

**Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e
Infraestrutura**

Mirela Schramm Tonetto

**Método para escolha de sistemas de proteção coletiva contra
queda de altura: uma proposta pela perspectiva da complexidade**

Porto Alegre
2019

MIRELA SCHRAMM TONETTO

**MÉTODO PARA ESCOLHA DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO
COLETIVA CONTRA QUEDA DE ALTURA: UMA
PROPOSTA PELA PERSPECTIVA DA COMPLEXIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Prof. Tarcisio Abreu Saurin
Dr. Pela Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, Brasil
Orientador

Porto Alegre
2019

MIRELA SCHRAMM TONETTO

**MÉTODO PARA ESCOLHA DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO
COLETIVA CONTRA QUEDA DE ALTURA: UMA
PROPOSTA PELA PERSPECTIVA DA COMPLEXIDADE**

Esta dissertação de mestrado foi julgada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, área de pesquisa Gestão e Economia da Construção, e aprovada em sua forma final pelo Professor Orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 2019.

Prof. Tarcisio Abreu Saurin
Dr. Pela Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, Brasil
Orientador

Prof^ª. Ângela Borges Masuero
Coordenadora do PPGCI/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos Torres Formoso (UFRGS)
PhD pela University of Salford, UK

Prof^ª. Dayana Bastos Costa (UFBA)
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Marcelo Fabiano Costella (UNOCHAPECO / IMED)
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao Prof. Tarcisio Abreu Saurin, orientador desta dissertação, pela grande contribuição, disponibilidade e incentivo durante todo o desenvolvimento do trabalho. Agradeço especialmente por ter me apresentado às empresas onde foram feitos os estudos empíricos.

Agradeço também a todos os professores do NORIE pelo conhecimento transmitido durante o mestrado, bem como aos professores visitantes que puderam contribuir com a pesquisa através de discussões. Agradeço especialmente as contribuições do Prof. Eduardo Luis Isatto e do Prof. Carlos Torres Formoso, principalmente durante a disciplina de metodologia científica, na qual esta dissertação começou a ser criada. Muito obrigada também à Prof^a. Dayana Bastos Costa e ao Prof. Marcelo Costella, pela disponibilidade em participar da banca de defesa.

Agradeço ao PPGCI e à CAPES pelo incentivo à pesquisa e apoio financeiro.

Agradeço aos funcionários das empresas em que realizei os estudos empíricos, bem como fornecedores, projetistas e consultores entrevistados, pela receptividade e interesse com esta pesquisa. A colaboração de todos foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a todos os amigos e colegas do NORIE pela partilha de conhecimento, alegrias e angústias durante o mestrado. As ideias trocadas na sala do GEC e a amizade de vocês foram fundamentais. Muito obrigada à minha amiga, Fernanda Brandalise, por criar e compartilhar o *template* da dissertação, e ao Felipe Costa, pelas dicas de Word e apresentação em público. Agradeço também aos bolsistas de iniciação científica que auxiliaram no decorrer do trabalho, especialmente à Sabrina Graff.

Agradeço imensamente aos meus pais, Ieda e Flavio, pelo exemplo e formação desde sempre, e à minha irmã, Letícia, pela amizade e carinho recíproco. Agradeço especialmente pelo apoio durante o último semestre, por preencherem com ternura e alegria a rotina desafiadora de quem está terminando uma dissertação e iniciando uma carreira como professora substituta em paralelo.

Agradeço de todo coração ao meu noivo, Leander, por ser meu grande incentivador. Seu amor e paciência foram essenciais. Agradeço também por todas as discussões sobre a pesquisa, pelas tentativas de me fazer entender que a dissertação nunca estará perfeita e pela ajuda com a formatação do trabalho.

Por fim, agradeço a Deus por estar presente em todos os momentos cuidando de tudo. Muito obrigada por toda providência, em forma pessoas, sinais e circunstâncias, colocada diariamente em meu caminho. Meu profundo agradecimento também aos amigos do GOU Bom Pastor, por serem instrumentos do Senhor dentro da universidade.

“ Pois sabemos que todas as coisas trabalham juntas para o bem daqueles que amam a Deus, daqueles a quem Ele chamou de acordo com o seu plano. ”

(Romanos 8:28)

RESUMO

TONETTO, M. S. **Método para escolha de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura: uma proposta pela perspectiva da complexidade.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

A indústria da construção é conhecida como uma das indústrias mais arriscadas, sendo as quedas de altura uma das principais causas de acidentes fatais em canteiros de obras. A fim de lidar com os riscos de quedas há a necessidade de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura (SPCQA). SPCQA são barreiras físicas ou funcionais, que têm uma natureza passiva, uma vez que não requerem interpretação dos usuários. Os SPCQA mais usado até pouco tempo atrás na região sul do Brasil eram os sistemas de guarda-corpo e rodapé (GcR). Entretanto, as construtoras locais passaram a ser pressionadas pela fiscalização ao uso de tecnologias que eliminassem a necessidade das plataformas de proteção secundárias e reduzissem a dependência de linhas de vida horizontais, ambas necessárias com o GcR. Assim, as redes de segurança e os andaimes fachadeiros foram introduzidos na região, aumentando a diversidade de SPCQA e os investimentos em segurança. A decisão entre qual SPCQA adotar, na prática, tem sido frequentemente baseada na experiência e análise de custos. Porém, diferentes opções de SPCQA também podem envolver diferenças significativas de tempo de implementação, durabilidade, possibilidade de reaproveitamento dos materiais, eficácia do objetivo pretendido, entre outros. Desta forma, é desejável um processo estruturado de tomada de decisão para a escolha do SPCQA. Esta pesquisa visa desenvolver um método para a escolha de SPCQA em canteiros de obras. O método é baseado na abordagem *Choosing by Advantages* (CBA), que é um método de tomada de decisão que considera as vantagens de diferentes alternativas e faz comparações baseadas nessas vantagens. O CBA auxilia a escolha integrando múltiplas perspectivas, criando transparência e rastreabilidade da decisão. Além disso, o método proposto contempla um conjunto de 21 fatores para comparar SPCQA, identificados através de um estudo exploratório em obra e de uma revisão de literatura com base na perspectiva da complexidade. A perspectiva da complexidade foi introduzida pois entende-se que os empreendimentos da construção civil são sistemas sociotécnicos complexos. A complexidade foi definida como um construto multidimensional, incluindo quatro atributos: um grande número de elementos que interagem dinamicamente, uma ampla diversidade de elementos, variabilidade inesperada e resiliência. Nesta pesquisa, o conjunto de fatores identificados foram aplicados em dois estudos de caso: um para avaliar redes de segurança e outro para avaliar andaimes fachadeiros. Em seguida, o método proposto foi aplicado em um estudo de caso comparando essas duas opções para um edifício residencial de 15 pavimentos. Este estudo forneceu evidