolveu o MAN 10-203 através do GT BIM GCI. Este documento contém diretrizes para contratação de projeto em BIM, e foi desenvolvido para que sua evolução aconteça de modo gradual, sendo adicionadas informações conforme o mercado de projetistas também evolui em BIM.

Um dos primeiros itens foi a identificação dos projetos, separando o projeto da edificação (estação, poços de ventilação, saída de emergência, pátios, etc.) de projetos lineares como vias e túneis. Outro ponto em destaque neste documento é a indicação do que deve ser entregue em cada projeto e os usos pretendidos. Dentre os usos encontra-se a Verificação de Regras, item tratado nesta pesquisa, atendendo ao documento Instrução de Projeto Básico de Arquitetura - IP-9.00.00.00/3B2-001, que contém as principais diretrizes que devem ser atendidas em um projeto de arquitetura para o Metrô de São Paulo (a seção 3.2.3 discorre mais sobre este documento). No que se refere aos usos BIM determinados pelo Metrô através do MAN 10-203, tem-se:

a) **Detecção de interferências:** processo no qual os Modelos 3D são reunidos em softwares de análise, e submetidos a conferências de sobreposições, cruzamentos ou interferências, resultando em um relatório de incompatibilidades;

b) **Verificação de regras:** processo de análise do Modelo 3D onde, por meio de regras são realizadas verificações referentes ao cumprimento de códigos, normas, leis e diretrizes relacionadas ao projeto, com o uso de softwares com esta finalidade;

c) **Produção de documentação técnica:** o modelo 3D deve ser a base da documentação técnica. Detalhes e outras representações que não influenciem os outros usos podem ser produzidos em 2D. A documentação deve ser entregue conforme diretrizes do MAN 10-201[2]. A seção 3.1.1 (MAN 10-203) define o que deve estar obrigatoriamente contido no modelo 3D.

d) **Quantitativo:** para que os documentos do tipo OR[3] e LM[4], especificados no Manual MAN 10-201, possam atender às necessidades do processo de definição de preços, todos os componentes e materiais do Modelo 3D devem conter um parâmetro denominado “Codigo Metro” (sem acentuação), com seus campos conforme especificados no MAN 09-200[5] e Lista de Elementos de Acabamentos.

e) **Documento de Registro:** consiste em um arquivo IFC do Modelo 3D, contendo o projeto com todos os seus componentes. Este modelo deve ser entregue na revisão final, aprovado, atendendo aos usos ao qual ele se destina.

3.2. PROCESSO DE APROVAÇÃO DE PROJETO

O processo de aprovação de projetos pela Gerência de Concepção de Projetos Básicos Civis - GCI está documentado no Fluxograma 1, indicando o seu acompanhamento, desde a fase inicial, por certos controles e mecanismos. Este já se encontra alterado para atendimento ao processo BIM, sendo possível verificar as etapas de validação do projeto, a atuação do Manual de Diretrizes para o Desenvolvimento de Projetos BIM e do coordenador BIM.

---

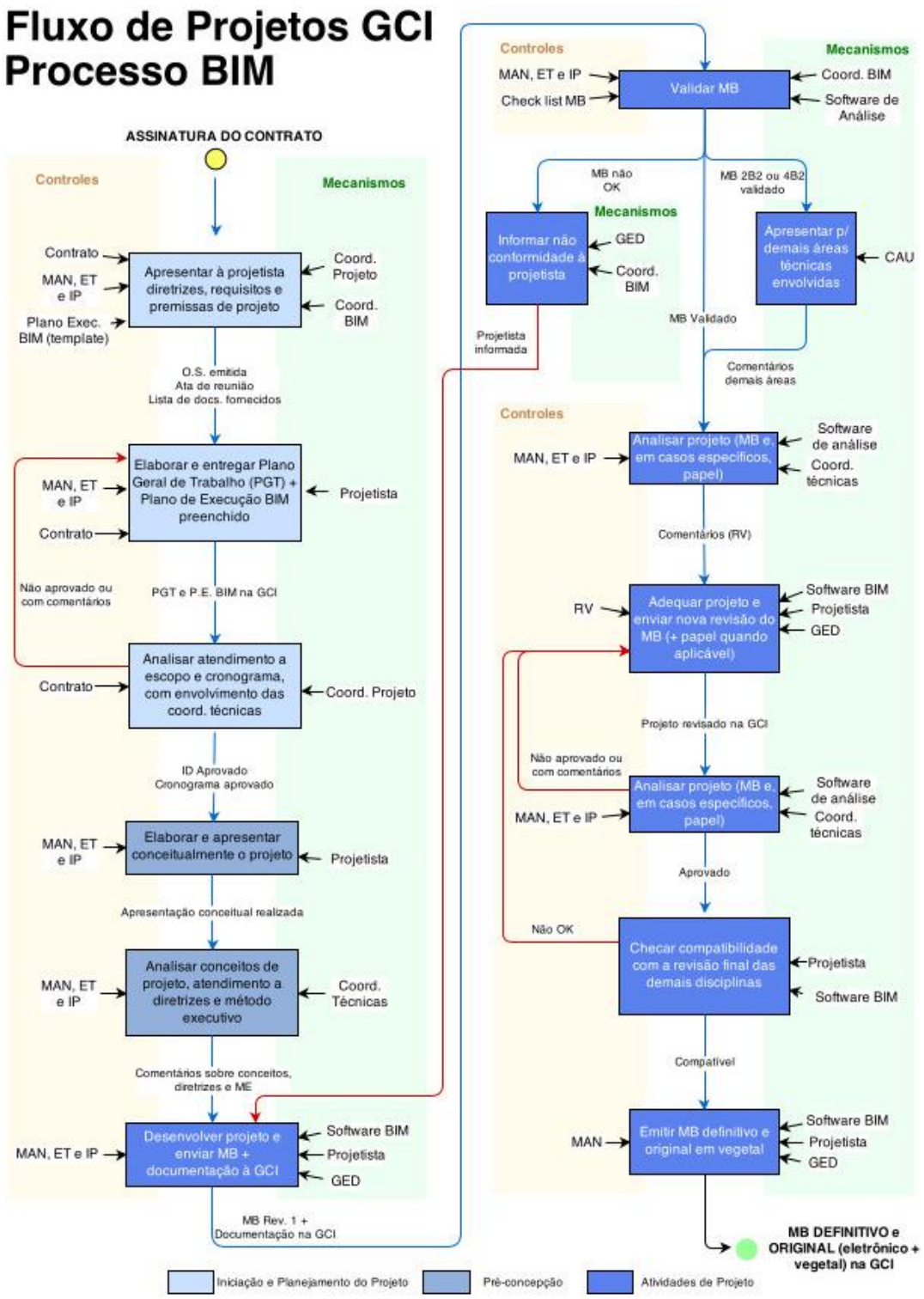
[2] Manual de Elaboração e Fornecimento da Documentação Técnica de Engenharia Civil, Arquitetura, Geotecnia, Topografia, Desapropriações e Via Permanente
[3] Planilha de Orçamento resultante de extração de quantitativo
[4] Lista de Materiais constando de todos os materiais utilizados no projeto
[5] Manual para Medição de Obras Civis

Esse processo pode sofrer alterações para diferentes projetos, dependendo de diretrizes, características e contratos. Ainda assim, este apresentado qualifica-se como a base para todos os outros processos.

3.2.1. PROJETO BÁSICO DE ARQUITETURA

O Departamento de Concepção de Projeto Básico de Arquitetura - CIA é responsável pela aprovação de projeto básico de arquitetura, paisagismo, intervenções urbanas, acabamento e comunicação visual. O departamento de arquitetura acompanha o projeto durante toda análise feita na GCI e permeiam outras disciplinas como Estrutura, Hidráulica, Geotecnia e Vias devido à sua influência nelas, sendo a aprovação final correspondente à última etapa do projeto na GCI.

Fluxograma 1 - Processo para aprovação de projetos na GCI.



Fonte: Metrô de São Paulo, 2014.

3.2.2. PROCESSOS ATUAIS DE ANÁLISE DE PROJETO

O processo de aprovação de projetos pela CAU (Coordenação de Arquitetura e Urbanismo pertencente à CIA) consiste em verificação do atendimento de normas técnicas, tanto de abrangência nacional como internas do Metrô. Analisando os itens de aprovação e relacionando com os usos BIM presentes no MAN 10-203 tem-se:

Tabela 1 - Relação de itens de aprovação e usos BIM do MAN-10-203.

Normas Técnicas - NBR	Verificação de Regras.
Itens Legais	Documentação técnica; Documento de Registro.
Instrumentos Normativos e questões técnicas do Metrô	Detecção de interferências; Verificação de Regras; Documentação Técnica; Documento de Registro.
Planilha de Orçamento	Extração de quantitativo.

Fonte: Autor.

O Metrô utiliza documentos internos com questões técnicas para o desenvolvimento de estações, como pré-dimensionamento de passagem para instalações, número de bloqueios por carregamento (número de passageiros que embarcam e desembarcam), além de normas nacionais vigentes como a NBR 9050:2015 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos (2015) para acessibilidade, e internacionais como o NFPA 130 – *Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems* (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2014). Estas normas constam em um documento interno denominado IP-9.00.00.00/3B2-001 – “Instrução de Projeto Básico de Arquitetura”, que deve ser seguido por todos os projetistas de arquitetura, e é onde a CAU tem a base para suas análises.

Até 2013, as análises eram baseadas em papel, sendo que para cada revisão de cada projeto, entregavam-se três cópias de todo o conjunto de folhas para que os devidos comentários pudessem ser feitos. Até o início de 2014, alguns projetos já haviam passados para revisão em formato digital com a utilização das folhas em arquivo DWF[6], sendo que toda a comunicação se fez por meio

[6] Design Web Format – formato mais compacto para comunicação das folhas via web

de arquivos digitais. A partir do segundo semestre de 2014, os primeiros projetos em BIM foram recebidos em arquivos IFC, com comunicação de problemas feita por meio de BCF[7], arquivo baseado em XML que permite a abertura dos comentários em softwares de diferentes desenvolvedores (seção 4.4.4).

3.2.3. O DOCUMENTO "INSTRUÇÃO DE PROJETO BÁSICO DE ARQUITETURA"

O documento desenvolvido pelo Metrô de São Paulo tem como objetivo fornecer diretrizes necessárias ao desenvolvimento de um projeto de estação metroviária. Os demais projetos de responsabilidade da Gerência de Concepção de Projetos Básicos Civis - GCI (Estruturas, Hidráulica, Comunicação Visual, Paisagismo e Acabamento) são iniciados a partir da aprovação final do projeto básico de arquitetura. As disciplinas, portanto, não seguem de forma paralela, não havendo assim, compatibilização ou comentários para revisão de arquitetura. Por esta razão, a existência de um documento com as diretrizes básicas e iniciais é fundamental para ditar as necessidades das demais disciplinas em um momento em que alterações de projeto ainda são possíveis, inclusive em projetos de sistemas que não pertencem à GCI. Este documento é utilizado por esta pesquisa como base para as regras e, contém na versão analisada, um total de 236 regras, contemplando diretrizes para os seguintes temas:

a) Premissas de projeto;
b) Acessos;
c) Hall de bilheterias e bloqueios;
d) Sanitários públicos;
e) Plataformas;
f) Salas operacionais;
g) Salas técnicas;

[7] BIM Collaboration Format – formato para comunicação e colaboração em BIM utilizando-se do arquivo IFC e da visualização em 3D

h) Caixas d’água;
i) Poços de drenagem;
j) Critérios gerais de ventilação;
k) Parâmetros para dimensionamento;
l) Projeto de Urbanização e paisagismo;
m) Bicicletário;
n) Áreas comerciais.

4. VERIFICAÇÃO DE REGRAS

A Verificação de Regras (*Code Checking*) é um dos usos do BIM e é definida em guias publicados por diversos órgãos pelo mundo, como o Statsbygg BIM Manual (STATSBYGG, 2011) da Noruega, o Building Information Modeling Project Execution Planning Guide da *Pennsylvania State University* (COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM, 2011) dos Estados Unidos e o National Guidelines for Digital Modelling (CRC CONSTRUCTION INNOVATION, 2009) da Austrália. Eastman et al. (2009), definem a Verificação de Regras como a análise do projeto por meio das informações dos componentes, suas relações e atributos.

Esforços para o desenvolvimento e aplicação deste uso de BIM já existem há praticamente duas décadas (LAW; YABUKI, 1992; KILICCOTE, 1996, apud Nawari, 2012a), sendo que, inicialmente, o foco constituiu-se em análise de projetos por meio de arquivos CAD 2D, como o caso de Cingapura iniciado em 1995 (KHEMLANI, 2005). Segundo Nawari (2012a), estudos e trabalhos similares foram desenvolvidos nos Estados Unidos da América através do Smart Code, para atendimento de regras para acessibilidade (SMC, 2009 apud NAWARI, 2012a) e prevenção de incêndios (DELIS, 1995, apud NAWARI, 2012a). O mesmo autor cita também o exemplo da General Services Administration - GSA e do US Courts (Tribunais dos Estados Unidos da América) que recentemente apoiaram o desenvolvimento de regras para verificação de projeto de tribunais federais.

No processo atual de aprovação de projeto, o analista faz uso de recursos praticamente manuais, com o desenvolvimento de seu conhecimento através de trabalhos anteriores, utilizando conhecimento e documentação além das regras que devem ser verificadas (NAWARI, 2012b). Quando um projeto é submetido ao processo de análise e aprovação, dificilmente se dará de forma idêntica dentre todos os analistas, criando-se margem para erros, denotando, portanto, uma falha na padronização, uma vez que as regras são as mesmas.

Em 2012, a Fiatech Regulatory Streamlining Committee (RSC), comunidade internacional com entusiastas em novas práticas para a indústria da

construção, participou de um projeto com o objetivo de desenvolver processos otimizados e manuais apoiando uma transformação no processo de análise de projetos. Neste projeto participaram 14 órgãos dos EUA, onde o mesmo projeto foi submetido a todos eles para verificação de normas, com intuito de identificar quão díspares eram os processos de análise manual. O resultado mostrou que, mesmo os padrões e documentações sendo rígidos, houve grande diferença no número de comentários, a ponto de um órgão realizar apenas 1 comentário e outro 40 (FIATECH REGULATORY STREAMLINING COMMITTEE, 2012). Nawari (2012a) expõe a posição do humano neste processo, sendo que sua habilidade de encontrar soluções aos problemas é maior e mais hábil do que a da máquina e, portanto, não serão substituídos em curto tempo.

Eastman et al. (2009) apresentam os meios pelos quais a Verificação de Regras pode ser aplicada, sendo que cada solução pode servir a usos diferenciados:

a) Uma aplicação desenvolvida para funcionar em outra plataforma, com um plug-in, permitindo a verificação em qualquer momento que o projetista desejar;
b) Como um software de computador, paralelo ao software de projeto;
c) Como aplicativo baseado na web, que aceita o projeto derivado de diversas plataformas.

Com o surgimento do IFC nos anos 90 (NAWARI, 2012b) as possibilidades e alcances com a Verificação de Regras foram impulsionados. Se antes o uso das informações contidas no modelo 3D só era possível através de arquivos nativos, onde não havia integração entre projetos originados de diferentes softwares, com o IFC este bloqueio deixa de existir. Sua estrutura, baseada em código aberto, permite que o mesmo arquivo, contendo o modelo 3D, possa ser aberto em softwares de diferentes desenvolvedores, permitindo também que cada projetista desenvolva o projeto em software de sua preferência. Em outra plataforma, esses arquivos são unificados representando a construção finalizada (Modelo Federado), com todos os projetos em um só, permitindo

assim que as regras escritas para a Verificação de Regras possam ser aplicadas a todos os projetos, independente do software de origem.

Khemlani (2005) fala da vantagem que o uso do BIM tem em relação ao CAD, com habilidades para dar suporte a análises e validação do projeto. A autora comenta também que o processo de análise e aprovação manual, como é realizado atualmente por grande parte do mercado, requer um trabalho muito intenso e demorado, com grandes chances de inconsistências devido às possíveis diferenças interpretativas do analista, além da frequente falta de tempo para esta etapa que colabora com esse contratempo. Apesar de o IFC ter impulsionado o uso de Verificação de Regras, Nawari (2012) cita a necessidade de o IFC receber um reforço do nível da lógica, visto que suas especificações não estão embasadas em uma lógica formal, o que melhoraria assim as possibilidades dos sistemas de Verificação de Regras.

Em 2009, foi realizada uma pesquisa com usuários que baixavam o arquivo do BIM Project Execution Planning Guide da Pennsylvania State University (2012), onde o objetivo foi coletar informações sobre os usos BIM presentes no guia em questão (KREIDER; MESSNER; DUBLER, 2010). A pesquisa contou com 175 participantes e consistia em duas perguntas: quais são os usos mais frequentes na empresa (Tabela 2), e quais dos usos a empresa compreendeu agregar alto benefício aos seus processos, avaliando-se por meio das notas -2, -1, 0, +1, +2 (Tabela 3). As respostas foram voltadas para cada um dos 25 usos disponíveis e, com foco na observação sobre o uso de Verificação de Regras, chega-se à conclusão que este ainda se encontra em estágio embrionário nas empresas, ocupando a 19º posição dentre as categorias mais utilizadas.

Tabela 2 - Adaptado do resultado da pesquisa realizada sobre quais os usos são mais frequentemente utilizados nas empresas.

Usos BIM	**Número de participantes**	**Percentual**
Coordenação 3D	158	60.4%
Revisão de projetos	161	53.5%
Criação de projetos	152	42.2%
Projeto de sistema construtivo	152	37.0%
Modelagem de construção existente	154	35.2%
Planejamento e controle 3D	150	34.4%
Programação	153	30.7%
Planejamento de obra	149	29.6%
Modelagem “as-built”	150	28.2%
Planejamento do canteiro	150	28.2%
Análise do terreno	149	27.7%
Análise Estrutural	149	26.8%
Análise Energética	155	25.4%
Orçamento	154	24.7%
Validação de Sustentabilidade LEED	152	23.0%
Análise de Sistemas Prediais	153	22.3%
Gestão de Espaços	154	21.4%
Análise de Sistemas AVAC	148	20.9%
Verificação de Regras	148	18.9%
Análise Luminotécnica	150	16.9%
Outras Análises de Eng.	146	14.7%
Fabricação Digital	149	14.4%
Gestão de Ativos	149	9.6%
Programação de Manutenção Predial	158	4.6%
Planejamento de Desastres	148	3.6%

Fonte: adaptado de Kreider et al. (2010).

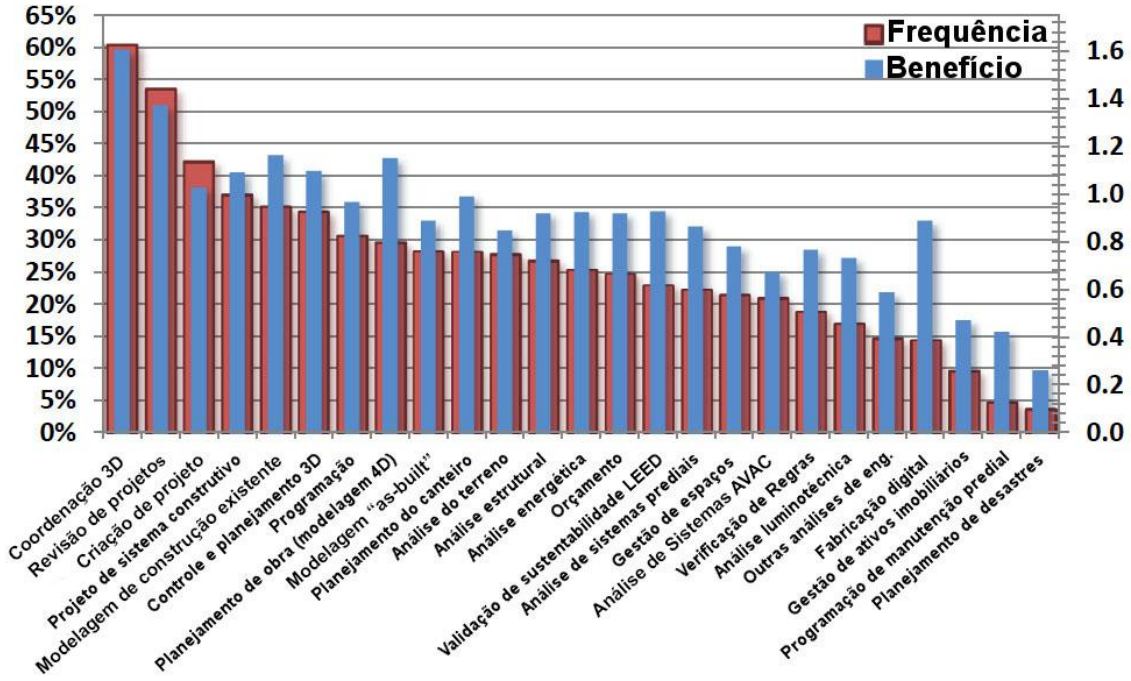
Tabela 3 - Adaptado do resultado da pesquisa realizada sobre quais os usos vistos com maiores benefícios para o projeto.

Usos BIM	**Número de participantes**	**Pontuação (-2/+2)**
Coordenação 3D	139	1.60
Revisão de projetos	137	1.37
Modelagem de construção existente	130	1.16
Planejamento de obra	119	1.15
Planejamento e controle 3D	116	1.09
Projeto de sistema construtivo	122	1.09
Criação de projetos	118	1.03
Planejamento do canteiro	114	0.99
Programação	117	0.97
Validação de Sustentabilidade LEED	109	0.93
Análise Energética	119	0.92
Orçamento	125	0.92
Análise Estrutural	112	0.92
Modelagem “as-built”	114	0.89
Fabricação Digital	105	0.89
Análise de Sistemas Prediais	110	0.86
Análise do terreno	117	0.85
Gestão de Espaços	109	0.78
Verificação de Regras	107	0.77
Análise Luminotécnica	108	0.73
Análise de Sistemas AVAC	104	0.67
Outras Análises de Eng.	99	0.59
Gestão de Ativos	100	0.47
Programação de Manutenção Predial	104	0.42
Planejamento de Desastres	96	0.26

Fonte: adaptado de Kreider et al. (2010).

Sobrepondo os dois resultados, como demonstra o Gráfico 1, é possível comparar a aplicação e o que se observa em relação aos benefícios adquiridos pela aplicação dos usos. Neste ponto, o uso Verificação de Regras destaca-se, visto que há uma grande expectativa de benefícios ainda a ser alcançado e ainda uma baixa frequência de utilização, abrindo um grande campo de atuação e pesquisas para colaborar com estas implantações.

Gráfico 1 - Comparação entre a frequência dos usos BIM com a percepção de seus benefícios.



Fonte: adaptado de Kreider et al. (2010).

4.1. CORENET – CINGAPURA

A *Construction and Real Estate Network* (CORENET) de Cingapura, é reconhecida como um dos principais casos do uso de Verificação de Regras já aplicado. Este sistema encontra-se dividido em 3 plataformas:

a) e-Submission: plataforma web para submissão de arquivos digitais, eliminando a necessidade de entrega dos projetos em papel para aprovação dos documentos pelas entidades reguladoras. Segundo Khemlani (2005), os benefícios do uso do CORENET e-Submission sobre a submissão manual são óbvios: é um sistema digital contra um baseado em papel, eliminando impressões de plantas e formulários.
b) e-PlanCheck: sistema capaz de analisar automaticamente plantas de projetos entregues em formato digital para atendimento a requisitos regulatórios. Este será o sistema da CORENET detalhado a seguir.
c) e-info: sistema repositório baseado na internet, que centraliza em um único local todas as informações relacionadas a construções em Cingapura.

4.1.1. CORENET e-PLANCHECK

Sistema desenvolvido para verificação automática de atendimento a normas e regulamentos de órgãos regulatórios de Cingapura, o CORENET e-PlanCheck apresenta foco sobre desenhos vetoriais 2D. Khemlani (2005) diz que esta iniciativa não obteve sucesso por diversas razões, como seu foco sobre desenhos 2D (e não 3D), a própria natureza do aplicativo, a inabilidade no manuseio de informações inconsistentes ou ruins, sua cobertura limitada aos códigos e desempenho em geral. O mesmo autor fala da importância desta plataforma, no entanto, visto o aprendizado resultante da sua aplicação voltado para o desenvolvimento do e-PlanCheck em 2000, este, por sua vez, focado no uso de modelo 3D, no lugar de desenhos bidimensionais.

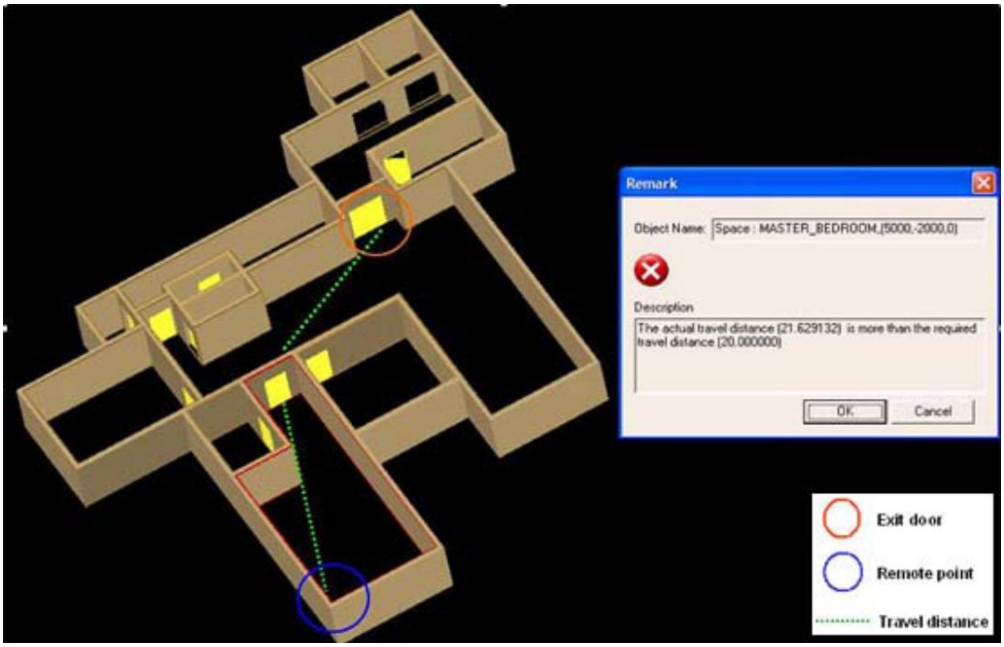
Khemlani (2005) cita o modelo IFC como o grande responsável pela implantação do e-PlanCheck, já que apresenta um padrão aberto e com foco na interoperabilidade entre softwares. O processo se inicia a partir de um modelo IFC exportado de um software autoral de projetos BIM. Khemlani (2005) cita, porém, que somente o IFC isoladamente não é suficiente para a Verificação de Regras, já que representa apenas as informações básicas do projeto, cujas propriedades são limitadas e estáticas, transformando a Verificação de Regras em algo maçante e restritivo. Khemlani (2005) coloca como necessário um nível maior de semântica dos componentes, que no caso do e-PlanCheck é provido por uma plataforma independente chamada FORNAX. Eastman et al. (2009) colocam que mapear o *schema* IFC (organização das informações) para a Verificação de Regras é visto como uma das grandes dificuldades para implantação deste uso. Para tanto, é desenvolvida uma semântica de objetos na biblioteca do FORNAX, captando do IFC apenas as informações necessárias para a verificação.

4.1.2. FORNAX

O FORNAX, plataforma desenvolvida pela novaCITYNETS Pte. Ltd. para Cingapura, encapsula os componentes do modelo em um conjunto de objetos FORNAX, sendo que cada um deles apresenta atributos e comportamentos que possibilitam verificações próximas aos códigos escritos. Um exemplo apresentado é a verificação da rota de fuga, cujo resultado é apresentado na Figura 4. O modelo IFC de um projeto de apartamento é apresentado com um conjunto de espaços onde, utilizando a plataforma FORNAX, cria-se um objeto chamado *FXApartmentUnit*, em que é possível aplicar diversos métodos para cálculos e possíveis comportamentos. No caso da rota de fuga para cálculo de distância, utiliza-se o método *GetSpaces*. Assim, todos os espaços estão contidos nesta análise de Verificação de Regras, e em seguida sobre cada espaço aplicam-se:

a) *CalculateRemotePoint*: calcula o ponto mais remoto com relação a porta do espaço;
b) *CalculateTravelDistance*: calcula a distância para a saída principal (*GetExit*)

Figura 4 - O cálculo da distância de viagem para uma unidade de apartamento como realizado em FORNAX.



Fonte: Khemlani (2005)

4.2. PADRONIZAÇÃO

Nawari (2012b) aponta a importância da organização dos componentes em categorias e subcategorias em uma hierarquia taxonômica, já que muitos dos processos de Verificação de Regras em um primeiro momento filtram a categoria e subcategorias para, em seguida, aplicar a verificação. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção (CEE-134) está desenvolvendo a NBR 15965 (Sistema de classificação da informação da construção), apresentando um padrão de classificação de componentes através de uma ontologia como a defendida por Nawari (2012), com categorias e subcategorias, facilitando o primeiro estágio de Verificação. Além disso, ela visa permitir que cada regra aprofunde a necessidade da informação, como selecionar todas as janelas, indo até o nível 3, ou somente as de madeira, indo até o nível 5, como ilustrado nas Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4 - Estrutura de identificadores da norma NBR 15965.

Tabela	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Nível 6
0M	00	00	00	00	00	00
0P	01	01	01	01	01	01
	02	02	02	02	02	02
2C						
2O						
2Q						

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

Tabela 5 - Proposta de classificação de aberturas da NBR 15965.

Código	Termo
2C.30.00	Aberturas, passagens e proteções
2C.30.20.00	Janelas
2C.30.20.11	Componentes de janelas
2C.30.20.11.11	Perfis para janelas
2C.30.20.11.14	Caixilhos e peitoris para janelas
2C.30.20.11.17	Venezianas
2C.30.20.14	Janelas por tipo de material

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A localização das informações necessárias para a verificação deve ser determinada por padrões, sejam estas informações como a classificação comentada acima, sejam informações geométricas. Solihin e Eastman (2015) apontam o LOD (*Level of Development*) como um dos aspectos importantes da verificação.

Ao se trabalhar em ambiente virtual em 3D, questiona-se até que ponto deve-se trabalhar e refinar o modelo e suas informações. A falta de um padrão ou documento que determine qual a necessidade de definições geométricas por etapa do projeto resulta em preciosismo no detalhamento ou, a falta deste, quando necessário. Este tipo de prática deixa o processo vulnerável em relação ao cronograma e às necessidades de cada momento do projeto, além de não resguardar as partes de um contrato. A necessidade de solução para este problema fez com que uma organização, chamada BIM Forum, reunisse profissionais e desenvolvesse algo em comum atendendo aos usuários de BIM.

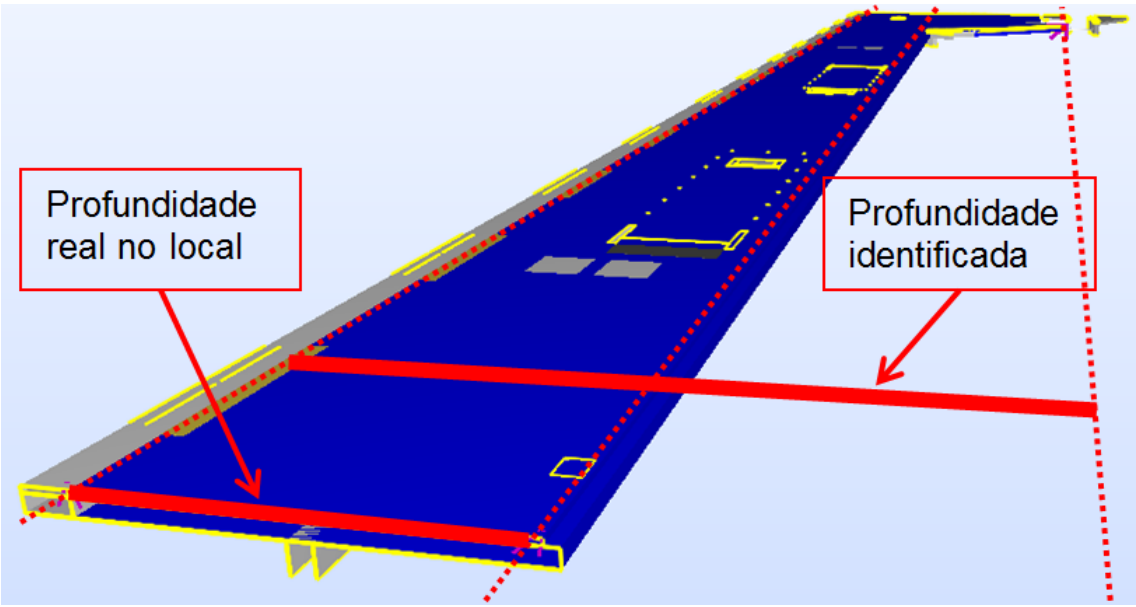
O BIM Forum (2015) publicou um material que serve de guia para o LOD – *Level of Development* (Nível de desenvolvimento). Este guia tem como objetivo padronizar níveis de desenvolvimento de projeto em BIM, criando diferentes referências que podem ser utilizadas em um contrato, atendendo ambas as partes, contratante e contratado. Tais níveis relacionam-se com a etapa de projeto, por exemplo, em um momento inicial não há a necessidade dos detalhamentos da fixação de estrutura metálica, podendo estes serem

desenvolvidos posteriormente. Estas definições devem constar no contrato ou em um plano de execução em que todos os envolvidos saibam até qual nível o modelo deve estar desenvolvido em cada etapa do projeto. O LOD determina o quão desenvolvido o projeto deve estar, relacionando-o ao tempo, e soma-se a esta necessidade as diretrizes de como a modelagem deve ser realizada para atender à análise automatizada. Mainardi Neto e Santos (2015) citam:

> "Além do padrão de informações e dados, é essencial que seja padronizado como o modelo deve ser desenvolvido, sua organização de pavimentos, onde devem se referenciar (osso ou acabado), se laje e acabamento devem ser geometrias separadas, se o acabamento do piso deve ser dividido por ambiente" (Mainardi Neto e Santos, 2015, p.5).

A Figura 5 ilustra um problema onde a modelagem impacta a Verificação de Regras. Encontra-se representado o piso de plataforma de uma estação modelada como uma peça única. Esta tipologia de estação compreende um poço central para acesso e um túnel para acomodar as plataformas, portanto o piso é alargado na parte central da plataforma. O software de verificação identifica a geometria por seus limites máximos (*bounding box*), não permitindo a identificação de espessura apenas das extremidades da plataforma. Isso ressalta a necessidade de se indicar que, ao longo do desenvolvimento do projeto, os pisos devem ser divididos em laje do túnel e laje do poço, permitindo, assim, que a regra seja aplicada corretamente. Estas informações devem estar contidas em um documento entregue ao projetista no início do projeto.

Figura 5 - Diferença de entendimento da geometria e o que deve ser analisado.



Fonte: Mainardi Neto e Santos (2015).

4.3. LEVANTAMENTO DE PLATAFORMAS PARA VERIFICAÇÃO DE REGRAS

Eastman et al. (2009) obtiveram acesso a três das principais plataformas de Verificação de Regras (Jotne EDModel Checker, Solibri Model Checker e Fornax - este já comentado na seção 4.1.2), e a processos de utilização, todos eles com a aplicação de suas regras aos arquivos IFC. O resultado deste trabalho está representado na Tabela 6.

A presente pesquisa baseou-se neste trabalho para entendimento de quais plataformas são utilizadas e a maneira como isto se dá, utilizando casos já existentes do uso da Verificação de Regras. Nawari (2012b) aponta como crucial a identificação das limitações de todos os sistemas e a indicação clara de quais partes das leis, normas e diretrizes este uso não foi capaz de atender.

Tabela 6 - Visão geral de sistemas de Verificação de Regras.

	Agência desenvolvedora, projeto	Cingapura, CORENET	Noruega, Statbygg	Austrália, CRC para CI	USA, ICC	USA, GSA
	Objetivo das regras	Código de obras	Acessibilidade	Acessibilidade	Código de obras	Circulação e segurança
	Plataforma de Verificação de Regras	FORNAX	SMC	EDM	DA´s SMARTcodes para SMC, Xabio	SMC
A. Tradução da regra: traduz uma regra escrita para uma com possibilidade de implementação em computador.						
A.1. Método de tradução das regras escritas para computacional	A.1.1. Por programação	Sim	Sim	Sim		Sim
	A.1.2. Empregar lógica de predicados ou processo de derivação similar	Sim		tradução do código orientado ao objeto; Utilização do Graph; *Express Rule schema*	Sim	
A.2. Desenvolveu uma ontologia de nome e propriedades			Ontologia baseada nos nomes dos Ambientes	Sim. Atende ao AS1428, Projeto para acessibilidade e mobilidade, e BCA D3	Sim	Ontologia baseada nos nomes dos Ambientes
A.3. Código das regras em:	A.3.1. Diretamente na linguagem computacional	Código computacio-nal	Tabelas paramétricas	Linguagem baseada em regras; *Espress Rule Schema* , Express-X	SMARTcode builder	Tabelas paramétricas
	A.3.2. Tabelas paramétricas					
	A.3.3. Linguagem baseada em regras					
B. Preparação do modelo 3D: extração e derivação do modela para verificação						
B.1. Atendimento do *Model View* para a Verificação de Regras	B.1.1. Derivar novas propriedades utilizando objetos avançados	Sim-chamado FORNAX	Biblioteca do SMC	Organização interna do modelo para definir componentes e propriedades adicionais	DA´s SMARTcodes para SMC, Xabio	SMC proveu uma API limitada para derivação de propriedades
	B.1.2. Derivar novos modelos		Adição de geometria para verificações adicionais	Organização de sub-modelos para derivar um modelo específico	SMC suporta a derivação de gráfico de circulação	SMC suporta a derivação de gráfico de circulação

Fonte: Adaptado de Eastman et al. (2009).

Continua

Tabela 5 - Visão geral de sistemas de Verificação de Regras.

B.1.3. Desempenho do *Model View* e análises integradas			Desempenho do modelo utilizando intermediário e resultados do *schema* do modelo		
B.2. Utiliza um dicionário de propriedades padrões e relações para definição de acesso	Implementado no FORNAX	Nomes dos ambientes	Utiliza as propriedades do modelo IFC e suas relações e modelo interno para definir acesso	Dicionários no SMARTcodes	Apenas para nomes dos ambientes
B.3. Visibilidade da janela de propriedades das regras					
C. Execução da regra: processamento da regra e verificação					
C.1. Validação do modelo analisando o atendimendo aos requerimentos mínimos necessários para a verificação		Sim	Executa o conjunto de regras escolhidas no modelo para identificar áreas com informação insuficiente	Sim	Implementado no SMC
C.2. Gerenciar o atendimento dos modelos submetidos — C.2.1. Verificar a consistência dos modelos submetidos					
D. Relatório da verificação					
D.1. Relatório apresentado de forma gráfica	Sim	Sim	Apresentação gráfica do resultado da verificação; Visualização 3D não é conectada	Sim	Sim
D.2. Referência por texto para análise com o texto da regra	Sim	Não	Sim	DA´s SMARTcodes para SMC, Xabio	Referência à seção, parágrafo e linha

Fonte: Adaptado de Eastman et al. (2009).

4.3.1. SOLIBRI MODEL CHECKER – SMC

Três dos casos estudados por Eastman et al. (2009) utilizaram a plataforma Solibri Model Checker (SMC), aplicativo capaz de realizar verificações de modelos BIM (quantitativos, interferências e regras) a partir de arquivos IFC. Na parte de verificação de regras, o SMC utiliza uma interface que Eastman et al. (2009) definem como “tabelas paramétricas” onde as regras já estão escritas, porém as informações são incluídas pelo usuário, permitindo assim adaptações. O SMC já contém uma biblioteca com padrões de regras para que, a partir destas, e alterando suas informações, seja possível a verificação. Caso seja necessário, novas regras (*Rulesets*) podem ser desenvolvidas utilizando o Java na interface de programação do aplicativo (API) do SMC. Mesmo não sendo pública, esta interface pode ser pedida à desenvolvedora do SMC (NAWARI, 2012b). Dentre os softwares listados no levantamento de Eastman et al. (2009), o SMC apresenta a interface (Figura 6) mais simples em relação à interação com usuário e para a realização de modificações necessárias.

Figura 6 - Interface de Verificação de Regra do Solibri Model Checker.

Fonte: Autor.

4.3.1.1. CRIAÇÃO DE REGRAS NO SMC

Assim que a interface do SMC é aberta, o primeiro passo é a determinação de um *Role* (papel / função) composto de um conjunto de *Rulesets* pré-selecionados para aquela função. Porém, pode-se remover ou adicionar *Rulesets*, customizando o *Role* conforme a necessidade. *Rulesets* são conjuntos de regras, que também podem ser personalizados permitindo a adição ou remoção das regras que já estão carregadas. É necessário entender como a regra irá atuar, que componente será verificado e de que maneira isso se dará. Eastman et al. (2009) demonstra isto na Tabela 7 e, com esta base, pode-se escolher um dos *templates* existentes, já que cada um tem sua atuação diferenciada.

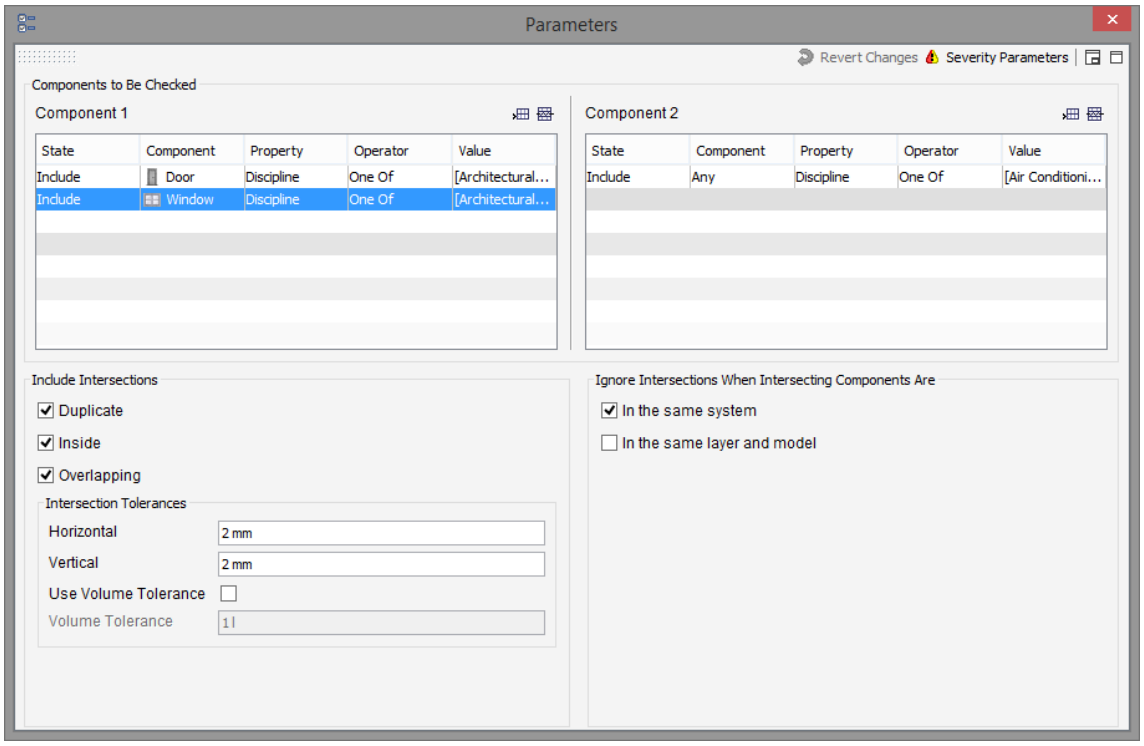
Tabela 7 - Visão geral de uma regra de verificação para acessibilidade no SMC: critério, componentes e características dos componentes.

Critério	Componentes	Características verificadas
Requerimentos para acessibilidade de circulação	Porta	Dimensões da porta e operação de abertura
	Corredor	Largura mínima sem interferências e diâmetro de giro da cadeira de rodas
	Escada	Diversos requerimentos para espelhos, pisadas, degraus, etc.
	Rampa	Inclinação, comprimento, largura mínima sem interferência, etc.
Regras para espaços específicos	Banheiro	Requerimentos para porta de banheiro, diâmetro de giro da cadeira de rodas
	Cozinha	Diâmetro de giro da cadeira de rodas
	Armazenamento	Diâmetro de giro da cadeira de rodas
Requerimentos para janelas	Peitoril	Altura máxima do peitoril
Requerimentos para superfícies	Acabamento de pisos e paredes	Acabamentos de piso determinado e propriedades relacionadas
	Superfície de escadas e rampas	Materiais antiderrapantes na superfície

Fonte: Adaptado de Eastman et al. (2009)

As regras selecionadas funcionam como uma tabela de parâmetros com suas relações, como indicado na Tabela 7, podendo as relações entre eles ser alteradas nos parâmetros disponíveis como representados na Figura 7. Essas alterações são necessárias devido à quantidade de normas, leis e diretrizes correspondentes a diferentes naturezas, existindo, inclusive a possibilidade de uma mesma regra apresentar seus parâmetros diferenciados entre documentos de municípios ou empresas diferentes (EASTMAN et al., 2009).

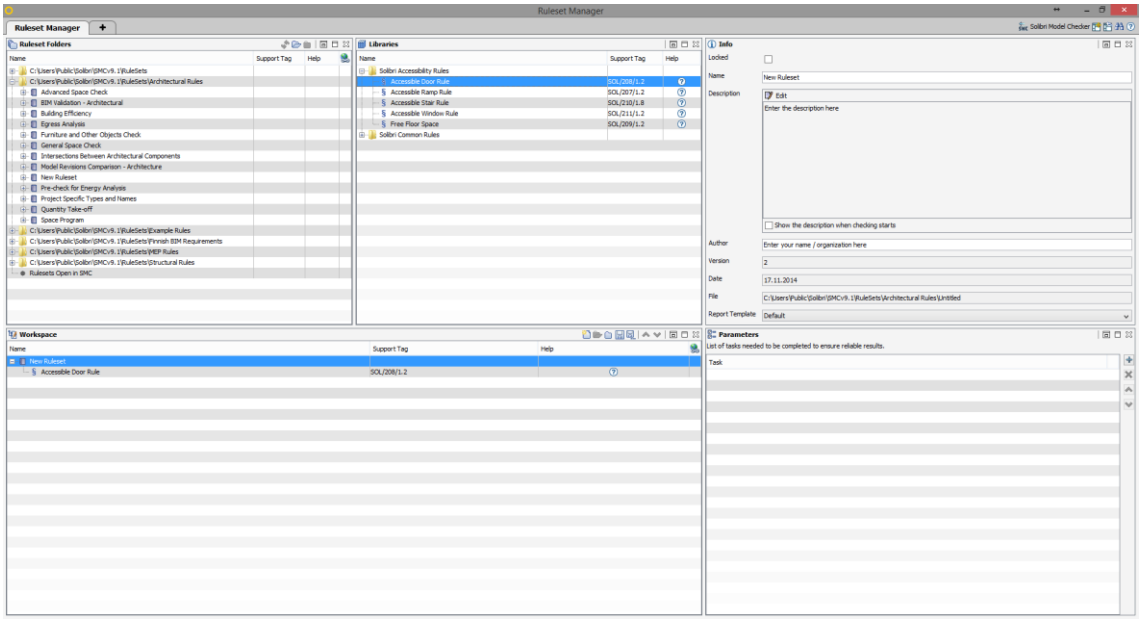
Figura 7 - Interface para alteração dos parâmetros de uma regra.



Fonte: Autor.

O SMC disponibiliza o *Ruleset Manager* (Figura 8), uma interface em que é possível unir regras em um novo *Ruleset*, possibilitando a customização do conjunto de regras.

Figura 8 - Interface do Ruleset Manager, onde é realizado o gerenciamento das regras do SMC.



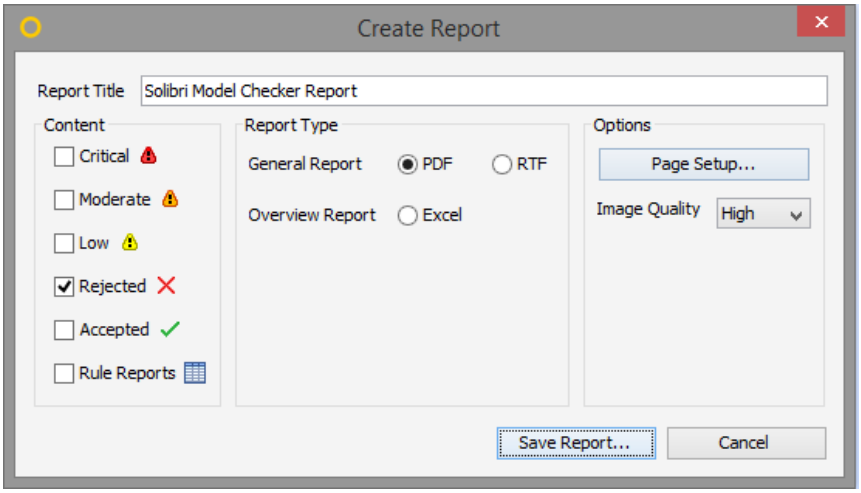
Fonte: Autor.

4.3.1.2. RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO

O SMC gera relatórios contendo os resultados da Verificação de Regras em formato textual ou gráfico, classificando-os em: *Critical* (crítico), *Moderate* (moderado) e *Low* (baixo), existindo a possibilidade de configurar quais informações e como deve ser o relatório (Figura 9).

Apesar do SMC não apresentar aplicação para desenvolvimento de projeto, sendo somente utilizado para análise visual, comunicação, extração de quantitativos e a verificação de regras, há uma comunicação entre ele e alguns softwares de desenvolvimento de projeto por meio de aplicativos (*plugin*) fornecidos pelo próprio desenvolvedor do SMC (EASTMAN et al., 2009).

Figura 9 - Interface para criação de relatórios de Verificação de Regras no SMC



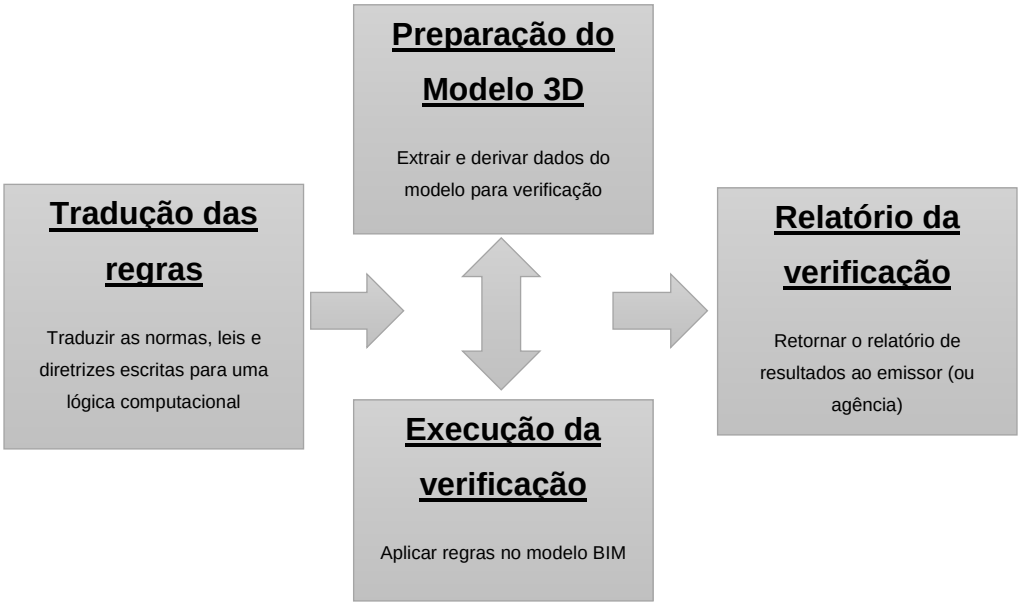
Fonte: Autor.

4.4. O PROCESSO DE VERIFICAÇÃO DE REGRAS

Normas, leis e diretrizes atualmente utilizadas na produção de projeto para a construção civil foram desenvolvidas e escritas considerando-se a capacidade de interpretação que o ser humano possui. Não se deve esperar do computador esta mesma capacidade de interpretação de textos e análise de soluções. Portanto, o que parece simples para humanos pode se tornar complexo para um computador. Por esta razão, algumas destas regras requerem revisão, por meio de reescrita para aplicação de modo mais lógico, sem que seja deixado espaço para dúvidas sobre o seu entendimento, e outras que derivam em mais de uma regra (EASTMAN et al., 2009; NAWARI, 2012a).

É de grande importância o entendimento das quatro etapas para o uso Verificação de Regras (EASTMAN et al., 2009), como ilustrado na Figura 10. A primeira delas é relativa à interpretação das regras e identificação de como criá-las na plataforma de análise. Em seguida é necessário preparar o modelo, verificar suas informações e atendimento às necessidades informadas como nomenclatura e codificação, sendo este processo realizado já na plataforma como uma pré-verificação. E assim, executa-se a verificação das regras, resultando na quarta e última etapa, o relatório de não conformidade.

Figura 10 - As quatro etapas que um sistema de Verificação de Regras deve atender.



Fonte: Adaptado de Eastman et al. 2009.

4.4.1. TRADUÇÃO DAS REGRAS

Para que o uso de Verificação de Regras seja atendido, é necessário primeiramente, traduzir estas regras. Um dos grandes desafios para o uso da Verificação de Regras é a tradução de uma norma ou regra escrita por humanos para interpretação de seu pensamento, em um sistema computacional e binário, onde as interpretações não existem (Nawari, 2012b).

Boa parte da literatura publicada, relativa a esta questão, cita as dificuldades, importância e passos para que a regra se traduza em uma linguagem que um computador possa entender. Algumas das regras apresentam possibilidade de aplicação direta, pois estão escritas em uma linguagem lógica. Outras dependem que a plataforma utilizada receba a tradução por meio de programação (EASTMAN et al., 2009). Nawari (2012b) propõe um sistema para a Verificação de Regras baseado em ontologias e lógica formal (lógica de primeira ordem).

Segundo Eastman et al. (2009), a tradução das regras normalmente tem dois aspectos:

a) A condição ou contexto onde a regra será aplicada;
b) As propriedades pelas quais as regras serão aplicadas.

O primeiro aspecto verifica, por exemplo, os potenciais caminhos para saída de emergência e, o segundo, verifica a largura e distância dos caminhos identificados em um projeto.

A aplicação das regras pode seguir dois métodos, o de regras codificadas em linguagem de computador em que é necessário o conhecimento de programação para criação, adaptação e aplicação das regras. E, o segundo, por meio de tabelas paramétricas, em que as regras obedecem a informações adicionadas em parâmetros e suas relações, em uma interface gráfica, facilitando a utilização por um grupo maior de profissionais, por não haver necessidade de conhecimento específico de programação, utilizando-se apenas de certa lógica.

Eastman et al. (2009) apontam para um desafio na Verificação de Regras: a identificação de *falso positivo*. O *falso negativo* é de fácil identificação já que o erro apontado requererá revisão, porém falsos positivos não serão necessariamente revisados e, portanto, não conformidades podem passar despercebidas.

4.4.2. PREPARAÇÃO DO MODELO 3D

Em uma comparação do processo de análise utilizando o tradicional papel e o processo em BIM, Nawari (2012) enfatiza como o processo em BIM necessita seguir padrões mais restritivos para que a informação seja produzida e extraída de maneira correta. No papel, o profissional utiliza sua interpretação para identificar e analisar os projetos, sendo este um padrão mais maleável. Por outro lado, em BIM, os padrões devem ser pré-definidos e não podem ser “esquecidos” pelos projetistas. A análise será feita com base nas informações contidas nos modelos, portanto estas devem estar representadas de maneira padronizada, mantendo o conteúdo e seu parâmetro de forma que atenda todos os processos que os utilizarão, possibilitando o uso da mesma regra para

todos os projetos. Para que esse padrão seja mantido, devem-se produzir os *Model View Definitions* (MVDs) referentes a esse uso (NAWARI, 2011, apud NAWARI, 2012a).

O principal material resultante do projeto desenvolvido no processo BIM para a Verificação de Regras é o modelo 3D contendo todas as informações do projeto. Eastman et al. (2009) mencionam que, por menor que seja o projeto, ele carrega inúmeras informações e, num processo de análise, essa quantidade de informações pode resultar em lentidão na execução da Verificação de Regras. Deve-se pensar na possibilidade de trabalhar com mais de um modelo e com um software de projeto que possibilite a exportação de arquivos IFC com usos diferentes, derivados de um ou mais arquivos do projeto.

Han (1998) apud Eastman et al. (2009) propõe o uso de modelos separados, contendo apenas as informações necessárias para um tipo específico de Verificação de regra, resultando em maior eficiência na execução da verificação. A rota de fuga, por exemplo, necessita dos ambientes (Space) e portas para verificação e, portanto, um modelo carregando todos os outros componentes torna-se demasiadamente pesado para essa análise e são, por vezes, desnecessários. Considerando novamente o exemplo anterior, poderiam ser utilizados dois modelos, um deles derivado do projeto, carregando a informação dos ambientes e portas, e outro com as informações dos caminhos pertencentes à rota de fuga.

A execução de verificação buscará as informações em locais (parâmetros) conforme foram configuradas ou criadas e, uma vez que tais informações não estejam contidas nestes locais, a verificação falha. Para uma simples identificação como a análise da largura de uma escada, é necessário definir como o software de verificação deverá encontrar esta escada. Naturalmente, o caminho mais comum seria pela sua classe, aplicando a regra de largura mínima a todos os componentes que pertencem à classe ifcStair. Porém, algumas escadas não são interpretadas como ifcStair, como a escada rolante, por exemplo, que normalmente é identificada como componente mecânico. A partir disto, há dois caminhos possíveis a serem seguidos: fazer com o que o exportador para IFC seja configurado para exportar todos os componentes

escadas rolantes como classe ifcStair, ou atribuir ao componente uma classificação padrão como a NBR 15965: Sistema de Classificação da Informação da Construção (2011). Ainda há a possibilidade de que, durante o processo de exportação do IFC, e configurada a informação de padrão de classificação, um aplicativo (*plugin*) preencha automaticamente esta informação por meio da classe ou subclasse utilizada no software de desenvolvimento de projeto.

4.4.3. EXECUÇÃO DE VERIFICAÇÃO

Como já mencionado, para que a Verificação de Regras seja realizada adequadamente, as informações devem estar de acordo com o necessário para cada regra já que será a base para os resultados. Antes da execução deste uso, é necessária uma verificação prévia com regras capazes de analisar o atendimento às necessidades de modelagem e informações. Eastman et al. (2009) nomeiam este processo como “Pré-verificação sintática do modelo”, verificando-se as propriedades contidas no modelo, nomenclatura, componentes necessários e verificação de partes das regras, sendo necessário criar regras específicas para níveis de pré-verificação.

Além de verificar se todas as informações existem no modelo, a sua integridade também deve ser verificada em um processo prévio. Os resultados obtidos não contemplam suposições ou interpretações, portanto a assertividade do resultado corre risco se a informação presente não estiver correta. Sobreposição e duplicação de componentes resultam em problemas na integridade do modelo e da informação. A Verificação de Regras ainda deverá ser realizada ao mesmo tempo de maneira automatizada (computador) e manual, com complementação entre ambas, isto devido ao processo de implantação, pré-existência de regras prontas e maturidade da tradução para uma linguagem lógica de normas e leis para sua aplicação (EASTMAN et al., 2009).

Em um processo de projeto em BIM, a comunicação e integração entre os envolvidos no projeto se dá de forma mais integrada, de forma que as trocas de

informações e arquivos são constantes. O produto final a ser entregue em um processo colaborativo, é um arquivo IFC contendo todo o projeto ou partes dele, carregando uma grande quantidade de informações, o que resulta, em grande parte das vezes, em arquivos com grandes dimensões, o que não colabora com a integração na comunicação (LINHARD; STEINMANN, 2015).

4.4.4. RELATÓRIO DA VERIFICAÇÃO

A última etapa da Verificação de Regras contempla o relatório de verificação, o qual contém o resultado dos processos anteriores. Segundo Eastman et al. (2009), enquanto edifícios têm claras definições e divisões como níveis e ambientes, muitas verificações utilizarão contextos que não pertencem a uma ontologia lógica, tornando difícil o simples ato de representar o erro. Componentes como vigas e paredes, por exemplo, apresentam informação clara em relação ao nível a que pertencem, porém, outros componentes, como um montante pertencente a um caixilho, não contêm a informação de nível pois é parte integrante de outro componente, dificultando a produção de um relatório que utilize o nível como referência de localização. É possível identificar este montante por meio das coordenadas e também movimentar a câmera (visão apresentada no computador do modelo tridimensional) para ele, demonstrando visualmente o componente. Essa capacidade, todavia, não se encontrará disponível enquanto os sistemas de Verificação de Regras não atingirem um alto grau de confiança (EASTMAN et al., 2009).

Se antes as anotações de projeto resultantes da análise, aconteciam na folha em um único plano, agora tem-se o modelo tridimensional, aumentando as possibilidades de análise, já que neste se encontra a representação completa do projeto e não apenas seções como na representação tradicional.

O relatório com o resultado da análise, agora, pode ser apresentado em um formato simples, sem inteligência, onde é apresentada uma imagem do local da ocorrência, e a regra que não foi atendida, formatado em um padrão de documentos de texto e tabela. Outro formato possível, o BCF – *BIM Collaboration Format*, corresponde a um arquivo que, ao ser carregado no

software de desenvolvimento de projeto, indica exatamente as não conformidades no modelo 3D, movimentando a câmera para o local com os componentes relacionados a não conformidade, tornando o processo de revisão mais ágil.

O BCF é um arquivo em formato XML, portanto um arquivo com linguagem aberta, que permite que plataformas de diferentes desenvolvedores possam utilizar a mesma fonte de informações. Por exemplo, em um empreendimento onde um projetista utiliza o Autodesk Revit e outro o Graphisoft Archicad, ambos softwares de desenvolvimento de projetos, o contratante pode utilizar o software da Tekla, desenvolvedora de softwares, para fazer comentários. Produzida esta informação, exporta-se um arquivo BCF, a partir do arquivo do projeto, que contém apenas as informações dos comentários, e cada projetista carrega para o seu software o arquivo BCF, visualizando todas as anotações realizadas.

4.5. CLASSIFICAÇÃO DE REGRAS DE SOLIHIN & EASTMAN

Em um momento de tradução de regras (Figura 10), Mainardi Neto e Santos (2015) observaram a necessidade de classificá-las para fins de verificação automatizada. Isso permite avaliar a viabilidade e as dificuldades que serão enfrentadas na etapa de tradução das regras, proporcionando assim um planejamento para este processo.

Solihin e Eastman (2015) propuseram uma classificação de regras objetivando o entendimento do nível de dificuldade para obter a informação necessária para a verificação da regra com a finalidade de aplicação a um sistema sem capacidade de interpretação, assim como deve ser utilizado pelo uso Verificação de Regras. A classificação proposta é composta de 4 (quatro) classes, representadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação de regras proposta por Solihin & Eastman.

Classe	Descrição
1	Regras que necessitam de poucos dados. A verificação utilizará informações existentes nos componentes, como dados presentes em parâmetros. Exemplo desta classe é a verificação da presença de informação do código do componente conforme a padronização de classificação
2	Regras que necessitam de um valor derivado simples, como geometria, utilizando-a para a verificação. Um exemplo disto é a verificação de espaçamento entre dois objetos, onde a informação não está contida no componente, utilizando-se da geometria como referência.
3	Regras que necessitam de uma estrutura complexa de dados, onde o software utilizará dados geométricos, topológicos, propriedades e possivelmente algoritmos para verificação. Um exemplo desta classe é a análise de distribuição de detectores de fumaça onde é necessária uma triangulação e criação de um mapa de cobertura para saber se todo o ambiente está coberto. Segundo o autor, a plataforma que alcançou esse tipo de classe é o FORNAX.
4	Regras que sugerem uma solução ao problema. Utilizando o mesmo exemplo da classe 3, a má distribuição resultará em um aviso e, na classe 4, a plataforma é também capaz de sugerir resoluções ao projetista.

Fonte: Solihin; Eastman (2015)

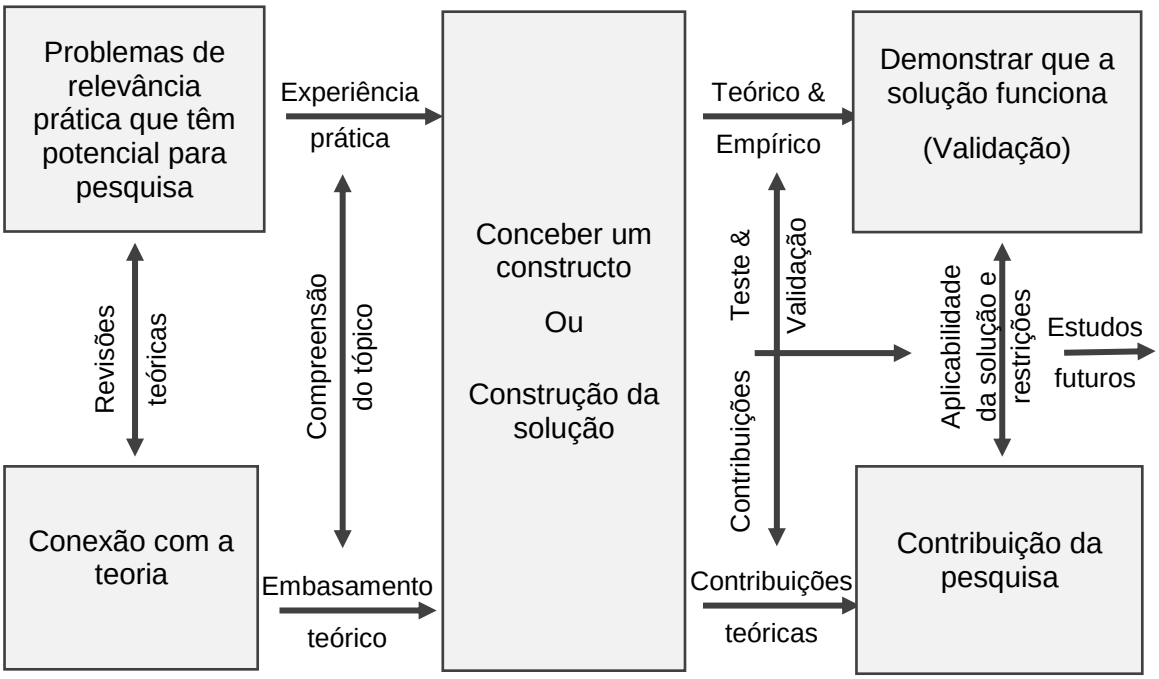
Esta classificação encontra-se direcionada a documentos tais como leis, onde as possíveis regras são mandatórias, sendo entendidas de maneira “objetiva”, sem permitir má interpretação, subjetividade ou ambiguidade em seu entendimento.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O Metrô de São Paulo iniciou seu desenvolvimento em BIM em 2011, e a partir de 2013 aplicou este processo aos projetos da Gerência de Concepção de Projetos Básicos Civis - GCI. Este novo processo permite atingir ganhos por meio de seus usos, entre eles a Verificação de Regras, foco desta pesquisa. Desta forma, a aplicação deste uso à tarefa da análise de projetos é um problema existente na Companhia, e neste cenário a pesquisa construtiva é a metodologia utilizada neste trabalho.

A Pesquisa Construtiva (*Constructive Research*) é um método utilizado em casos onde há a busca por uma solução, portanto de um problema existente e real. Kasanen et al. (1993) apud Oyegoke (2011) referem-se esta metodologia a um meio de produzir soluções como um novo processo, algo realmente diferente do que havia anteriormente e que produza uma nova realidade e usabilidade demonstrado por meio de implementação de soluções. A Figura 11, demonstra as características da pesquisa construtiva, iniciando na identificação de um problema com relevância e com potencial para pesquisa, até a validação da solução e contribuição.

Figura 11 - Características da pesquisa construtiva.



Fonte: adaptado de OYEGOKE (2011).

5.1. BASE DE INFORMAÇÕES

As regras utilizadas foram baseadas no documento IP-9.00.00.00/3B2-001 da Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô (COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ, 2013), descrito na seção 3.2.3. Também foram utilizados os manuais e documentos internos, como MAN 10-203 (seção 3.1.1), com objetivo de atender às premissas para o desenvolvimento de um projeto básico de arquitetura para estações do Metrô de São Paulo. Já em relação ao BIM, foram utilizadas literatura, guias de entidades e associações profissionais, bem como de esfera pública como referência, tais como o *Statsbygg BIM Manual* da Noruega, *Project Execution Planning Guide* dos Estados Unidos e o *National Guidelines for Digital Modelling* da Austrália entre outros.

5.2. PLATAFORMA DE VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA

Durante a pesquisa, foram realizadas aplicações e simulações de parte das regras do documento utilizado como base no software Solibri Model Checker (seção 4.3.1). Isto possibilitou um melhor entendimento das necessidades do uso Verificação de Regras e como este se aplica a um software, assim como o alcance e limitações que a utilização deste software oferece. Eastman et al. (2009a) apresentam um levantamento de plataformas disponíveis (seção 4.3), e apontam o SMC como o software mais utilizado aos quais obteve acesso. Parte disto é devido à sua fácil adaptação e alteração de parâmetros, dada a possibilidade de realizar tais alterações de forma visual e gráfica, ao contrário dos demais, onde seria necessário conhecimento em linguagem de programação.

5.3. A CLASSIFICAÇÃO DAS REGRAS

Solihin e Eastman (2015) apresentam um sistema de classificação que, ao ser aplicado ao documento base desta pesquisa, mostrou-se que seu atendimento abrange apenas as regras escritas de forma “objetiva” e lógica (seção 4.5). Para cobrir esta lacuna, este trabalho criou nova classificação para as regras escritas de forma “subjetiva” (seção 6.1.2), atendendo assim todos os itens do documento e permitindo o levantamento do percentual de regras que poderão ser atendidas com a verificação automatizada.

Além desta classificação, este trabalho propõe considerar a possibilidade de implantação destas regras na plataforma escolhida, o SMC, assim como a classificação da escrita da regra. Esta também permite realizar um levantamento do percentual do documento base, que poderá ser atendido pelo SMC.

6. RESULTADOS

A presente pesquisa é focada na aplicação de verificação automatizada para o departamento de projetos básicos de arquitetura do Metrô de São Paulo. Como comentado na seção 3.2.3, entre os documentos utilizados na análise e aprovação destes projetos está o que dita as diretrizes para desenvolvimento da arquitetura de estações metroviárias (COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ, 2013).

A pesquisa iniciou-se com foco na aplicação das regras existentes a um software e documentação do processo de Verificação de regras. Apesar das dificuldades iniciais relacionadas ao conhecimento do software de análise e o próprio processo da pesquisa, identificou-se que os problemas relativos às diferentes possíveis interpretações das regras escritas representavam um significativo obstáculo para aplicação do uso apontado, e por este motivo foi necessário entender o porquê desta dificuldade. Dessa forma, foi identificada a necessidade de focar em um momento anterior à aplicação do uso Verificação de regras, a fim de obter melhor compreensão a partir da leitura das regras contidas no documento utilizado como base e entender a possibilidade de aplicação destas e como isto se daria. A partir deste entendimento foram produzidos dois processos, um relativo à implantação do uso Verificação de Regras e outro, sobre o processo de criação de regras no SMC.

As seções seguintes discorrerão sobre quais assuntos deve-se considerar quanto à implantação deste uso no Metrô, o que pode ser replicado a outras empresas.

6.1. FLUXO DE TRABALHO DE IMPLANTAÇÃO DE VERIFICAÇÃO

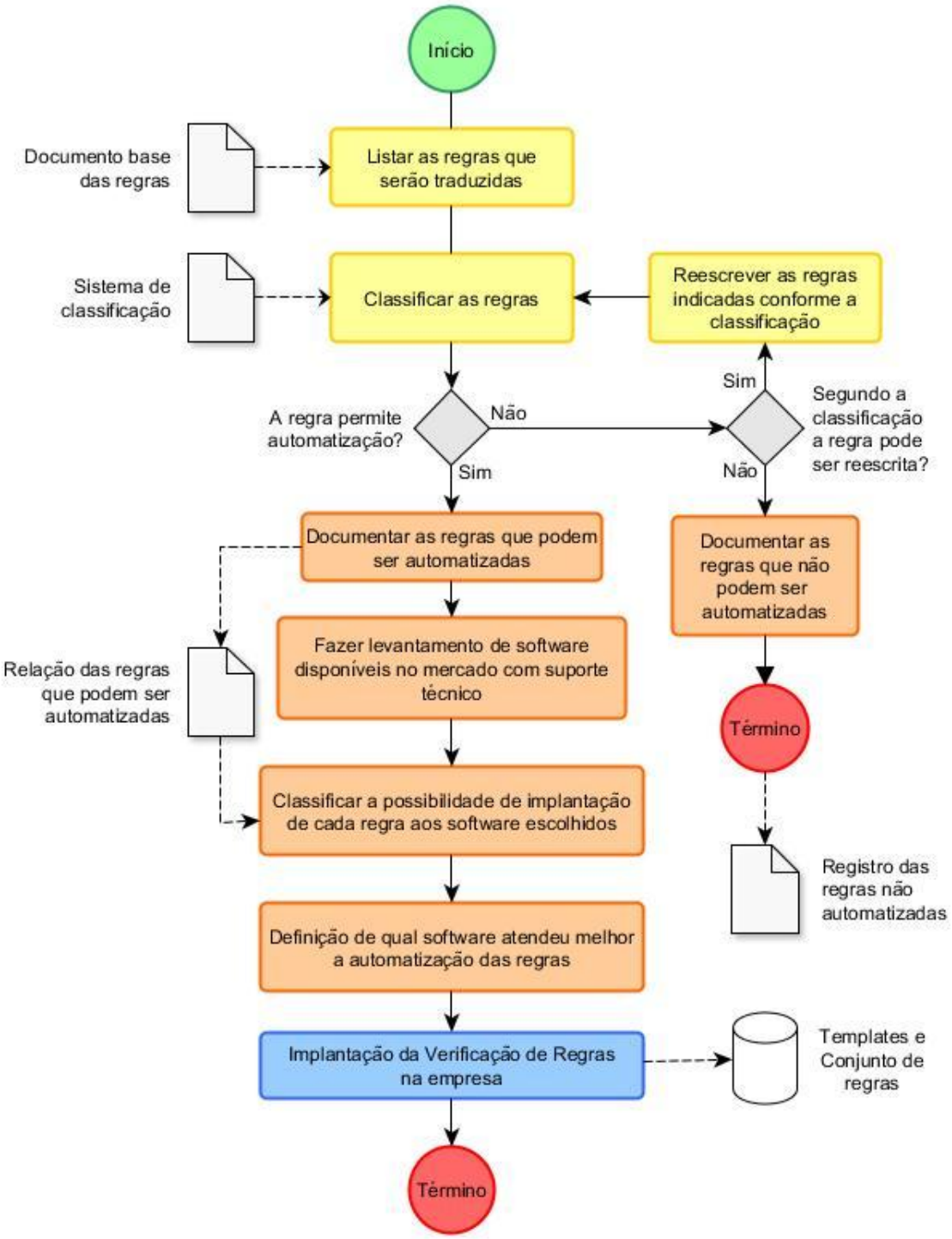
Um dos pontos mais críticos na aplicação do uso Verificação de Regras, onde se analisa o atendimento a leis, normas e diretrizes do projeto, é a tradução de uma regra existente, em uma regra aplicável em um software para este uso. Eastman et al. (2009a) apontam esta etapa de tradução como uma das quatro

necessárias para que a Verificação de Regras seja possível. O Fluxograma 3 indica a aplicação de interpretação de regras e a análise da possibilidade de utilização, presentes em dois dos quatro momentos.

Os documentos envolvidos na aprovação de projeto são diversos, desde leis e códigos de obra, até processos e diretrizes para desenvolvimento de projetos internos de projetistas, incorporadoras e construtoras. Cada documento, dado o seu grau de aplicação legal e de rigidez, recebe certo nível de atenção em seu desenvolvimento, possibilitando o surgimento de regras não totalmente claras e/ou rigorosas, deixando brechas para subjetividade no entendimento e aplicação destas. Os profissionais que desenvolvem estes documentos justificam que, uma vez que a produção e análise do projeto são feitas por humanos, deve-se contar com a capacidade de interpretação que estes possuem em relação ao conteúdo, o que contraria a aplicação do uso Verificação de Regras (seção 4.4).

O processo desta pesquisa demonstrou a importância da clareza que a regra escrita deve ter, sendo de forma lógica e impedindo ambiguidade, subjetividade ou dificuldade de entendimento, esta condição se aplica independente se a análise será feita por humano ou computacional. Há uma grande dificuldade nesta etapa em relação à tradução das regras para o software. Durante a pesquisa, em diversos momentos, ocorreu a tentativa de criação da regra diretamente no software, sem que antes houvesse um momento de pausa e reflexão sobre cada uma das regras, evidenciando a importância da necessidade de estudá-las previamente, participando não apenas de seu planejamento, mas também da verificação da viabilidade de aplicação do uso Verificação de Regras ao documento em questão. Há, portanto, a necessidade de tal planejamento na implantação deste uso no processo de análise e aprovação de projetos, como proposto pelo Fluxograma 2. Como parte deste planejamento, foi verificada a necessidade de utilização de um meio de classificação das regras, criando uma identificação em relação ao uso e aplicação ao software.

Fluxograma 2 - Processo de implantação do uso Verificação de Regras.



Fonte: Autor.

6.1.1. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE REGRAS

Para a aplicação do uso Verificação de Regras, seguindo o Fluxograma 2 proposto, deve-se escolher o documento que será utilizado contendo as regras que serão aplicadas, seguindo para a análise e interpretação das descrições das regras com a intenção de verificar a possibilidade de sua verificação automatizada.

Mainardi Neto e Santos (2015) citam que a utilização da classificação colabora também com os desenvolvedores dos softwares, na direção de indicar melhor as dificuldades enfrentadas pelos usuários e, assim, indicar as melhorias mais demandadas.

Nawari (2012b) também aponta como crucial a identificação das limitações dos softwares de verificação e a indicação clara de quais partes das leis, normas e diretrizes não foram capazes de atender.

6.1.2. CLASSIFICAÇÃO DE REGRAS SUBJETIVAS

A aplicação da Verificação de Regras ao documento Instrução de Projeto Básico de Arquitetura - IP-9.00.00.00/3B2-001, possibilitou a análise mais aprofundada sobre a classificação publicada por Solihin & Eastman (2015) (seção 4.5). Chega-se à conclusão que esta classificação subentende que as regras são “objetivas”, considerando que possuem todas as informações necessárias para seu claro entendimento, o que permite uma leitura objetiva. Documentos como leis e códigos de obras são escritos como mandatórios, não deixando brechas, subjetividades ou falta de clareza. Ainda assim, há uma grande diversidade de documentos que poderão ser submetidos a este uso, sendo alguns de uso interno em empresas que, apesar de menor rigidez, são bem descritos e objetivos.

Portanto, durante a interpretação de tal documento, muitas regras ficaram sem uma classificação por não se encaixarem como “objetivas”. Chegando-se a

conclusão da necessidade de ampliar esta classificação com uma nova, direcionada às regras “subjetivas” como o exemplo a seguir.

> “Os acessos à plataforma, nas diversas estações de uma linha, devem estar localizados de forma a facilitar a melhor distribuição dos usuários no trem” (Instrução de Projeto Básico de Arquitetura, COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ, pag. 16, 2013).

Por mais que um projeto de arquitetura apresente inúmeras possibilidades e soluções, as diretrizes têm como objetivo determinar certos limites a estas soluções, sejam estes numéricos ou descritivos. O item apresentado acima não determina claramente o que, e nem como é definida uma “melhor distribuição de usuários no trem”, podendo ser facilmente interpretada de maneira equivocada por profissionais com menor afinidade com este tipo de projeto. A leitura clara e objetiva deste tipo de regra deve, no entanto, ser facilmente realizada por profissionais com diferentes níveis de experiência, independentemente de sua aplicação em uma plataforma de verificação, permitindo que o resultado de tal leitura se dê de forma padronizada, sem que importe quem a realize. Somado a isto, a aplicação a uma plataforma de verificação requer clareza, denotando a importância, neste caso, por exemplo, de maior especificidade sobre o que seria “a melhor distribuição de usuários no trem”.

As regras, como a apresentada acima, serão denominadas de “subjetivas”, onde as informações não estão completas ou suficientemente claras e objetivas, e assim não se encaixam em nenhuma das 4 classes de Solihin & Eastman (2015). Para atender a estas regras, esta pesquisa propõe uma nova classificação, das regras “subjetivas”.

Tabela 9 - Classificação de Regras subjetivas.

Classe	Descrição
D	Dúbia: regra que apesar de certa clareza, podendo haver informações numéricas, permite chegar a mais de um entendimento.
I	Indireta: regra indicando o atendimento a Leis, Normas e Diretrizes pertencentes a outros documentos.
Z	Ineficaz: a regra não está descrita de forma clara, objetiva ou com informações suficientes, portanto deve ser reescrita.
V	Visual: esta regra não tem valores definidos pela própria natureza da regra, sendo assim a análise deve ser realizada visualmente.
C	Composta: regra composta de outras regras com classificações diferentes, sendo necessária a separação desta em outras regras.
G	Gráfica: regra indica a necessidade de representação gráfica em desenhos, portanto não há como verificar no modelo.
O	Outras regras: esta regra necessita de informações não existentes no modelo analisado, ou pertencem a outros modelos.

Fonte: Autor.

O documento “Instrução de Projeto Básico de Arquitetura” teve todos os seus itens analisados utilizando a classificação de regras objetivas (seção 4.5) e subjetivas (seção 6.1.2), identificando as regras “objetivas” e “subjetivas”, para validação da classificação proposta (Tabela 11).

6.1.3. IMPLANTAÇÃO NO SOLIBRI MODEL CHECKER (SMC)

A etapa seguinte identificada por Eastman et al. (2009), e apresentada em seu processo (Figura 10), é a execução da regra no software ou plataforma que será utilizada, no caso desta pesquisa, o Solibri Model Checker (SMC). Como parte do planejamento da implantação do uso de regras (representado no Fluxograma 2), há a necessidade de realizar um levantamento da capacidade do software em atender e aplicar as regras para verificação, para assim tomar

a decisão de qual plataforma utilizar, e como deve ser planejado o desenvolvimento destas regras.

Portanto, a utilização de uma classificação de implantação das regras no SMC se faz necessária, habilitando a possibilidade de levantamentos e indicadores de atendimento do software à Verificação de Regras. A classificação proposta na Tabela 10 não substitui as anteriores, mas sim, colabora como uma classificação que apoia o planejamento de utilização do SMC, somando-se ao levantamento da utilização das regras do documento.

Tabela 10 - Capacidade de implantação da regra ao software Solibri Model Checker (SMC).

Classe	Descrição
I	É possível implantar diretamente no Solibri Model Checker.
II	É possível implantar no Solibri Model Checker, porém será necessária adaptação por meio de linguagem de programação (API).
III	Não é possível a análise automatizada, portanto o SMC emitirá um alerta, posicionando a visualização do modelo nos componentes pertencentes a esta regra para análise visual.
IV	Não há como analisar a regra, seja automaticamente ou visualmente, portanto não será implantada.

Fonte: Autor.

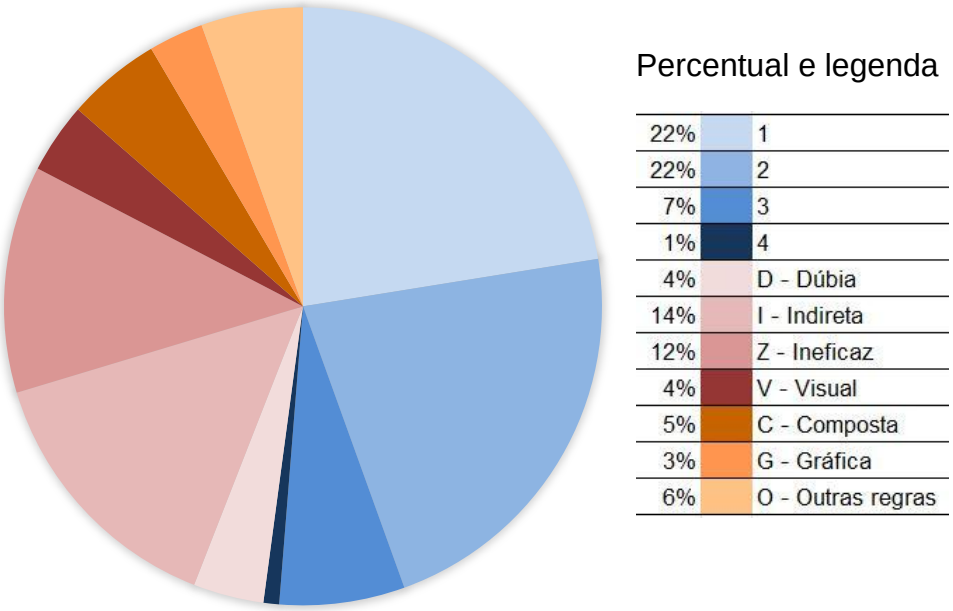
O objetivo é levantar dados que colaborem com o planejamento da implantação, como o qual percentual do documento o SMC consegue atender de forma direta, qual o percentual que requer o uso de API para a criação de regras, qual o percentual de análises para qual o SMC emitirá um alerta para a análise visual e qual o percentual das regras para qual não há meios de implantação.

6.1.4. CLASSIFICAÇÃO APLICADA À IP-9.00.00.00/3B2-001

As classificações propostas por Solihin & Eastman (2015) e por esta pesquisa (seção 6.1.2 e 6.1.3), foram aplicadas a todos os itens que compõem o documento IP—9.00.00.00/3B2-001 – Instrução de Projeto Básico de Arquitetura (Tabela 11).

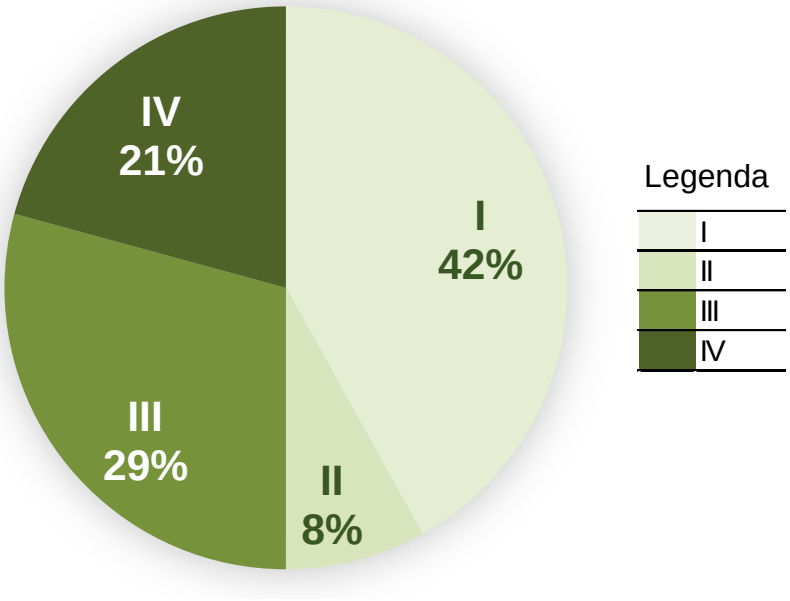
Com as regras estudadas e classificadas, foi realizado um levantamento de quais códigos da classificação estavam mais presentes no documento. O resultado encontra-se representado pelo Gráfico 2, bem como a classificação de nível de implementação do Solibri Model Checker ao documento, representado pelo Gráfico 3.

Gráfico 2 - Levantamento da classificação aplicada ao documento "Instrução de Projeto Básico de Arquitetura".



Fonte: Autor.

Gráfico 3 - Levantamento de Nível de Implementação do software SMC ao documento "Instrução de Projeto Básico de Arquitetura".



Fonte: Autor.

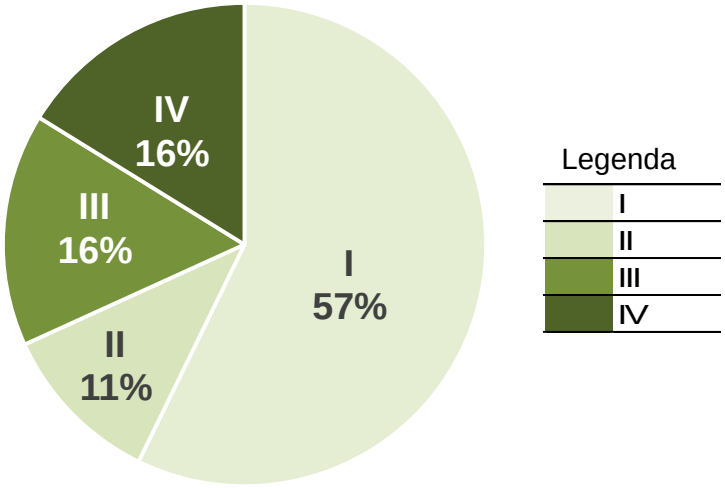
O documento base desta pesquisa apresenta um total de 236 regras. Observando o Gráfico 2 é possível verificar que as regras “objetivas” (preenchidas com tons de azul), somam 52% do total, sendo que as “subjetivas” (preenchidas com tons de vermelho e laranja), somam 48% do documento. Este resultado demonstra que o documento, que deve ser seguido pelos projetistas por conter as diretrizes para projetos de arquitetura de estações para o Metrô de São Paulo, apresenta cerca de metade de seus itens de forma não objetiva ou menções a outras normas comuns aos profissionais da área e, portanto, deve ser revisto objetivando deixar mais claras as regras. Um projeto de arquitetura tem seus espaços para desenvolver a criatividade, a individualidade e seu uso, havendo assim inúmeras soluções, porém, não deve haver dúvidas com relação aos seus limites.

O Gráfico 3 demonstra quanto o software escolhido atende às regras como estão descritas na revisão utilizada por esta pesquisa, considerando a aplicação ao total das 236 regras. A classificação “I” indica que o uso pode ser feito de forma automatizada, informando o atendimento ou não diretamente, sem necessidade de outras soluções como API ou análise visual, sendo esta atendida em 42% das regras. A classificação “II” indica a necessidade de

linguagem de programação para criar a regra necessária através da API do software, o correspondente a 8% das regras. Somada às duas classificações anteriores, verifica-se que o software apresenta capacidade de atendimento a 50% do documento. A classificação “III” atingiu 29% do documento e indica o uso de um alerta, lembrando ao analista que este deverá verificar visualmente o atendimento a estas regras. A classificação “IV”, por fim, indica que não há formas de se realizar a análise por meio do software e modelo, atingindo 21% das regras.

Realizando uma composição dos dados levantados é possível fazer levantamentos que colaboram com a decisão sobre a implantação. As regras objetivas somadas obtém o total de 52%. Pode-se adicionar a este número as regras subjetivas que podem ser reescritas (D, Z e C), possibilitando assim a sua aplicação, totalizando 73% de atendimento ao total de regras. Realizando o levantamento da possibilidade de implantação das regras que compõem estes 73%, representado pelo Gráfico 4, a classificação “I” que permite a aplicação direta ao SMC atinge o percentual de 57% e, desenvolvendo a regra com o uso de API, portanto classificação “II” (11%), chega-se ao total de 68% do documento com possibilidade de atendimento para a aplicação da Verificação de Regras, aumentando a possibilidade de implantação.

Gráfico 4 - Classificação de implantação ao Solibri somando as regras objetivas com as D, Z e C.



Fonte: Autor.

Tabela 11 – Classificação proposta da regra e do nível de implantação aplicados ao documento Instrução de Projetos Básicos de Arquitetura.

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2	**Conceito**		
2 1	**Premissas gerais para concepção e desenvolvimento de projeto de arquitetura das estações**		
2 1 1	As estações devem ser preferencialmente posicionadas em trechos retos da via ou com raio mínimo de 1000m.	V	III
2 1 2	Todas as edificações que afloram dentro do limite de lotes previamente existentes, devem obedecer integralmente à legislação de uso e ocupação do solo respeitar as restrições dos órgãos de preservação ambiental e de patrimônio cultural.	I	III
2 1 3	Deve ser assegurada a acessibilidade das pessoas com deficiência (PCD) nos acessos.	I	III
2 1 4	O dimensionamento e encaminhamento das áreas de circulação consideradas rotas de fuga, os espaços seguros para acomodação de usuários e a distribuição e compartimentação horizontal e vertical de salas devem atender à Norma internacional NFPA 130, visando plena segurança em situações de anormalidade	I	III
2 1 5	Atender as normas vigentes ABNT, NFPA e Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros (IT) para o dimensionamento do sistema de segurança contra incêndio e controle de fumaça, incluindo prevenção e escolhas de materiais.	I	III
2 1 6	Os ambientes da estação devem contar com iluminação adequada às Normas Técnicas, prioritariamente, natural.	I	III
2 1 7	Os ambientes da estação devem contar com ventilação adequada às Normas Técnicas, prioritariamente, natural, exceto nas salas técnicas de equipamentos eletrônicos (SEE), nas bilheterias e na SSO que devem ser providas de um sistema de ar condicionado. Na falha deste, deve-se contar com um sistema de ventilação (ver item 2.9.4.). Para tanto, deve ser verificado Documento Técnico específico de sistemas de ventilação e atendidas as Normas e legislação vigentes, principalmente IT 15 do CB.	C	IV
2 1 8	As salas técnicas e operacionais devem ser posicionadas próximas ou na superfície.	1	I
2 1 9	As bilheterias e os bloqueios devem ser posicionados próximos dos acessos	D	IV

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 1 10	O acesso de usuários à área paga, incluindo pessoas com deficiência, deve ser feito somente através da linha de bloqueios	3	II
2 1 11	Nas extremidades de escadas e rampas devem ser previstos espaços de acomodação com comprimento mínimo de 1,5 vezes a largura do conjunto de escadas e/ou rampas	2	I
2 1 12	Espaços remanescentes, localizados fora do fluxo de usuários, e empenas de paredes ou estruturas, podem ser destinados ao uso institucional por meio da indicação de instalações de obras de arte permanentes (painel mural, escultura) ou temporárias (espaços de exposição)	V	III
2 1 13	Os espaços remanescentes também podem receber a indicação de ocupação comercial (lojas, estandes, quiosques) desde que essa não traga prejuízo à fluidez e segurança, bem como sejam dotados de infraestrutura necessária para o uso	V	III
2 1 14	Os dutos de insuflação da estação devem, preferencialmente, ser executados em concreto/alvenaria de forma a integrar-se melhor à arquitetura da estação	2	I
2 1 15	Os encaminhamentos de cabos para instalação de sistemas (luminárias, sonofletores, câmeras de CFTV e outros equipamentos) devem integrar-se aos ambientes de forma concentrada, por meio de shafts verticais dotados de fechamentos removíveis ou nichos com armários e calhas ou bandejamentos, com os sistemas agrupados, proporcionando o fácil acesso para reparos e conservação. As estruturas auxiliares, que suportam o encaminhamento dos sistemas, devem ser apontadas no projeto básico para possibilitar o dimensionamento e cálculo das instalações civis. Nesse sentido, as capacidades, quantidades e posicionamentos dos mesmos devem ser previamente acordados com as áreas técnicas responsáveis pelos respectivos sistemas. Quando o pé direito for acima de 5 metros deve ser prevista estrutura auxiliar para a instalação de sistemas elétricos de sonorização, iluminação, segurança e comunicação visual	C	III

Código IP			Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2	1	16	No desenvolvimento dos Projetos Básicos de Arquitetura devem ser previstos e indicados nos desenhos dos enchimentos ou espaços / locais para caminhamento das instalações como: Bancos de dutos nos acessos e Mezaninos, para os equipamentos de Baixa Tensão e Telecom, Calhas sob as linhas de bloqueios, Dutos e canais de Ventilação, Caminhamento de bandejas entre porões, Instalação das Luminárias nas plataformas, Instalação dos dispositivos de Telecomunicação, etc	C	III
2	1	17	As soluções de projeto para os ambientes do edifício, notadamente os locais de difícil acesso, devem considerar a necessidade de manutenção e limpeza, os equipamentos de segurança necessários conforme obriga a norma NR35 - Trabalhos em Altura e o respectivo custo-benefício de implantação	I	III
2	1	18	Com o objetivo de garantir a visibilidade e a permeabilidade entre os diversos ambientes de circulação pública, especialmente em situações de anormalidade e emergências, devem ser evitadas barreiras físicas e visuais, nichos, reentrâncias e obstáculos que prejudiquem a circulação ou propiciem condições inseguras ao patrimônio e/ou aos usuários	3	I
2	**2**		**Acessos**		
2	2	1	Devem ser dimensionados de modo a atender a demanda lindeira, considerando-se expansões previstas e possíveis impactos	D	IV
2	2	2	Devem ter pé direito livre de 3,50m	1	I
2	2	3	Nas caixas de escadas o pé direito mínimo deve ser de 2,50m	1	I
2	2	4	Não devem possuir reentrâncias ou jardineiras que se constituam em elementos que comprometam a segurança e a higiene dos ambientes	D	III
2	2	5	Devem ser cobertos e projetados de modo a se evitar seu uso indevido fora da operação comercial. Deve ser prevista marquise junto às entradas para proteção contra chuvas de vento com consequente acúmulo de água no piso. Nessas situações também deve ser previsto o fechamento da área coberta fora da operação comercial por meio de portões ou portas	C	III

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 2 6	Prever elevador com capacidade para 8 (oito) pessoas, desde o nível da rua até a área não paga do hall de bilheterias e bloqueios (NBR 14021). Observar os dimensionamentos indicados no documento IP-9.00.00.00/3Z0-005	C	I
2 2 7	Deve ser prevista 1 (uma) vaga para viatura de segurança em um dos acessos da estação	1	I
2 2 8	Deve ser prevista baia com área para embarque e desembarque de pessoas em cadeira de rodas, dotada de rebaixamento de calçada e faixa de travessia, preferencialmente em todos os acessos	O	III
2 2 9	Prever baias para embarque/desembarque “kiss and ride” para, pelo menos, 3 (três) veículos, preferencialmente em todos os acessos	O	III
2 2 10	Deve ser garantido espaço junto aos acessos para parada de veículo do Corpo de Bombeiros em situações de emergência, com sua respectiva identificação no desenho	G	III
2 2 11	Indicar os locais previstos para implantação de pontos de táxi, sempre que possível	G	III
2 2 12	A cota de nível da soleira de cada acesso deve ser definida tendo em vista as cotas máximas de inundação. Sempre que houver desnível, devem ser previstas rampas com inclinação conforme NBR 9050 entre o nível da soleira e o nível da calçada. A inclinação deve ser preferencialmente menor que 5%	Z	I
2 2 13	Na apresentação dos desenhos, os acessos devem ser denominados com letras, iniciando com Acesso A, na posição norte, em sentido horário	Z	I
2 2 14	Um dos acessos das estações deve contemplar ambientes segregados para depósito de lixos orgânicos, de coleta seletiva e de resíduos biológicos. Esses ambientes devem ser acessados, preferencialmente, pela rua sem contato com o fluxo de usuários	Z	IV
2 2 14 a	Estações de baixo movimento (até cerca de 50.000 usuários/dia) devem possuir uma sala para recicláveis e não recicláveis de 2 x 3m, com ponto interno de água e esgoto (ralo).	1	I
2 2 14 b	Estações de alto movimento (acima de 50.000 usuários/dia, conexões com terminal de ônibus/rodoviários, CPTM) devem possuir uma sala para recicláveis e não recicláveis de 3 x 4m, com ponto interno de água e esgoto (ralo)	1	I

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 2 14 c	Todas as estações devem possuir uma sala em área externa para resíduos biológicos com dimensão mínima de 1,4 x 1m, facilidade de acesso à rua, com ponto interno de água e esgoto (ralo), e com ventilação adequada, conforme recomendações da ANVISA	Z	IV
2 2 15	Em estações próximas a locais que recebam altas demandas de pessoas em horários concentrados (estádios, autódromos, ginásios esportivos, casas de show e manifestações populares) os elementos construtivos devem permitir estratégias de organização dos fluxos de entrada e saída com instalações e equipamentos projetados para impedir atos de vandalismo em situações de descontrole de massa	D	IV
2 2 16	Os corredores de pedestres deverão possuir ângulos abertos, evitando "cotovelos" para assegurar boa visibilidade e fluidez	Z	IV
2 2 17	Os acessos incorporados aos empreendimentos comerciais e/ou de serviços devem prever a distinção entre a entrada do metrô e do empreendimento, facilitando a compreensão de cada espaço e o deslocamento de usuários e atender às mesmas condições de acessibilidade e fluidez	Z	III
2 3	**Estacionamento de veículos de apoio**		
2 3 1	Deve ser prevista 1 (uma) vaga de viatura de segurança para apoio operacional	1	I
2 3 2	Deve ser prevista 1 (uma) vaga para caminhonete (6,00m x 2,50m), no acesso próximo às salas técnicas da estação e 1 (uma) vaga para caminhão (12,00 x 3,00) junto à sala do grupo diesel (SGD), para apoio à manutenção	2	I
2 4	**Passarelas, áreas de circulação horizontal e elementos de circulação vertical**		
2 4 1	Prever dimensionamento adequado para garantir o atendimento à maior demanda prevista	D	IV
2 4 2	O dimensionamento dos elementos de circulação e espera da estação deve buscar o LOS (Level Of Service - Fruin) S e D em operação normal e, somente em caso de situações de emergência ou anormalidade operacional, o LOS E	I	IV
2 4 3	Não deve haver conflito na circulação de entrada e saída de usuários	3	III
2 4 4	Em corredores e rampas:		

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 4 4 a	Prever área de acomodação e dispersão nas extremidades inferior e superior de escadas, com comprimento mínimo de 1,5 (uma vez e meia) a largura do conjunto de escadas.	2	II
2 4 4 b	As áreas de uso público, devem ter largura livre mínima de 2,20m (4 CAN) e ser dimensionados para atender a demanda estimada. A largura deve, preferencialmente, resultar número múltiplo de 0,55m (CAN). Em túneis a seção útil para circulação de pessoas deve observar a altura mínima livre de 2,40m.	Z	II
2 4 4 c	Nos corredores nas áreas de circulação pública, deve ser considerado o afastamento de 30cm das paredes para formar as áreas úteis de circulação	D	IV
2 4 4 d	As áreas de uso restrito devem ter largura livre mínima de 1,20m	1	I
2 4 4 e	Considerar a capacidade de 3.000 PHP/m quando a inclinação for de até 5%	Z	II
2 4 4 f	Nas rampas, quando a inclinação for superior a 5%, considerar a capacidade de 2460 PHP/m para o fluxo ascendente e 3000 PHP/m para o fluxo descendente	Z	II
2 4 4 g	Nas rampas cobertas, o pé direito mínimo deve ser de 3m entre piso e o teto, acabados	2	I
2 4 5	Áreas de circulação com possibilidade de fechamento devem ser acessíveis e dotadas de portão que permita a abertura e fechamento gradativos, parcial ou total, de forma a controlar o fluxo de embarque durante eventos ou aglomerações	3	II
2 4 6	Áreas de circulação com característica de servidão de passagem, aberta 24h ao dia, devem ser dotadas de rampas e/ou escadas fixas, permitindo sua utilização, independentemente do fechamento da estação ou do desligamento dos equipamentos de circulação vertical (elevadores e escadas rolantes)	1	I
2 4 7	As passarelas devem estar vedadas com elementos de proteção na região das vias, com altura mínima de 1,60 m para que não possam ser escalados	2	I
2 4 8	Evitar cantos vivos e obstáculos em locais de mudanças de direção, garantindo fluxos contínuos e controle visual	D	IV
2 4 9	Evitar cruzamentos e conflitos de fluxo, notadamente próximos a equipamentos de circulação vertical (escadas rolantes, escadas fixas, rampas e elevadores)	D	III

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 4 10	As rampas devem ter inclinação, em conformidade com a norma técnica NBR 9050	I	IV
2 4 11	O dimensionamento da circulação deve estar em conformidade com a NFPA 130 para as situações de emergência	I	IV
2 4 12	O local definido como “área segura” deve atender integralmente a NFPA 130, quanto às condições e os dispositivos de segurança	I	IV
2 4 13	Corredores fechados, com extensão acima de 40m, devem ter ventilação mecanizada para fins de conforto térmico, sendo necessário sistema de controle de fumaça	1	I
2 4 14	Elementos de circulação vertical:		
2 4 14 a	Prever, no mínimo, 2 (duas) escadas rolantes, 1 (uma) escada fixa e 1 (um) elevador em cada acesso e 2 (duas) escadas rolantes, 2 (dois) elevadores e 2 (duas) escadas fixas em cada plataforma, distribuídos em sua extensão, para facilitar a circulação dos usuários e garantir o cumprimento das condições de percurso e de tempo de escoamento para área segura. Não devem ser implantados acessos/saídas pelas extremidades das plataformas	2	I
2 4 14 b	Sempre que possível, os elevadores de plataforma devem ser posicionados o mais próximo possível do local de embarque preferencial junto ao 1º carro, facilitando a acessibilidade dos usuários para embarque e desembarque	V	III
2 4 14 c	Os elementos como os quadros de controle das escadas rolantes e elevadores, hidrantes, painéis de luz, totens e demais elementos não podem interferir no espaço de circulação	3	II
2 4 15	Escadas fixas:		
2 4 15 a	A configuração deve favorecer os fluxos de circulação, evitando deslocamentos em 180° (“U”) ou 90° (“L”), de maneira a eliminar congestionamentos nos patamares, base e topo das escadas, bem como facilitar a visualização total do percurso	3	III
2 4 15 b	Nas caixas de escadas fixas o pé-direito mínimo deverá ser de 2,50m	1	I
2 4 15 c	Cada lance de escadas não pode exceder a 3,00m de desnível	1	I
2 4 15 d	As escadas fixas deverão estar em conformidade com a norma técnica NBR 9077 e, quando associada à escada rolante, ter inclinação de 30º	I	IV

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 4 15 e	Devem ter largura mínima livre de 2,20m (4 Canais-CAN) nas áreas públicas e ser dimensionados para atender à demanda estimada e as necessidades de rota de fuga, preferencialmente múltiplos do canal (CAN), excluídos os guarda-corpos	1	II
2 4 15 f	Devem ter largura livre mínima de 1,20m nas áreas de uso restrito, excluídos os corrimãos	1	I
2 4 15 g	Considerar capacidade de 2170 PHP/m para os fluxos ascendente e descendente	1	II
2 4 16	Escadas rolantes:		
2 4 16 a	Nas caixas de escadas rolantes o pé-direito mínimo deve ser de 2,50m entre piso e teto acabados	1	I
2 4 16 b	O dimensionamento do nicho de instalação das escadas rolantes deve seguir a IP-9.00.00/3Z0-004	I	IV
2 4 16 c	Considerar capacidade de 6.000 PHP/escada rolante e velocidade de 0,5m/s	1	I
2 4 16 d	Deve ser previsto, para cada escada rolante, nicho para acomodação de quadro de controle de escadas rolantes (QCER), preferencialmente, nas proximidades da cabeceira superior de cada escada, com visada direta para a mesma e com dimensões que seguem o documento IP-9.00.00.00/3Z0-004	C	III
2 4 16 e	A configuração dos equipamentos deve favorecer os fluxos de circulação evitando, sempre que possível, os deslocamentos em 180° (“U”), de maneira a eliminar congestionamento junto às cabeceiras das escadas. Caso o deslocamento em 180°seja necessário, deve-se manter o afastamento mínimo de 2,00m entre as duas escadas rolantes	V	III
2 4 16 f	Deve ser prevista área de circulação e dispersão dos diversos segmentos de escadas rolantes, com comprimento de 1,5 vezes a largura do conjunto de escadas, ou mínimo de 4,50m	2	II
2 4 17	Elevadores		
2 4 17 a	Os elevadores devem ser acessíveis, em conformidade com a NM 313 e localizados de forma a não constituírem obstáculo aos fluxos de usuários, conforme ABNT NBR 9050 e ABNT NBR 14021	I	IV
2 4 17 b	Devem ser previstos 2 (dois) elevadores desde a área paga do hall de bilheterias e bloqueios até as plataformas. Deve ser evitada a troca de	2	I

Código IP				Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
				elevadores em níveis intermediários		
2	4	17	c	No mezanino principal, os elevadores para usuários devem estar localizados o mais próximo possível da SSO, permitindo controle visual dos mesmos	V	III
2	4	17	d	Sempre que o desnível entre dois pavimentos exceder 11,00m, deve ser garantida a saída de emergência da caixa de corrida dos elevadores segundo a norma técnica vigente	I	IV
2	4	17	e	Todos os elevadores de área pública de estação devem ter capacidade para 8 (oito) pessoas	1	I
2	4	17	f	O dimensionamento dos elevadores deve seguir a IP-9.00.00.00/3Z0-005	I	IV
2	**5**			**Saguão de bilheterias e bloqueios – área livre**		
2	5	1		As áreas onde estão posicionadas bilheterias e bloqueios devem ter pé direito mínimo de 3,50m entre piso e teto acabados	2	I
2	5	2		As salas de Supervisão Operacional (SSO), as bilheterias blindadas, as bilheterias de Bilhete Único, as máquinas para venda de bilhetes e a linha de bloqueios devem estar localizadas no mesmo ambiente, para possibilitar o controle visual a partir da SSO	2	I
2	5	3		O layout do saguão deve ser posicionado de forma a possibilitar a formação de filas sem ocasionar cruzamento ou comprometimentos dos fluxos de usuários	3	III
2	5	4		Nos acessos considerados servidão de passagem, abertas 24h, devem ser previstos fechamentos que isolem todas as dependências e equipamentos operacionais, nos horários fora da operação comercial	3	III
2	5	5		A sala de supervisão operacional (SSO) deve ser localizada na extremidade da linha de bloqueios com acesso, preferencialmente, pela área paga, possibilitando também o atendimento pela área livre	2	I
2	5	6		A SSO deve ter duas faces livres possibilitando acesso externo para manutenção de equipamentos. A SSO deve ter sistema de condicionamento de ar	2	I
2	5	7		Os equipamentos e instalações da estação devem ser dispostos de modo a garantir que não haja conflito ou interferência entre as áreas de acomodação de pessoas e os fluxos de embarque e saída	3	III

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 5 8	Prever áreas de acomodação de fluxo com dimensionamento adequado junto à linha de bloqueios para permitir o direcionamento, controle e contenção de usuários para embarque, considerando tempo superior a 15 minutos de suspensão de serviços com aglomerações de 5 (cinco) ou mais passageiros/m2	Z	IV
2 5 9	Nas estações de conexão entre metrô e monotrilho, trem e/ou ônibus, prever espaços para ponto de encontro entre usuários, posicionados, preferencialmente na área não paga ou fora das áreas de fluxo, das bilheterias e da linha de bloqueios	Z	III
2 5 10	As estações devem conter um único saguão de bilheterias e uma única linha de bloqueios	2	I
2 5 11	Deve ser previsto local para instalação de 1 (um) telefone público convencional, 1 (um) para cadeirantes e 1(um) para pessoas com deficiência de voz/auditiva, em área paga	2	I
2 5 12	Quando necessária a ventilação mecânica, deve ser prevista sala para instalação de equipamento de ventilação auxiliar do tipo resfriador evaporativo junto à linha de bloqueios. A sala deve ter dimensões de 3,00 x 4,00 m, ter tomada de ar externo, ponto de água e ralo	2	I
2 5 13	Nas estações terminais e de transferência, prever a instalação de uma área de atendimento público equipada com balcão e cadeiras. Nas estações de transferência ele deve estar posicionado próximo ao fluxo de transferência sem causar transtornos à circulação de usuários, enquanto nas outras estações, deve estar na área paga, próximo à linha de bloqueios. Deve ter área mínima de 6m² (3m de largura x 2m de profundidade). É necessário prever infraestrutura como ponto de luz próprio, ponto de telefonia, ponto de rede/internet	G	III
2 5 14	Equipamentos de controle de acesso:		
2 5 14 a	A área de acomodação de usuários em formação de filas deve ter no mínimo 10,00m de comprimento na área livre e 5,00m de comprimento na área paga, medidos a partir dos bloqueios	2	I
2 5 14 b	A linha de bloqueios deve ser contínua, com equipamentos do tipo tripé	V	III

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 5 14 c	Para acesso de pessoas com deficiência, carrinhos de bebê, bicicletas e pessoas com bagagem deve ser adotado o tipo porta de vidro ou cancela, com abertura automática	1	I
2 5 14 d	Para transferência entre sistemas com operadoras diferentes que exigem o controle tarifário, deve ser utilizado o dispositivo de contagem eletrônica (DCE), sem o tripé. O modelo será definido caso a caso	1	I
2 5 14 e	Todos os bloqueios utilizados devem atender a demanda de saída da estação em situações de anormalidades e emergências	Z	IV
2 5 14 f	A quantidade de bloqueios deve atender as demandas de embarque e desembarque estimadas e acrescidas de 10%, para contemplar eventuais falhas ou manutenção dos equipamentos e a rota de fuga	1	II
2 5 14 g	O dimensionamento da quantidade de equipamentos deve considerar as capacidades, de acordo com a tabela e a fórmula, abaixo: Nbq=(De/Fe+ Ds/Fs) x 1,1 , onde: Nbq = número de bloqueios De = demanda de entrada de usuários na hora pico (descontada transferência entre linhas) Ds = demanda de saída de usuários na hora pico Fe= fluxo de entradas Fs= fluxo de saídas 1,1 = coeficiente de segurança para manutenção (10%) • Para o dimensionamento, devem ser consideradas as seguintes capacidades: Fluxo de entrada (Fe), Fluxo de saída (Fs), pass./hora pass./hora Tripé, 1.200, 2.500 Contador, 2.500, 2.500	1	II
2 5 15	Bilheterias e equipamentos de autoatendimento:		
2 5 15 a	Prever um conjunto de bilheterias blindadas e equipamentos de autoatendimento para compra e/ou recarga de bilhetes ou créditos de viagem, comercializados pelo Metrô ou por empresas terceirizadas	Z	IV
2 5 15 b	O acesso às bilheterias por empregados e contratados deve ser feito por meio de eclusas, preferencialmente localizadas na área pública para possibilitar o controle visual. Quando isto não for possível, poderá ser feito a partir da área operacional desde que esta tenha acesso restrito a empregados e não haja circulação pública no local	V	III

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 5 15 c	Em frente às bilheterias deverá ser previsto espaço mínimo livre de 5,00m para a formação de filas, de modo a não interferir no fluxo de circulação de usuários, especialmente as pessoas com deficiência	2	I
2 5 15 d	O acesso a cada conjunto de guichês deve ocorrer de forma independente	V	III
2 5 15 e	A quantidade de guichês de cada bilheteria deve ser de, no mínimo, 4 (quatro) guichês blindados sendo 2 (dois) para venda de bilhetes tipo papel, 2 (dois) para venda de créditos de viagens do tipo cartões eletrônicos, conforme fórmulas a seguir: NgE/360 = PE x DL ; ≥2 NgBU = (PBU x DT x 0,2)/120 ; ≥2 Nghtotal = NgE + NgBU onde: NgE = número de guichês para bilhetes tipo papel (Edmonson) NgBU = número de guichês para bilhetes tipo cartão eletrônico (BU) PE = porcentagem de usuários que utilizam a bilheteria tipo papel PBU = porcentagem de usuários que utilizam a bilheteria tipo cartão eletrônico Estação terminal rodoviário - PE = 0,20 (20%) e PBU = 0,55 (55%) Estação tipo - PE = 0,15 (15%) e PBU = 0,57 (57%) DL= demanda de entrada de usuários lindeiros na hora pico DT = demanda de entrada de usuários externos (lindeiros + ônibus) na hora pico 360 = n° de usuários atendidos por guichê Edmonson em uma hora 120 = n° de usuários atendidos por guichê BU em uma hora 0,2 = fator de venda de créditos BU em relação às entradas BU.	1	II
2 5 15 f	Deve ser indicada em planta, área para instalação de equipamentos de autoatendimento para recarga ou compra de bilhetes tipo papel e cartões eletrônicos, dotada da infraestrutura necessária e incorporada à arquitetura da estação	G	III

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 5 15 g	Prever área ao lado das bilheterias para instalação de equipamentos de autoatendimento em quantidade proporcional à demanda por cada tipo de produto de acordo com a fórmula: NmqE = (PE x DL)/60 ; ≥2 NmqBU = (PBU x DT x 0,2)/60 ; ≥2 Nmq total = NmqE + NmqBU onde: NmqE = número de máquinas de venda de bilhetes tipo papel (Edmonson) NmqBU = número de guichês para bilhetes tipo crédito em cartão eletrônico (BU) PE = porcentagem de usuários que usam a máquinas de venda de Edmonson PBU = porcentagem de usuários que utilizam máquinas de venda de BU Estação terminal rodoviário - P = 0,07 (7%) e P1 = 0,27 (27%) Estação tipo - PE = 0,05 (5%) e PBU = 0,28 (28%) DL= demanda de entrada de usuários lindeiros na hora pico DT = demanda de entrada de usuários externos (lindeiros + ônibus) na hora pico 60 = n° de usuários atendidos por guichê Edmonson em uma hora 60 = n° de usuários atendidos por guichê BU em uma hora 0,2 = fator de venda de créditos BU em relação às entradas BU.	2	II
2 5 15 h	As vedações das bilheterias e da eclusa, incluindo a laje de teto, devem ser feitas em concreto. As bilheterias devem ter abertura para troca de ar medindo 50 x 20cm na projeção superior do assento das mesas de contador de bilhetes. Se não for possível fazer a abertura superior, devem ser previstas aberturas de mesma área nas paredes laterais. O pé direito livre mínimo das bilheterias deverá ser 3,00m	3	I
2 6	**Saguão de bloqueios - área paga**		
2 6 1	Deve ser instalado 1 (um) conjunto com 5 (cinco) coletores, destinados a papel, vidro, metal e plástico e material não reciclável próximo à SSO, posicionados fora da área de circulação.	C	III
2 6 2	Prever uma sala de material de limpeza (DML) com 12m² e porta com largura de 1,00m e uma sala para a guarda de equipamentos com a mesma dimensão	1	I

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 6 3	Os sanitários públicos devem estar localizados em área paga, próximo aos bloqueios e, sempre que possível, com visibilidade a partir da SSO. Os sanitários públicos feminino e masculino devem estar posicionados um ao lado do outro.	2	I
2 6 4	O sanitário masculino e o sanitário feminino devem ser dimensionados de acordo o Código de Obras e Edificações, em atendimento à demanda prevista para a estação, com, no mínimo 3 (três) bacias sanitárias e 3 (três) lavatórios	I	III
2 6 5	Deve ser previsto um sanitário acessível masculino e um sanitário acessível feminino, com entrada independente dos sanitários públicos, posicionados ao lado deles	2	I
2 6 6	Os sanitários públicos masculinos não devem conter mictórios	3	III
2 6 7	Os sanitários públicos devem ter exaustão forçada	1	I
2 6 8	Em cada conjunto de sanitários, deve ser prevista área de recepção e controle localizada de modo a permitir a visão do interior do sanitário e a guarda de material de limpeza	Z	III
2 6 9	Deve ser prevista sala para primeiros socorros, com instalações para pia, lavatório e bebedouro, bem como espaço para a acomodação de uma maca e uma cadeira para repouso, esta sala deve ser localizada em área paga, próxima à linha de bloqueios	1	I
2 6 10	Devem ser previstos 1 (um) sanitário masculino e 1 (um) feminino para uso do pessoal operativo, com acessibilidade plena conforme NBR9050, nas proximidades da SSO, e linha de bloqueios. Estes sanitários servem, também, à sala de primeiros socorros. Nesse sentido devem estar posicionados junto a ela.	I	III
2 7	**Plataformas**		
2 7 1	O ambiente deve ter pé direito livre mínimo de 3,50m	1	I
2 7 2	Devem ser localizadas preferencialmente em trechos retos da via ou com raio maior ou igual a 1.000m, de modo a garantir o cumprimento da norma NBR14021 para vãos máximos permitidos entre o trem e a plataforma.	I	III
2 7 3	O desnível entre o piso do trem e da plataforma deverá respeitar os limites da norma NBR 14021	I	III

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 7 4	Devem ter largura mínima, medidas a partir da borda da plataforma, de: • Lateral = 5,00m para as estações tipo e 6,00m para as estações de integração • Central = 10,00m para qualquer tipologia de estação	1	I
2 7 5	Devem obedecer ao critério de dimensionamento abaixo:		
2 7 5 a	Em condições normais de operação • Plataformas laterais: A largura da plataforma lateral deve ser definida para acomodar, no máximo, 3 usuários/m2 considerando o número de embarques e desembarques previstos em um intervalo de trens (headway). Para o cálculo da largura deve ser considerada a área de ocupação útil dos usuários, descontados todos os espaços ocupados por estruturas, circulação vertical, portas de plataforma e demais elementos. • Plataformas centrais: A largura da plataforma central deve ser definida para acomodar, no máximo, 3 usuários/m2 considerando o número de embarques e desembarques previstos em um intervalo de trens (headway) nos dois sentidos. Para o cálculo da largura deve ser considerada a área de ocupação útil dos usuários, descontados todos os espaços ocupados por estruturas, circulação vertical, portas de plataforma e demais elementos.	4	IV

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 7 5 b	Em condições de anormalidade ou de interrupção de operação • Plataformas laterais: A largura da plataforma lateral deve ser definida para acomodar, no máximo, 5 usuários/m2 considerando o número de embarques previstos em um intervalo de trens (headway) somado à quantidade de usuários de dois trens, calculada em função do carregamento do trecho que antecede a estação, dividido pelo número de viagens na hora pico. Este número de viagens é variável e determinado em função da frota a ser disponibilizada na hora do carregamento máximo da Linha. Para o cálculo da largura deve ser considerada a área de ocupação útil dos usuários, descontados todos os espaços ocupados por estruturas, circulação vertical, portas de plataforma e demais elementos. • Plataformas centrais: A largura da plataforma central deve ser definida para acomodar, no máximo, 5 usuários/m2 considerando o número de embarques previstos em um intervalo de trens (headway), nos dois sentidos, somado à quantidade de usuários de dois trens, adotando o maior carregamento dentre os trechos que antecedem a estação, dividido pelo número de viagens na hora pico. Este número de viagens é variável e determinado em função da frota a ser disponibilizada na hora do carregamento máximo da Linha. Para o cálculo da largura deve ser considerada a área de ocupação útil dos usuários, descontados todos os espaços ocupados por estruturas, circulação vertical, portas de plataforma e demais elementos.	4	IV
2 7 6	Sob a plataforma deve ser previsto espaço para o bandejamento de cabos com largura mínima de 1,60m e altura mínima de 2,20m livres	1	I
2 7 7	Sob a plataforma deve ser previsto duto de exaustão com seção mínima de 4,50 m², mediante a análise caso a caso	1	I
2 7 8	O gabarito mínimo para garantir o pé direito sobre as vias (distância do TB ao teto ou qualquer obstáculo como exemplo a passagem de dutos), deve ser definido em função do gabarito de livre passagem do trem e/ou da alimentação elétrica e equipamentos instalados no material rodante.	O	III
2 7 9	A largura do leito da via e sua respectiva altura são definidas pelo projeto de Via Permanente	O	IV

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 7 10	Devem ser evitados obstáculos, reentrâncias, pilares ou outros elementos que possam reduzir a área de acomodação de usuários e/ou impedir a total visualização da plataforma, possibilitando maior visibilidade para monitoramento a partir de câmeras, evitando-se pontos cego	1	I
2 7 11	Caso o projeto imponha a necessidade de pilares ou obstáculos de dimensões reduzidas que invadam a plataforma, estes devem ser posicionados, no mínimo, a 2,50m da borda da plataforma e a somatória de suas dimensões, tomadas paralelamente à borda da plataforma, não devem exceder a 1/5 do comprimento da mesma	2	II
2 7 12	As plataformas devem ser projetadas considerando a instalação de Sistema de Portas de Plataforma (PSD), de modo a garantir a segurança dos usuários e a confiabilidade de intervalo entre trens	1	I
2 7 13	Os equipamentos de plataforma (armário de emergência, hidrantes, painéis de luz, armário de telefones, SPAP, intercomunicadores, mapas, assentos preferencias ou para obesos) devem ser instalados de forma a não se constituírem em obstáculos físicos ou visuais	3	I
2 7 14	Os acessos à plataforma, nas diversas estações de uma linha, devem estar localizados de forma a facilitar a melhor distribuição dos usuários no trem	Z	IV
2 7 15	As escadas devem ser posicionadas de forma a facilitar a melhor distribuição e o embarque dos usuários no trem e facilitar o percurso e tempo de escoamento para a área segura. Nas plataformas das estações com alta demanda (acima de 90 mil usuários/ dia), as áreas de acomodação não podem interferir diretamente com o embarque e desembarque e devem permitir a implantação de estratégias de contenção, organização e segregação de fluxo	Z	IV
2 7 16	Devem ser evitados acessos pelas extremidades das plataformas	2	I
2 7 17	As áreas com pé-direito baixo devem ser providas de fechamento que impeça a circulação sob as mesmas	Z	III
2 7 18	Quando houver laje do mezanino inferior sobre a via, não devem ser instalados forros.	2	I

Código IP			Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2	7	19	Deve ser prevista uma Sala de Ferramentas Operacionais (SFO) com 8m² em cada plataforma. Se não for possível, posicionar uma sala com esta dimensão no nível imediatamente acima da plataforma	2	I
2	7	20	Devem ser previstos 4 (quatro) hidrantes por plataforma, 2 (dois) deles localizados em suas extremidades	2	I
2	7	21	Devem ser previstos locais para 2 (dois) armários de Telecom (A.T.) por plataforma. A dimensão do equipamento é 80 x 60cm. Caso seja instalado em nicho, este deve ter dimensões mínimas de 100 x 80 cm	1	I
2	7	22	Deve ser previsto local para instalação de painel de sistema de porta de plataforma (PSD) com dimensões 160 cm x 80 cm x 250 cm. Deve ser previsto um painel para cada conjunto de portas, no caso de plataformas centrais. O painel deve ser instalado preferencialmente na área central da plataforma, em sala fechada ou com um acabamento em alvenaria e porta veneziana para evitar contato físico e visual com os usuários	2	I
2	7	23	Deve ser previsto local para instalação de 1 (um) painel de luz (PL) por plataforma e 1 (um) painel de luz (PLT) para controle dos túneis de via, em sala fechada ou com um acabamento em alvenaria e porta veneziana para evitar contato físico e visual com os usuários	2	I
2	**8**		**Salas Operacionais**		
2	8	1	As salas operacionais devem atender às necessidades de segurança, manutenção e instalação de sistemas, ao Decreto Estadual 56.819/2011 e às Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros para o controle de todos os espaços de acesso restrito da estação. O dimensionamento das salas de apoio operacional deve levar em consideração o Programa Operacional da linha, fornecido pela Gerência de Operações.	I	IV
2	8	2	Devem ser localizadas, sempre que possível, no corpo da estação, evitando-se edifícios anexos	D	III
2	8	3	O acesso deve ser realizado, preferencialmente, pela área paga	2	I
2	8	4	Devem ser compartimentadas em relação às áreas públicas da estação, conforme NFPA130	I	IV

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 8 5	Quando as salas se acomodarem em mais de um nível, deve ser previsto um elevador de uso exclusivo de empregados com capacidade para 8 pessoas (600 Kg), podendo ter uso conjugado com o de acesso às salas técnicas	2	I
2 8 6	As salas de ambiente seco devem ser separadas por divisórias tipo dry wall. As salas de ambiente molhado devem ser separadas por parede de alvenaria	2	I
2 8 7	Quando não houver ventilação natural suficiente, prever ar condicionado nas salas administrativas (escritórios, salas de reunião, salas de treinamento)	Z	IV
2 8 8	Devem ter pé direito mínimo de 3,50m, livre de qualquer equipamento ou elemento estrutural	1	I
2 8 9	Devem, preferencialmente, estar situadas próximas ao hall de bilheterias e bloqueios, facilitando a circulação do pessoal operativo. Se localizadas em nível diferente, devem dispor de elevador para 8 passageiros interligando-as ao hall de bilheterias e bloqueios	2	I

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 8 10	As quantidades de salas administrativas da estação para cada estação e para o trecho devem ser indicadas no Programa Operacional de cada linha, a ser fornecido pela Gerência de Operações. O dimensionamento deve considerar: • Sanitário e vestiário masculino (Metrô e contratada) • Sanitário e vestiário feminino (Metrô e contratada) • Refeitório unificado (Metrô e contratada) • Sala do Supervisor Geral (SG) 14,00m2. Só haverá sala de supervisor geral na estação onde estiver lotado o supervisor. Deve ser considerado 1 a cada 3 estações. • Escritório da Estação (SL): nas estações em que houver postos de supervisão da estação a sala deverá ter 14,00m². Quando na mesma estação houver supervisão de estação, tráfego e segurança o espaço deverá ser conjunto com 36m². • Sala de Reuniões 20,00m2 • Sala de treinamentos 25,00m² • Sala de Apoio Logístico 4,00m2. Em uma das estações de cada linha (preferencialmente com fácil acesso rodoviário e fora da área com restrição de circulação do rodízio) deverá ser prevista uma sala maior, com 60m². • Sala de Materiais de Consumo 6,00m2 • Sala de Lixo 6,00m2 • Sala de Material de Limpeza 12,00m2 • Sala Administrativa da Manutenção 20,00m² • Sala de Material de Jardinagem 9,00m² • Depósito de donativos / guarda de bilhetes 4,00m²	**1**	**I**

Código IP			Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2	8	11	Princípios de ventilação em salas operacionais: • Quando implantadas na superfície e com possibilidade de tomada de ar natural, deve ser prevista a ventilação mecanizada para fazer a exaustão das salas, promovendo a troca de ar e garantindo a conforto dos ambientes. • Quando da impossibilidade de ventilação natural, devem ter ventilação mecânica, (insuflação e exaustão), observando requisitos mínimos de ventilação em salas operacionais e NFPA 130 quanto à compartimentação. Deve ser evitada troca de ar entre ambientes que possam propagar odores. • Exaustão e insuflação: refeitórios e copa sanitários, vestiários, materiais de limpeza e lixo. • Somente insuflação: primeiros socorros, escritórios e demais salas. • A tomada de ar das salas operacionais não deve ser feita pela área interna da estação. Caso não seja possível a tomada de ar natural de fora da estação, as salas devem dispor de sistema de ventilação auxiliar exclusivo em atendimento aos critérios de compartimentação conforme diretrizes da NFPA 130	I	IV
2	**9**		**Salas Técnicas**		
2	9	1	As áreas técnicas devem atender às necessidades de segurança, manutenção e instalação de sistemas, ao Decreto Estadual 56.819/2011 e às Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros para o controle de todos os espaços de acesso restrito da estação	I	IV
2	9	2	As salas do Grupo Gerador Diesel e de trafos deverão ter pé-direito de no mínimo 4,50m livre de qualquer elemento estrutural	1	I
2	9	3	A SGD-Sala do Grupo Diesel deve estar localizada de modo a permitir o fácil acesso pelo nível da rua e a parada do veículo do Grupo Gerador Diesel (GGD), para permitir o reabastecimento do Diesel e um possível socorro por meio de um gerador externo, com circulação permanente para acesso de funcionários por meio de escadas fixas ou rampas. A sala deve dispor de tomada de ar externa de 2,00 x 1,10m, de descarga de ar quente com seção mínima de 1,60x1,50m e ser dotada de isolamento acústico	Z	IV

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 9 4	As salas técnicas devem ter pé-direito livre de no mínimo 4,50m entre piso e teto acabados livres de qualquer equipamento ou elemento estrutural tais como pilares. Na sala de baterias o pé-direito deve ter, no mínimo, 2,80m	1	I
2 9 5	Devem dispor de porão de cabos com pé-direito mínimo de 2,20m, livre de qualquer elemento estrutural	1	I
2 9 6	O conjunto de salas técnicas e seu porão de cabos devem ter uma saída de emergência em cada extremidade. Caso a saída seja feita por meio de escada, ela deve atender a IT-11	3	I
2 9 7	Os ambientes destinados aos transformadores e retificadores devem ter acesso ao exterior através de aberturas e deve ser isolados entre si e das demais salas técnicas através de paredes com isolamento elétrico e acústico	Z	IV
2 9 8	Devem ser estanques relativamente às águas pluviais, de lavagem e de infiltração	Z	IV
2 9 9	Devem dispor de corredores de circulação com largura mínima de 2,00m. Quando forem atendidas por elevador, este deverá ser de uso exclusivo de empregados e ter capacidade para 8 (oito) pessoas	1	I
2 9 10	Devem dispor de acesso para equipamentos através de abertura com dimensões mínimas de 3,50 x 3,00m	2	I
2 9 11	Se o trafo retificador acessar a sala por alçapão, este deve ter dimensões mínimas de 4,00 x 3,00m. O acesso do veículo transportador do trafo ao alçapão deve ser assegurado	C	III
2 9 12	Devem ser evitados pilares no interior das salas técnicas	2	I

Código IP			Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2	9	13	As quantidades e necessidades de salas técnicas devem ser indicadas no Programa Operacional de cada linha, a ser fornecido pela Gerência de Sistemas, conjuntamente à Gerência de Manutenção: • Sala de Média Tensão 230,00m2 • Sala de Baixa Tensão 230,00m2 • Sala de Equipamentos Eletrônicos 120,00m2 • Sala do Grupo Gerador Diesel 40,00m2 • Trafos auxiliares (2 x 16,00) 32,00m2 • Trafo retificador 16,00m2 • Sala de Baterias 16,00m2 • Sala de Equipamentos de Ventilação 16,00m2 • Sala de Empreendimentos Associados – Telefonia 10,00m² • Sala de guarda de equipamentos, materiais e ferramentas de manutenção 20,00m² • Sala de máquina de ventilação 9m² (quantidade variável de salas)	1	I
2	9	14	Devem ser previstos uma ou mais prumadas, com dimensão mínima de 12,00 x 0,60m, para passagem de cabos, interligando o porão de cabos das salas técnicas e o porão de cabos da plataforma. Devem ser previstos, ao longo das prumadas, passadiços com 80 cm de largura para montagem e manutenção a cada 2,50m de desnível, aproximadamente. O acesso poderá ser feito por escada marinheiro	2	I
2	9	15	Devem ser previstos armários de telecomunicações (AT) a cada 90m. O nicho tem dimensões de 1,00 m x 0,80m	2	I
2	9	16	Deve ser viabilizada a entrada e passagem de equipamentos pelos corredores	Z	IV
2	9	17	A altura das portas deve ser de 2,80m com bandeiras para possibilitar a entrada de equipamentos	1	I
2	9	18	A sala de baterias deverá possuir canaleta para contenção de líquidos junto à parede oposta à porta, caso haja algum vazamento das baterias. A canaleta deverá ter largura de 25cm e altura mínima de 5 cm. O nível do piso acabado deverá estar 3 cm abaixo do ambiente em que estão localizadas as portas de entrada para a sala de baterias para evitar que estes líquidos se espalhem para outros ambientes. Prever pontos de água e esgoto para instalação de lava olhos, fornecido por sistemas	1	I

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 9 19	Princípios de ventilação das salas técnicas: • A tomada de ar das salas técnicas não pode ser feita pela área interna da estação. • A sala de equipamentos eletrônicos deve ter ar condicionado. As condensadoras devem ficar ao ar livre ou com ventilação natural permanente. Quando for possível, a sala deve ser dotada de caixilhos com possibilidade de abertura. • As salas de média e baixa tensão devem dispor, quando possível, de ventilação natural permanente dotada de filtro e sistema de ventilação mecanizada para exaustão do ar. Quando não for possível, deve ser previsto sistema de ventilação mecanizada para insuflação do ar. • No porão de cabos deve ser prevista ventilação natural permanente, quando possível. Quando não for possível, deve ser previsto sistema de mecanizado exaustão. • As salas de baterias devem dispor de sistema especial de exaustão dos gases	**C**	**IV**
2 10	**Caixas d'água**		
2 10 1	As estações devem dispor de reservatórios de água, considerando o abastecimento dos sanitários públicos, áreas operacionais e comerciais com, no mínimo, as capacidades exigidas pela legislação vigente	**Z**	**IV**
2 10 2	A capacidade total deve ser de 37,00 m³ sendo: • consumo = 15,00m³; • combate a incêndio (volume mínimo)= 22,0m³; • este volume pode sofrer alteração se houver necessidade de instalação de sistema de combate a incêndio, conforme Decreto Estadual 56.819/11	**1**	**I**
2 10 3	Quando for necessária a divisão do volume total de 37,0m³, em reservatório inferior e superior, deve ser atendida a seguinte proporção: • em nível superior = 5,00m³; • em nível inferior = 32,00m³	**1**	**I**
2 10 4	Os reservatórios devem ser subdivididos em duas células independentes e devem ser previstos medidores independentes para áreas comerciais. Nas estações de transferência, devem ser individuais, por sistema	**C**	**IV**
2 10 5	O reservatório superior deve ter barrilete com pé direito mínimo de 2,00m	**1**	**I**

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 10 6	O reservatório inferior deve possuir, em anexo, sala para bombas com a largura mínima de 4,00m	2	I
2 11	**Poços de drenagem**		
2 11 1	As estações devem dispor de poço de drenagem de águas pluviais e de infiltração, situados na cota mais baixa da estação com no mínimo 25,00m³ de volume. Deve ser previsto sistema de separação de água e óleo	1	I
2 11 2	O poço de drenagem de esgotos deve estar situado abaixo do sanitário de cota de nível mais baixa e possuir, no mínimo, 3,00m³ de volume. Deve ser de fácil acesso para retirada do lodo	2	I
2 12	**Critérios gerais de ventilação das áreas públicas da estação**		
2 12 1	As escadas de emergência, devem ser pressurizadas e atender à IT-13 do Corpo de Bombeiros. A sala da máquina de pressurização deve ter abertura de 2m² para captação de ar natural, com abertura de porta frontal, registro de sobrepressão com dimensões 2 x 2 m, e dimensões mínimas de 3,3x6,0m para comportar 2 ventiladores com dimensão 1,5x1,5x1,5m, além do painel elétrico de 2,3x0,8x0,8m	I	III
2 12 2	O registro de sobrepressão deve ser instalado no último nível da escada de emergência	O	IV
2 12 3	O duto de pressurização das escadas deve ter seção interna com área mínima de 1,50m² e aberturas de 90 x 60 cm em cada lance e todas do mesmo lado	2	I
2 12 4	As estações enterradas devem possuir sistema de ventilação e exaustão mecanizados e, sempre que possível, dispor de aberturas de tomada de ar natural desde o exterior até as plataformas, com seção mínima livre de 120,00m², para atendimento da ventilação natural	3	II
2 12 5	A exaustão das plataformas deve ser realizada através de dutos sob as mesmas, com seção mínima de 4,50m2 por via, interligados à superfície através de dutos com seção mínima de 12,00m2, para cada via	1	I
2 12 6	Devem ser previstas 120 aberturas (60 por canal) sob a plataforma. As aberturas medem 130 x 35cm e são espaçadas em 70cm	2	I
2 12 7	A saída de exaustão e a tomada de ar de insuflação devem estar distantes de forma a evitar a contaminação do ar insuflado	Z	III
2 12 8	Deve existir sistema de insuflação nas	2	I

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
	plataformas		
2 12 9	Devem ser previstos acessos para manutenção e limpeza dos canais de ventilação	2	I
2 12 10	Se a captação de ar do insuflador for feita pelo nível da rua, deve ser prevista gola de 50cm de altura para evitar entupimento devido à sucção de sujeira. Desse modo, é preferível que a captação de ar seja feita a partir de locais mais altos	3	III
2 12 11	Devem ser previstos acantonamento de fumaça, barreiras ou compartimentações conforme IT15 do Corpo de Bombeiros de São Paulo. Desta forma, as aberturas entre mezanino e plataforma devem ser dimensionadas de modo a obter a velocidade de ar mínima de 2,5m/s	I	IV
2 12 12	Os equipamentos de exaustão e insuflação de estações e túneis devem ser implantados próximos à superfície, em canais com seção de 3,50 x 3,50m, com alçapão para acesso de equipamentos de 3,00 x 3,00m (vide figuras a seguir). Em estações profundas, quando possível, o canal de ventilação pode ser vertical, conforme figura Opção Vertical. Devem ser previstos dois canais para insuflação e dois canais para exaustão	Z	IV
2 12 13	Caso as salas técnicas ou operacionais estejam e ambiente enterrado, contíguo à área pública da estação, elas devem possuir sistema de ventilação auxiliar próprio com tomada de ar externo que garanta a compartimentação entre área pública e não pública, conforme NFPA-130	I	IV
2 12 14	Deve ser adotado sistema de insuflação com 2 insufladores, conforme IT-15 do Corpo de Bombeiros (redundância do sistema)	1	I
2 12 15	No caso de os atenuadores estarem instalados na vertical, as paredes que o envolvem devem ser de concreto para suportar sua fixação	2	I
2 12 16	Dimensão das bocas de tomada de captação e descarga da ventilação principal: • Insufladores: 15m²/canal • Exaustores da estação: 16m²/canal • Grade em Jardim: 18m²/canal • Grade no piso (pedestre): 34m²/canal	Z	III
2 12 17	Ao longo dos dutos, quando o canal de ventilação estiver na horizontal, deve ser prevista passagem de manutenção ao lado deles, com largura	2	I

Código IP				Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
				mínima de 1,20m		
2	**13**			**Parâmetros para dimensionamento**		
2	13	1		Instalações sanitárias		
2	13	1	a	A configuração de sanitários e vestiários para operadores da estação e terceiros deve atender a quantidade de empregados determinada no Programa Operacional de cada linha	**1**	**I**
2	13	1	b	Os conjuntos de instalações sanitárias (bacias de sanitários masculino e feminino, chuveiros, lavatórios e mictórios), devem ser dimensionados conforme NR-24. • Bacias sanitárias: masculino = 1/25 empregados • Bacias sanitárias: feminino = 1/20 empregadas • Lavatórios: masculino e feminino = 1/20 empregados. • Mictórios: 1/20 empregados. O programa mínimo deve conter: • Sanitários e vestiário masculinos para empregados do Metrô e terceiros: - 2 mictórios, 2 lavatórios, 2 bacias sanitárias, 2 chuveiros e uma unidade para portadores de deficiência. • Sanitários e vestiário femininos para empregadas do Metrô e terceiros: - 2 bacias sanitárias, 2 lavatórios, 2 chuveiros e uma unidade para portadores de deficiência. As unidades sanitárias para pessoas com deficiência devem atender a NBR 9050	**1**	**II**
2	13	2		Para dimensionamento da área dos vestiários (sem a área de chuveiros), considerar a área mínima de 0,50m² por empregado da segurança, 0,3m² por empregado da estação/limpeza, e 0,25m² por empregado do tráfego. O cálculo deve ser feito em função do quadro total	**1**	**II**

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
2 13 3	Refeitório unificado (empregados do Metrô e terceiros): a quantidade de equipamentos para o trecho será indicada no Programa Operacional de cada Linha, a ser fornecido pela GOP. A configuração dos refeitórios das estações deve comportar, no mínimo a instalação de 2 geladeiras, 2 fornos microondas, 1 bebedouro, 1 máquina de café, 1 ventilador e 6 armários com 45cm de profundidade X 50cm de largura x 60 de altura (módulo com 2 portas), 1 pia e 1 lavatório. Deve ser previsto espaço de 1,00m² por empregado do turno. O leiaute dos vestiários deve considerar a quantidade e a dimensão dos armários de acordo com a NR-24, a saber: • empregados de estação / tráfego / contratadas: 1 armário por empregado, com 45cm de profundidade x 50cm de largura x 90cm de altura (módulo com 2 portas); • empregados de segurança: 1 armário por empregado com dimensões de 60cm de profundidade x 30cm de largura x 180cm de altura (módulo com 1 porta); • estagiários / jovem cidadão: 1 armário por empregado do turno, com 30cm de largura, 45cm de altura e 45cm de profundidade (módulo com 4 portas). Os armários dos estagiários e jovens cidadãos ficam juntos com os armários dos empregados de estação; • empregados de manutenção: 2 armários por empregado, com 45cm de profundidade x 50cm de largura x 90cm de altura (módulo com 2 portas).	**C**	**III**
2 13 4	Os sanitários devem ser dimensionados de acordo com a NR-24, a partir do quadro de empregados operacionais	**I**	**III**
3	**PROJETO DE URBANIZAÇÃO E PAISAGISMO**		
3 1	Para a elaboração do Projeto de Urbanização e Paisagismo, devem ser seguidas as recomendações contidas no documento técnico Diretrizes para Elaboração de Projetos de Urbanização e Paisagismo, IP-9.00.00.00/3N3-001	**I**	**III**

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
3 2	O projeto de urbanização e paisagismo deve estabelecer boa integração entre o entorno das novas estações, de modo a facilitar a compreensão das modalidades de caminhos e acessos que conduzem veículos e pedestres aos diversos serviços contidos no conjunto edificado, notadamente, as entradas da estação, do terminal de ônibus, estacionamentos para veículos de apoio, de socorro, adaptados, bicicletários, calçadas, ciclovias, etc	Z	IV
3 3	Sempre que possível, devem ser previstas áreas verdes junto aos acessos e trajetos, de modo a se ampliar áreas permeáveis, melhorar o microclima da região e possibilitar boa qualificação do espaço urbano	2	III
4	**INTEGRAÇÃO INTERMODAL**		
4 1	Prever conexão direta com o menor percurso possível entre as áreas dos diversos modos de transporte envolvidos: metrô, monotrilho, trem, ônibus, estacionamento, bicicleta, veículos particulares, táxi	Z	III
4 2	Prever fechamento com portões entre a área livre e paga da estação e as conexões não tarifadas, como exemplo, entre metrô (concessão), trens e ônibus metropolitanos	1	I
4 3	Prever separação entre as áreas de circulação contíguas de modais distintos, por meio de fechamentos que possibilitem o controle visual dos espaços (exemplo Brás ou concessões)	2	I
4 4	Prever portões para isolamento dos fluxos das diferentes linhas nas estações de transferência ou transferência, com articulação vertical, possibilitando abertura e fechamento gradativo	2	I
4 5	Quando a estação se integra ao sistema de trens metropolitanos, e tratar-se de escopo de projeto, o desenvolvimento desta integração, as necessidades e o programa devem seguir premissas de documentos técnicos da Companhia de Trens Metropolitanos	I	III
4 6	**Terminais de ônibus urbanos**		
4 6 1	O dimensionamento de Terminais de Ônibus Urbanos e/ou fretados, deve atender um programa adequado à ocupação prevista, conforme projeto funcional e diretrizes encaminhadas pelo Metrô antes do início do desenvolvimento do Projeto Básico	I	III
4 6 2	O percurso entre a estação e o terminal de ônibus deve ser coberto, garantindo conforto,	2	I

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
	segurança e plena acessibilidade		
4 6 3	As baias de ônibus e as baias acessíveis deverão ser afastadas entre si, reduzindo potenciais conflitos entre veículos adaptados e ônibus	2	III
4 6 4	Nos Terminais Urbanos, devem ser previstas salas de apoio às operadoras dos ônibus, cujo programa será encaminhado pelo Metrô após negociação com as empresas responsáveis	I	III
4 6 5	A área do terminal deve dispor de fechamento independente da estação e ser isolada de seu entorno por meio de gradis e portões de acesso	O	III
4 7	Em estações com integração a Terminais Rodoviários deve ser prevista a instalação de uma área de atendimento público equipada com balcão e cadeiras próxima ao fluxo de transferência sem causar transtornos à circulação de usuários, Deve ter área mínima de 6m² (3m de largura x 2m de profundidade) e estar equipada com a infraestrutura de sistemas necessária (ponto de luz próprio, ponto de telefonia, ponto de rede / internet).	C	III
4 8	Em estações em que se prevê a implantação de estacionamentos, devem ser seguidas as diretrizes do Código de Obras Municipal. O programa do estacionamento deve ser definido pelo Metrô, em conformidade com o estudo de demandas previamente aprovado pela GPI	I	III
4 9	Em todas as estações deve ser previsto um bicicletário, junto a um dos acessos, em espaço fechado e coberto, provido de balcão de atendimento, 1 (um) sanitário acessível e suportes com dispositivo para a fixação, de acordo com a demanda estimada de bicicletas. O percurso de acesso do bicicletário à estação deve ser sinalizado e contemplar dispositivos para facilitar a condução das bicicletas, de forma isolada e segura, sem propiciar riscos aos demais usuários, notadamente em transposições verticais de nível. Nas escadas fixas, deve ser prevista canaleta lateral para a movimentação da bicicleta	2	II
4 10	Para os terminais rodoviários, urbanos e estacionamentos integrados, a alimentação elétrica e de água devem ser separadas da estação com medidores independentes. Deve ser previsto local para subestação, medidores e cavalete de água	G	III

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
5	**ÁREAS COMERCIAIS**		
5 1	As áreas comerciais devem ser previstas nas futuras estações e terminais seguindo os critérios abaixo descritos. Caso estas áreas não sejam viáveis por falta de espaço, tanto na superfície quanto no ambiente enterrado, elas não serão contempladas no projeto, mediante justificativa à GNG. As áreas comerciais devem ser contempladas no Projeto Funcional das estações e terminais e nos Projetos Básicos de Arquitetura e de Acabamento	**O**	**III**
5 2	A GNG deve ter conhecimento do Projeto Funcional para que possa participar das discussões relativas às Áreas Comerciais e possíveis Empreendimentos, colaborando com propostas embasadas em estudos sobre os locais de intervenção. Caso a GNG e a GPI detectem potencial comercial, o método construtivo proposto deve viabilizar a implantação de área comercial	**O**	**IV**
5 3	Casos em que a GPI e a GNG detectem potencialidade econômica de implantação de edifício comercial contíguo à edificação do Metrô, deve ser apresentado no Projeto Funcional com a indicação da área passível desta implantação, seguindo as definições legais e previstas no plano diretor da cidade, bem como os coeficientes de aproveitamento dessas áreas	**I**	**IV**
5 4	Não deve haver área de desapropriação adicional à da estação e/ou terminal que seja destinada à implantação de áreas comerciais	**O**	**III**
5 5	A definição dos usos específicos de cada unidade comercial não deve constar em Projeto Funcional e Projeto Básico. Não se recomendam os usos que gerem ruído, odor, emissão de vapores ou fumaça e/ou representem risco à segurança e desconforto ao usuário	**O**	**III**
5 6	Devem ser implantadas em locais em que haja circulação de usuários, sem que interfiram nas áreas de acomodação ou contenção de fluxo e no fluxo normal de usuários	**2**	**I**
5 7	Não deve representar obstáculos físicos ou visuais à circulação de usuários	**3**	**I**
5 8	Devem ser previstas em projeto, instalações de detecção e combate automático a incêndio dos pontos comerciais nas estações, atendendo às normas vigentes da ABNT, NFPA e Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros (IT)	**G**	**III**

Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
5 9	Devem ser previstas em projeto instalações elétricas, de telecomunicações, exaustão e hidráulicas, quando necessárias. Essas diretrizes deverão ser determinadas pela GCS	Z	IV
5 10	Devem ter medidores de luz e água individuais, instalados em centros de medição exclusivos para tal finalidade, atendendo às normas específicas vigentes	O	IV
5 11	Devem ser previstas áreas para carga e descarga de produtos que não interfiram no trânsito local e no fluxo de usuários	G	III
5 12	Devem ser previstas áreas para o adequado armazenamento dos resíduos sólidos produzidos pela área comercial até seu descarte. Conforme diretrizes previstas na IP-9.00.00.00/3B2-001(p. 4) para o lixo gerado na própria estação	I	III
5 13	Não devem ser dimensionados sanitários para atendimento aos lojistas. Estes usarão os sanitários públicos da estação	2	I
5 14	Devem seguir o seguinte dimensionamento: • Área interna à estação: espaços de no mínimo 9m² e no máximo 20m² sem instalações hidráulicas, com instalações elétricas e balcão com no mínimo 4m. Esta área contempla espaço para vendas, atendimento a clientes e estoque. A divisão de ambientes de cada célula de comércio não caberá ao projeto básico de arquitetura. Não será permitida a comercialização de produtos alimentícios que exijam manipulação, preparo e/ou aquecimento; • Área externa à estação: espaços de no mínimo 9m² e no máximo 50m² com instalações hidráulicas, com instalações elétricas, com ventilação adequada e balcão de no mínimo 4m. Esta área contempla espaço para vendas, atendimento a clientes e estoque. A divisão de ambientes de cada célula de comércio não caberá ao projeto básico de arquitetura. Serão permitidos manuseio, armazenagem e aquecimento de alimento pré-preparados (Deverão ser informadas as dimensões). • Dispensadores de produtos: 1,00 x 1,00m. Mínimo: 4 unidades por estação, em local a ser definido em projeto pela GCI e aprovado pela GNG, GOP e GCS. Estes pontos deverão ter a infraestrutura adequada de elétrica e demarcação dos locais.	1	I

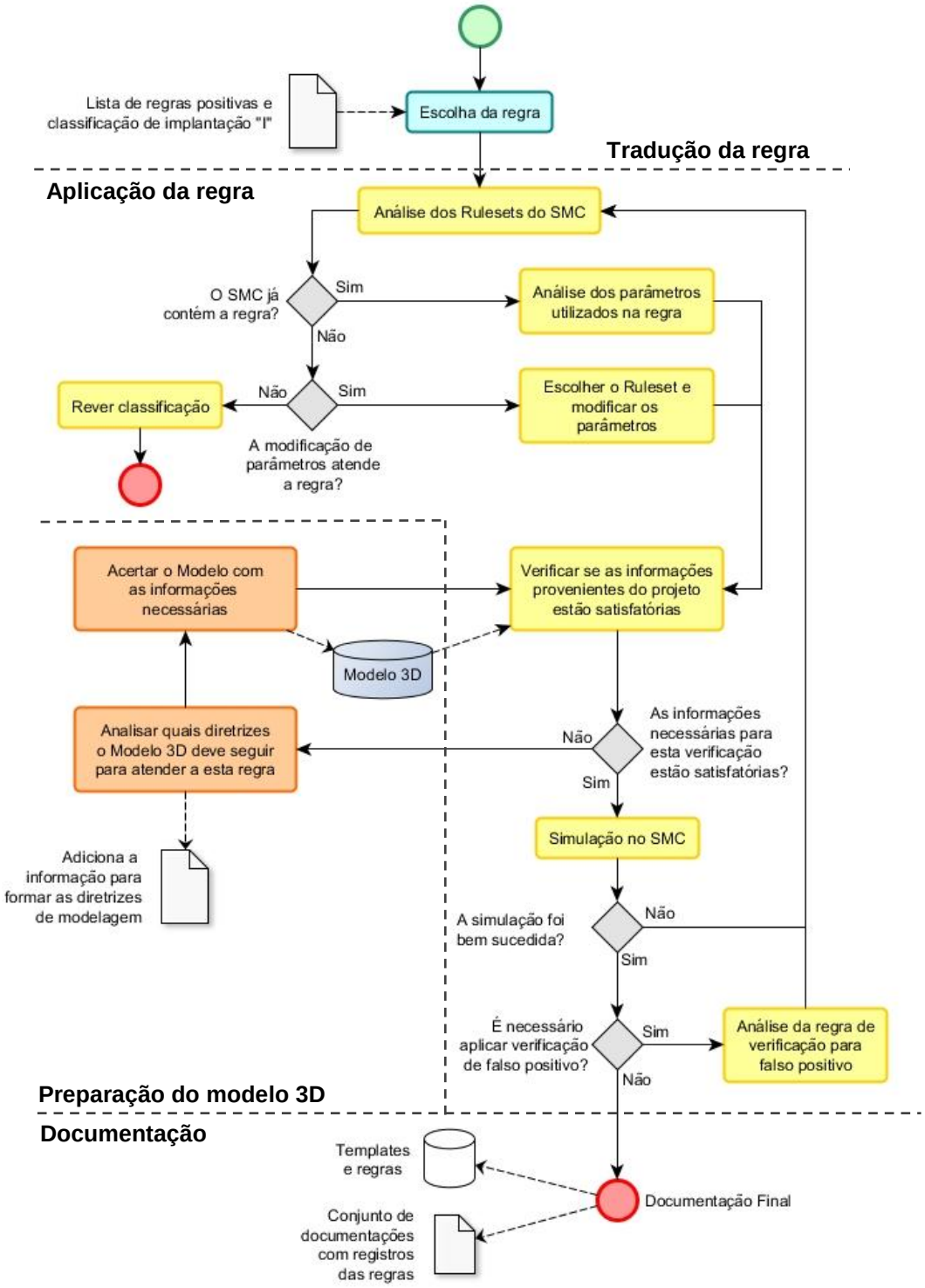
Código IP	Descrição	Classifica-ção	Nível de implantação
5 15	Sugere-se que nos estudos do traçado das linhas e demandas, realizadas pela GPI, sejam incluídos também os estudos mercadológicos e econômico-financeiro, específicos dos possíveis empreendimentos comerciais de grande porte em áreas nos arredores das futuras estações	O	IV
5 16	Deve ser prevista compartimentação entre as áreas públicas da estação e as de empreendimentos associados, anexos ao edifício	O	III

6.1.5. APLICAÇÃO DE REGRAS NO SMC

A etapa seguinte, demonstrada no Fluxograma 3, é a aplicação das regras, onde, por meio do software escolhido, é desenvolvida a regra que será aplicada a um projeto. É neste momento de implantação do uso Verificação de Regras que são aplicados todos os levantamentos feitos e se desenvolvem informações para o desenvolvimento do projeto, como diretrizes de como o modelo 3D deve ser desenvolvido para atender aos requisitos da análise computacional.

Esta pesquisa desenvolveu este processo utilizando regras extraídas do documento base (“Instrução de Projeto Básico de Arquitetura”), que, além de registrar o resultado neste capítulo, serviu para o desenvolvimento dos processos e classificações apresentados analisados individualmente, portanto suas aplicações não necessariamente podem ser generalizadas para todos os casos.

Fluxograma 3 - Processo para a criação de regras no SMC.



Fonte: Autor.

6.1.6. PRÉ-VERIFICAÇÃO DO MODELO BIM

Antes de o projeto ser submetido à análise automatizada, deve-se aplicar a pré-verificação, onde serão analisados itens que possibilitam a verificação automatizada. Estas pré-verificações analisam itens como diretrizes de modelagem, se há algum ambiente sem o campo do nome completo e se a informação do padrão de classificação está preenchida corretamente (Tabela 12). Se esta verificação resultar em não conformidade, o processo de análise será interrompido, visto que as informações que serão verificadas estão inexistentes ou errôneas.

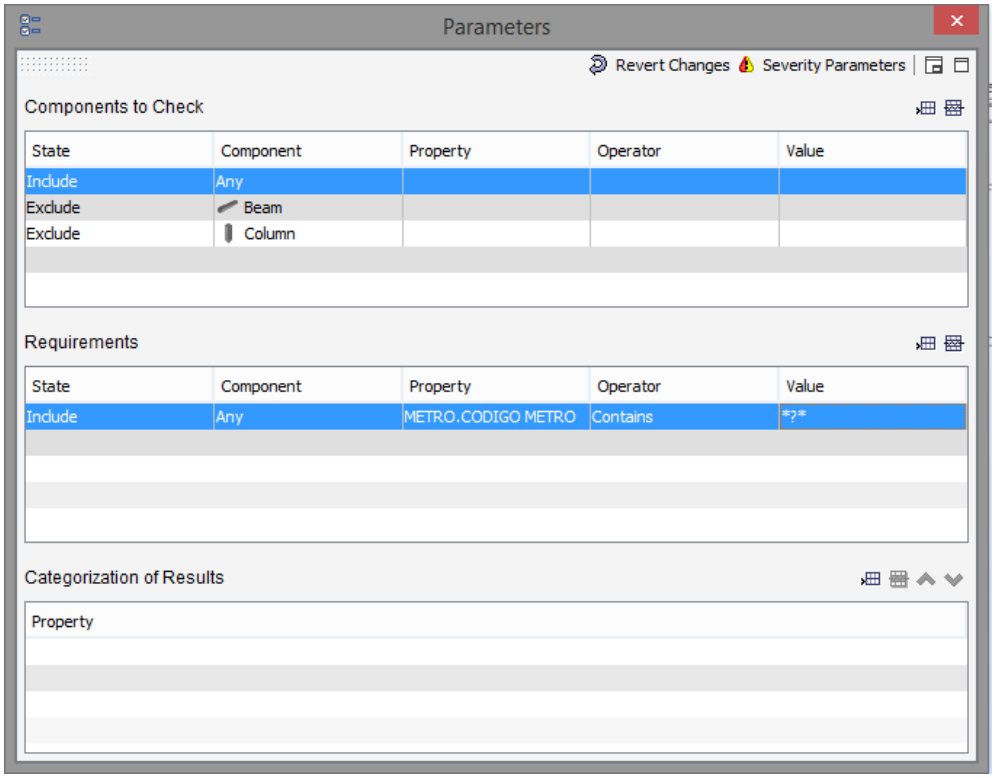
Para esta regra foi utilizado o template de regra da biblioteca do SMC denominada *Property Rule template with component filters*, onde, na janela de informações da regra (Figura 12), o primeiro quadro foi configurado para incluir todos os componentes do arquivo e excluir vigas e pilares, já que o documento verificará o projeto de arquitetura. No segundo quadro, a condição da regra é verificar se a propriedade “Codigo Metro” contém alguma informação. O resultado desta regra é o relatório de componentes que não têm a informação de classificação.

Tabela 12 - Descrição de uma regra de pré-verificação do modelo BIM.

Todos os componentes deverão conter o código do componente conforme ABNT-NBR-15965			
Classificação da regra	1	Implantação no SMC	I

Fonte: Autor.

Figura 12 - Interface de configuração da regra de pré-verificação.



Fonte: Autor.

6.1.7. PREMISSAS DE PROJETO

Para cada regra existe uma interface de parametrização, diferenciando-a de outras regras, conforme sua condição. Para o item 2.1.11 da Instrução de Projeto Básico de Arquitetura, representado na Tabela 13, foi utilizado um modelo de regra capaz de verificar o espaço livre em cada chegada e saída de escada. A regra utilizada da biblioteca do SMC foi a *Free Area in Front of Components*, que verifica se há interferências nos componentes indicados e em relação a uma distância definida. Para configurar esta regra, no primeiro quadro são indicados os componentes que devem ser checados - neste caso a escada, a rampa e a escada rolante.

A regra inclui a condição de que deve ser calculado o espaço de acomodação de uma vez e meia a largura do componente. O SMC não permite a inclusão de cálculos ou fórmulas em suas regras existentes, sendo necessária a utilização de programação para atingir o número desejado. Porém, como boa parte do

conjunto de escadarias para o Metrô de São Paulo é padronizado, adotou-se o padrão de 3,00 metros, uma vez que a largura mínima de circulação indicada para este tipo de projeto é de 2,00 metros.

Tabela 13 - Descrição e classificação da regra de verificação de espaço de acomodação em escadas.

Regra 2.1.11	Nas extremidades de escadas e rampas deverão ser previstos espaços de acomodação com comprimento mínimo de 1,5 vezes a largura do conjunto de escadas e/ou rampas.		
Classificação da regra	2	Implantação no SMC	I

Fonte: Autor.

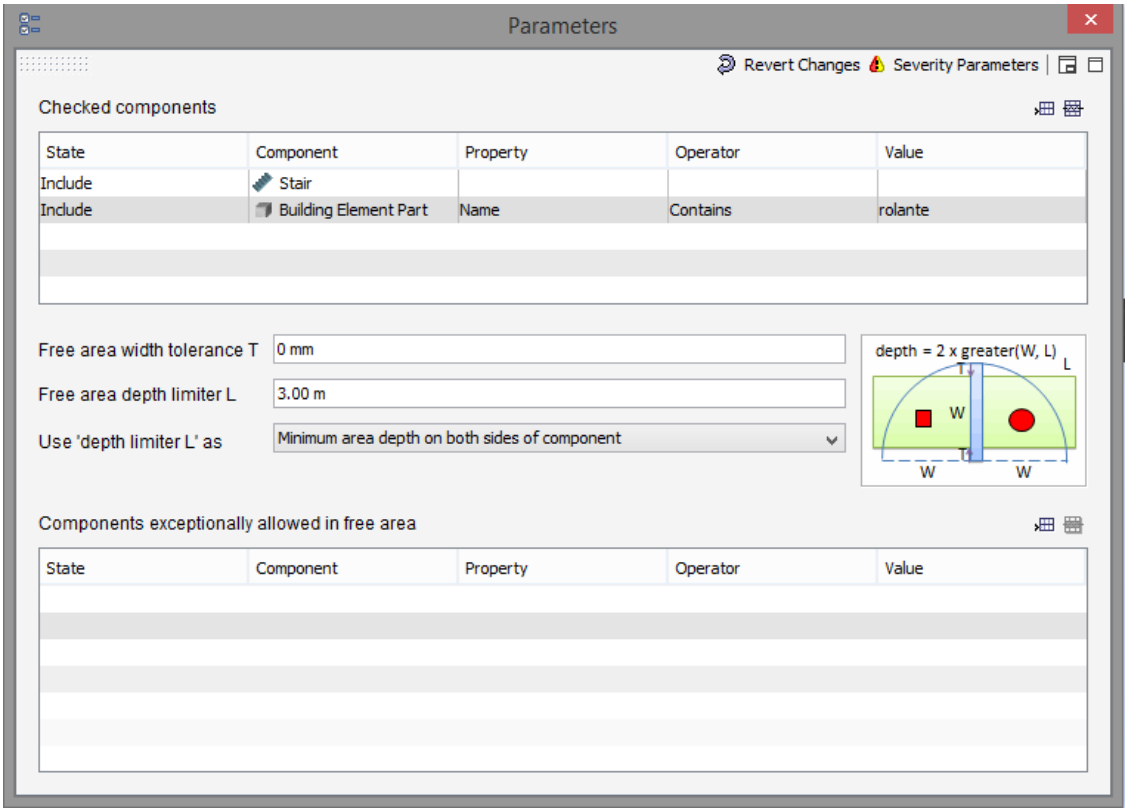
Em um primeiro momento da pesquisa, ao tentar criar esta regra no SMC, houve a necessidade de determinar como o software iria encontrar os componentes que devem ser verificados, como neste caso as escadas e rampas. Ao utilizar a busca pela classe escada ("*stair*") o software apontou apenas as escadas fixas, desconsiderando as escadas rolantes, estas, por sua vez, identificadas pela classe *Building Element Part*. Portanto, a verificação deveria incluir todos os componentes da classe *stair* e também da *Building Element Part*.

Porém, ao incluir os componentes da *Building Element Part,* outros componentes dentro desta classe são identificados, os quais não necessitam de verificação em relação à sua largura. Dessa forma, verificou-se a necessidade de identificar quais seriam, de fato, as escadas rolantes e adotou-se como solução, a condição de que a palavra "rolante" fosse inserida no campo correspondente ao nome do componente, conforme a Figura 13. Este tipo de processo de busca pelo elemento se mostra frágil, uma vez que depende da condição de que o usuário tenha preenchido corretamente um campo de texto.

Este processo deixou clara a necessidade de encontrar outra forma de busca pelos componentes de interesse e, assim como descrito na seção 4.2, é preciso que um padrão de classificação seja definido, a fim de aumentar a

confiabilidade da informação e tornando a criação de regras mais simples, já que com uma classificação não se faz necessária a identificação da classe.

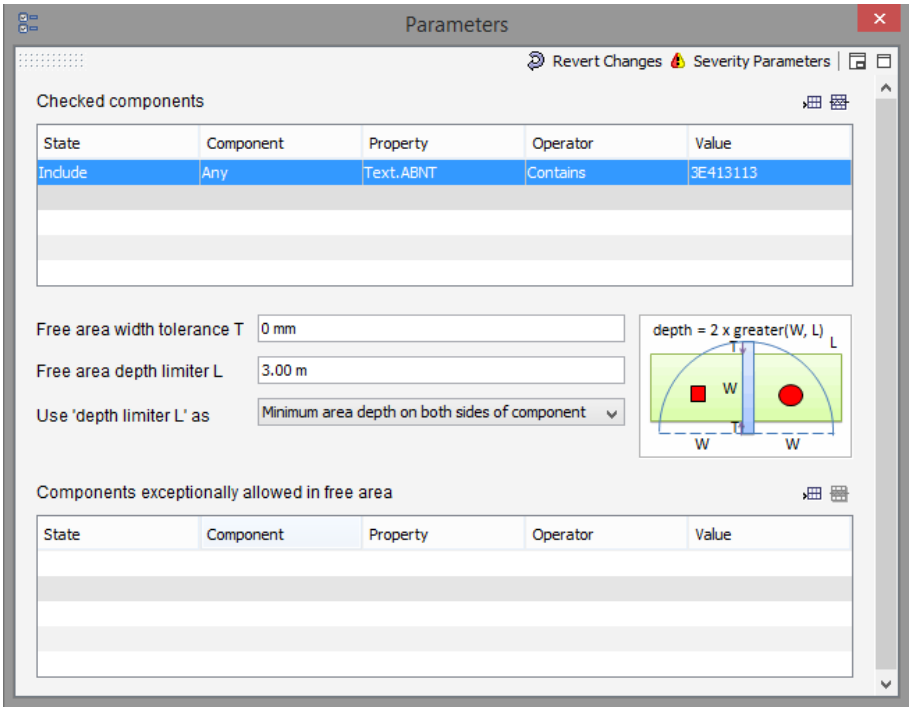
Figura 13 - Interface para edição de parâmetros da regra com o valor "rolante" para identificação do componente.



Fonte: Autor.

Definindo-se a classificação, o mesmo padrão de regra é utilizado, o *Free area in front of componentes*. Para configurar esta regra, identificam-se no primeiro quadro os componentes a serem checados - neste caso a escada, a rampa e a escada rolante. Utilizando um padrão de classificação indicado em contrato (seção 4.2), neste caso a ABNT NBR 15965 (2011), em que é possível identificar o grupo "escadarias", como patamares e escadas, pelo código 3E.41.31.13, como mostrado na Figura 14. Este código contempla todos os componentes que compõem escadarias e/ou rampas permitindo assim a identificação os componentes que serão verificados, acumulando todos para uma mesma regra.

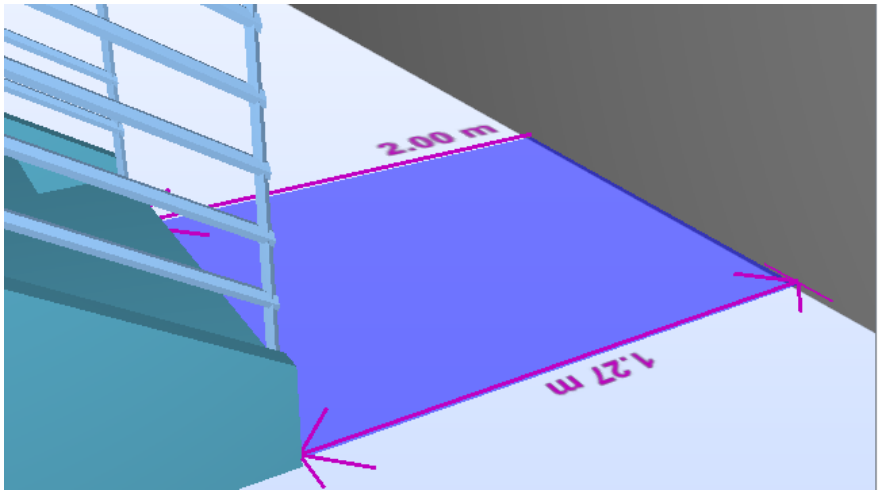
Figura 14 - Interface para edição de parâmetros da regra, considerando a classificação dos componentes.



Fonte: Autor.

A execução da regra resulta em uma lista das situações não atendidas. A Figura 15 demonstra como é apresentada visualmente um não atendimento à regra e, por meio da vista tridimensional e representações de cotas, torna-se claro o resultado.

Figura 15 - Vista indicando o não atendimento da regra 2 executada no SMC.



Fonte: Autor.

6.1.8. HALL DE BILHETERIAS E BLOQUEIOS

Espaços públicos, principalmente aqueles relacionados ao transporte, como as estações do Metrô de São Paulo, tendem a apresentar grandes variações no fluxo de usuários ao longo do dia. Os horários com maior número de passageiros são denominados como “horário de pico”. Nestes momentos do dia, a estação opera de forma diferenciada, objetivando facilitar o fluxo e atender melhor os usuários. As modificações realizadas durante a operação da estação para atender estes momentos de grande movimento, incluem objetos móveis e segregação de espaços.

Certos pontos da estação, onde também há concentração de usuários, apresentam características fixas que devem, portanto, obedecer a regras rígidas de projeto para que transtornos sejam evitados. A seção 2.5.15.c abrange a possibilidade de haver filas em bilheterias, indicando a necessidade de se reservar um espaço específico para acomodação desta fila, sem que esta atrapalhe o fluxo de passageiros. A condição é que haja 5,00 metros livres de obstáculos e do fluxo.

A regra utilizada da biblioteca do SMC foi *Free Area in Front of Components*. Esta regra adicionada ao Ruleset permitiu a alteração de parâmetros, portanto em *Checked Components* foi informado para incluir os componentes da

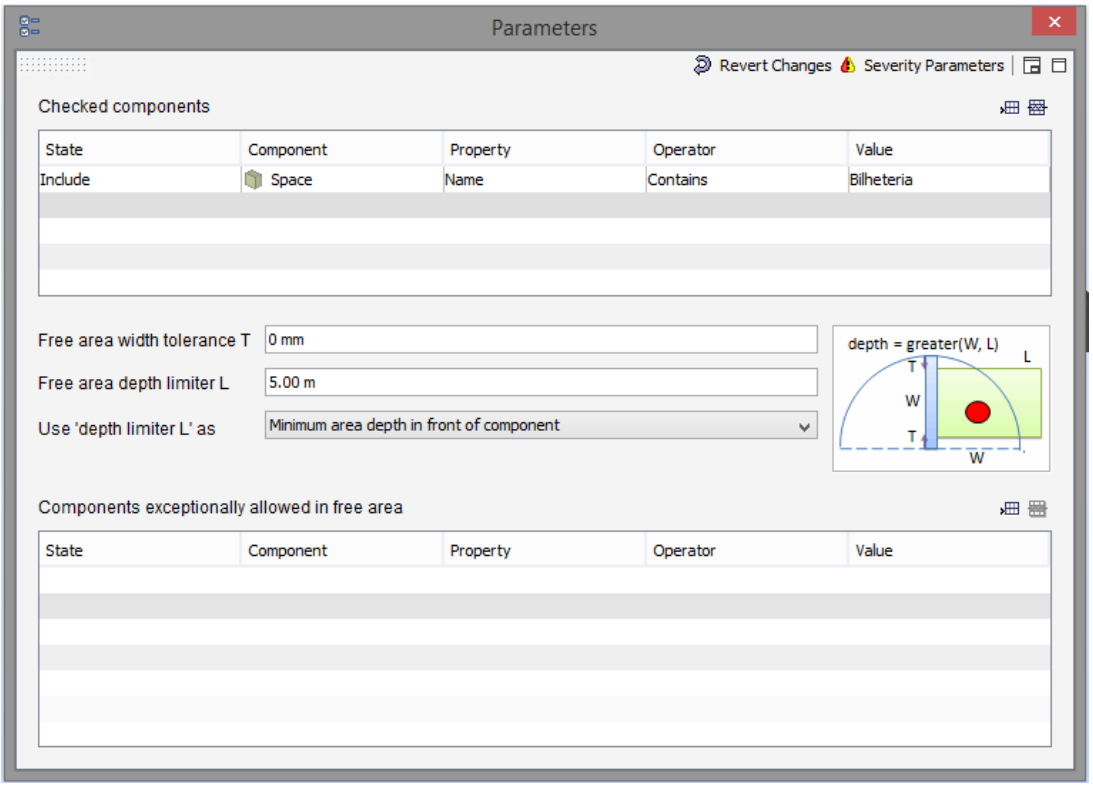
categoria *Space*, e incialmente com a condição de conter no nome a palavra “Bilheteria”, após a definição do padrão de classificação, foi indicado buscar no campo text.ABNT o código 4A.41.19.11. No campo sobre a profundidade da área que deve estar livre é informado o valor de 5,00 metros, e adicionando a informação para desconsiderar componentes com a classificação de bilheteria, visto que a parte frontal desta é um projeto padrão com numeração específica, conforme representa a Figura 16.

Tabela 14 - Descrição e classificação da regra de verificação de espaço livre em frente as bilheterias.

Regra 2.5.15.c	Em frente às bilheterias deverá ser previsto espaço mínimo livre de 5,00m para a formação de filas		
Classificação da regra	2	Implantação no SMC	I

Fonte: Autor.

Figura 16 - Interface para edição de parâmetros de uma regra de verificação de espaço livre em frente as bilheterias.



Fonte: Autor.

6.1.9. PLATAFORMAS

As plataformas de uma estação são espaços de acomodação dos passageiros de embarque e desembarque, e as duas ações acontecendo em curto espaço de tempo. Portanto este espaço deve atender os dois fluxos de modo satisfatório. Para isto esta regra impõe largura mínima das plataformas laterais e centrais e, para estações de integração, onde há mais de uma linha.

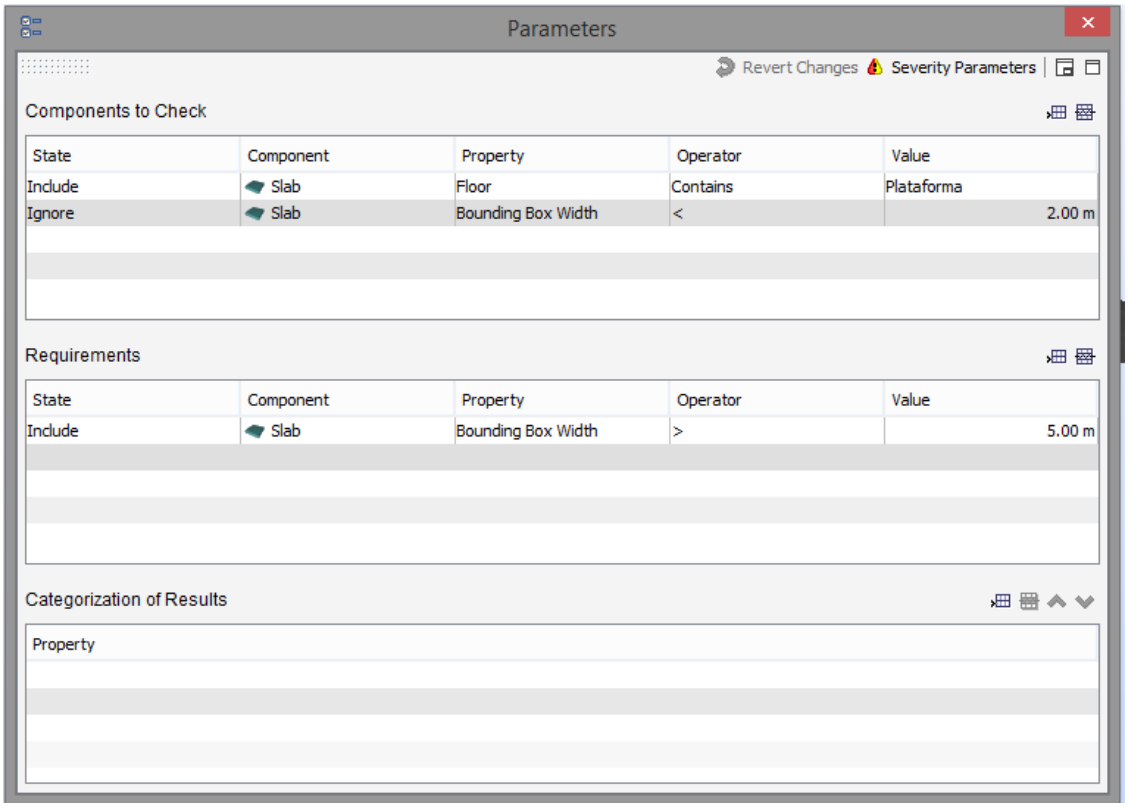
O *template* de regras utilizado para esta verificação foi o *Property Rule Template with Component Filters*, e permite determinar quais objetos devem ser checados e quais as condições que devem ser atendidas, como demonstrado na Figura 18.

Figura 17 - Descrição e classificação da regra.

Regra 2.7.4	Devem ter largura mínima, medidas a partir da borda da plataforma, de: • Lateral = 5,00m para as estações tipo e 6,00m para as estações de integração; • Central = 10,00m para qualquer tipologia de estação.		
Classificação da regra	2	Implantação no SMC	I

Fonte: Autor.

Figura 18 - Interface para edição de parâmetros de uma regra.



Fonte: Autor.

Para esta regra foi necessário incluir todas as lajes que pertençam a um nível que contenha em seu nome a palavra “Plataforma”, separando assim os pisos de plataforma com os demais.

Pede-se para ignorar os pisos que tenham menos de 2,00m (dois metros) de largura, isto devido ao fato de outros pisos intermediários, como patamar de escadas, estarem relacionados ao nível plataforma, e considerando que erros em largura de plataforma não ultrapassam o 1,00m (um metro) abaixo do exigido, essa consideração ignora a verificação em pisos menores evitando um falso positivo.

Em *Requirements* é informada a regra, indicando que todos os pisos com as condições indicadas devem ter no mínimo 5,00m (cinco metros) de largura.

6.2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A pesquisa demonstrou que há um grande potencial para o uso Verificação de Regras. Entretanto, ficou clara também a necessidade de realização de um planejamento anterior, analisando e preparando o processo para aplicação de tal uso. Esta preparação inclui desde revisão das regras que serão analisadas até a diretrizes de modelagem do projeto. No caso das regras, portanto, leis, normas e diretrizes a serem verificadas, estas devem passar por uma análise que as classifique e identifique quais necessitam de atenção, seja em relação à revisão de escrita, separação em outras regras ou simplesmente exclusão da análise automática. A forma como o modelo se apresenta para a Verificação de Regras é de igual importância, se a informação necessária não estiver contida de maneira adequada, ou se a diretriz de modelagem não for seguida, o resultado da verificação automatizada não será confiável.

7. CONCLUSÕES

O processo de análise e aprovação de projeto atual do Metrô de São Paulo demonstra-se ultrapassado, uma vez que se dá por meio de anotações em papel e transcrição destas para um meio digital. Este processo encontra-se sujeito a diversos problemas como deterioração dos papéis utilizados como base para anotações, a falta de um padrão entre os analistas e o baixo potencial de informação comparado ao processo em BIM. Mesmo em arquivos CAD bidimensionais, muitos dos costumes do processo realizado em papel se perpetuam. O BIM apresenta grande capacidade de modificação deste panorama, melhorando a produtividade, a confiança na informação, a rastreabilidade destas, bem como a facilitação de um padrão de análise, com a utilização do uso Verificação de Regras tendendo a impedir a diferença entre as análises realizadas por diferentes profissionais.

As regras, sejam estas normas, leis ou diretrizes de projeto, são escritas considerando a capacidade de interpretação do humano. Para ser analisada e verificada por computador há, então, a necessidade de adaptar ou reescrever uma regra de forma mais lógica, não permitindo brechas interpretativas, o que na verdade demonstra ser uma tradução. Soma-se a isto a limitação das plataformas e dos próprios analistas, que irão utilizar a plataforma de análise para desenvolver sua função. Portanto essa plataforma deve atender a um mínimo de aceitação e possibilidade de uso pelos profissionais que a utilizarão. Isto pode ser atendimento através de interfaces mais amigáveis ao usuário.

A padronização no processo de análise permite que, além de colaborar com quais informações serão necessárias e como estas devem ser apresentadas, atinjam um uso de certa forma novo, onde o projetista, em posse das mesmas regras que o analista utilizará, consegue antever os resultados e entregar o projeto já de acordo, diminuindo o número de revisões e comentários e, consequentemente, o tempo de análise e retrabalho.

A aplicação da verificação automatizada deve ser realizada por meio de um planejamento contendo os passos e decisões importantes, além de um estudo sobre as regras que serão aplicadas e traduzidas, com o intuito de analisar o

percentual destas regras onde se pode aplicar a automatização. Durante esta análise das regras, utilizando-se da classificação proposta, são identificadas quais regras necessitaram ser reescritas, aumentando o percentual de atendimento do documento para a verificação automatizada. Mesmo com a regra reescrita e traduzida, o modelo 3D, representando o projeto, deve obedecer a padrões de modelagem para que o software consiga encontrar as informações necessárias e de modo legível.

Como visto na pesquisa, os documentos utilizados atualmente contendo regras para projeto podem conter um grande número de regras não claras, indicando assim uma necessidade de estudo e de reescrever, mesmo para a análise atual, diminuindo potenciais erros do projetista.

A Verificação de Regras demonstrou almejar ser, entre os usos, um protagonista nos processos em BIM. A criação de regras e suas checagens podem fazer parte de diversos momentos do projeto, não somente para verificar-se atendimento a leis e normas, mas também para compatibilização de projetos, análises técnicas e outras aplicações que possam emergir.

8. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Plano Brasil maior.** Brasília, 2013. 139 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2015. 148 p.

_____. **NBR 15965-1:** sistema de classificação da informação da construção - parte 1: terminologia e estrutura. Rio de Janeiro, 2011. 6 p.

_____. **NBR-15965-2:** sistema de classificação da informação da construção - parte 2: características dos objetos da construção. Rio de Janeiro, 2012. 36 p.

_____. **NBR-15965-3:** sistema de classificação da informação da construção - parte 3: processos da construção. Rio de Janeiro, 2014. 19 p.

_____. **NBR-15965-7:** sistema de classificação da informação da construção - parte 7: informação da construção. Rio de Janeiro, 2015. 24 p.

BIMFORUM. **Level of development specification**. [s.l.]: 2015. 124 p.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ. **Fluxo de projetos GCI – Processo BIM.** São Paulo: Metrô, 2013.

_____. **IP-9.00.00.00/3B2-001** - Instrução de projeto básico de arquitetura. São Paulo: Metrô, 2013.

_____. **MAN 09-200** – Medição de Obras Civis**.** São Paulo: Metrô, 2015.

_____. **MAN 10-201** – Elaboração e fornecimento da documentação técnica de Engenharia Civil, Arquitetura, Geotecnica, Topografia, Desapropriações e Via Permanente. São Paulo: Metrô, 2011.

_____. **MAN 10-203** – Diretrizes para o desenvolvimento de projeto BIM. São Paulo: Metrô, 2013.

_____. **Organograma da Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô.** São Paulo: Metrô, 2015.

COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. **BIM project execution planning guide version 2.1.** University Park: The Pennsylvania State University, 2011. 125 p.

CRC CONSTRUCTION INNOVATION. **National guidelines for digital modelling**. Brisbane, 2009. 62 p.

DELIS, Ethymios A.; DELIS, Alex. Automatic Fire-Code Checking Using Expert-System Technology. **Journal Of Computing In Civil Engineering,** [s.l.], v. 9, n. 2, p.141-156, abr. 1995. American Society of Civil Engineers (ASCE).

EADIE, Robert et al. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. **Automation In Construction,** [s.l.], v. 36, p.145-151, dez. 2013. Elsevier BV.

EASTMAN, C. et al. Automatic rule-based checking of building designs. **Automation In Construction,** [s.l.], v. 18, n. 8, p.1011-1033, dez. 2009. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.002. Disponível em: <http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0926580509001198?httpAccept=text/xml>. Acesso em: 20 mar. 2016.

EASTMAN, C. et al. **BIM handbook:** a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 2. ed. New Jersey: Wiley, 2011. 648 p.

FIATECH REGULATORY STREAMLINING COMMITTEE. **AutoCodes project:** phase 1, proof-of- concept final report. Austin, 2013. 20 p.

HAN, Charles S.; KUNZ, John C.; LAW, Kincho H.. Client/Server Framework for On-Line Building Code Checking. **Journal Of Computing In Civil Engineering,** [s.l.], v. 12, n. 4, p.181-194, out. 1998. American Society of Civil Engineers (ASCE).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16739:** Industry foundation classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. [s.l.]: 2013. 23 p.

KHEMLANI, L. **CORENET e-PlanCheck : Singapore's automated code checking system.** 2005. Disponível em: <http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/CORENETePlanCheck.htm>. Acesso em: 09 mar. 2016.

KILICCOTE, H. **A standards processing framework.** Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 1997. 304 p.

KREIDER, R.; MESSNER, J. **The uses of BIM:** Classifying and Selecting BIM Uses. The Pennsylvania State University, University Park, PA, Estados Unidos. 2013. Disponível em: < http://bim.psu.edu>. Acesso em: 10 fev. 2016.

KREIDER, R.; MESSNER, J.; DUBLER, C. Determining the frequency and impact of applying BIM for different purposes on building projects. In: International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction (AEC), 6., 2010, Penn State University, University Park. **Anais…** Univeristy Park, Pennsylvania, 2010. 10 p.

LINHARD, K; STEINMANN, R. BIM-collaboration processes – from fuzziness to practical implementation. **Ework And Ebusiness In Architecture, Engineering And Construction,** [s.l.], p.27-31, 21 ago. 2014.

MAINARDI NETO, A. I. B.; SANTOS, E. T. Verificação de Regras em Modelos BIM: Um estudo de caso sobre projeto de arquitetura de estações metroviárias. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015, Recife. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015. p. 1-13.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. **The business value of BIM for construction in major global markets**. Bedford, 2014. 60 p.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 130**: standard for fixed guideway transit and passenger rail systems. Quincy, 2014. 74 p.

NAWARI, Nawari. O.. Automating Codes Conformance in Structural Domain. **Computing In Civil Engineering (2011),** [s.l.], p.569-577, 16 jun. 2011. American Society of Civil Engineers (ASCE).

NAWARI, N. The Challenge of Computerizing Building Codes in a BIM Environment. **Computing In Civil Engineering (2012),** [s.l.], p.285-292, 11 jun. 2012a.

NAWARI, N. BIM-Model Checking in Building Design. **Structures Congress 2012,** [s.l.], p.941-952, 29 mar. 2012b.

OYEGOKE, A. The constructive research approach in project management research. **International Journal of Managing Projects in Business**, Vol. 4 No. 4, 2011. p. 573-595.

SMC. Automated code checking for accessibility. **Solibri.** Disponível em: <http://www.solibri.com/press-releases/solibri-model-checker-v.4.2-accessibility.html>. Acesso em: 10 jun. 2014.

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C.. Classification of rules for automated BIM rule checking development. **Automation In Construction,** [s.l.], v. 53, p.69-82, maio 2015. Disponível em: <http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0926580515000370?httpAccept=text/xml>. Acesso em: 20 mar. 2016.

STATSBYGG. **Statsbygg BIM manual 1.2**. Oslo, 2011. 98 p.

YABUKI, N.; LAW, K. H. An integrated system for design standards processing.

In: CIB W78 & Computers in Building Standards Group (CBSG), 1992, Montral. **Anais**...Montreal: 1992. P. 293-307.

YABUKI, N.; LAW, K. H. An integrated framework for design standrads procesing. **Technical Report 67**, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, Stanford, California, Estados Unidos, junho. 1992.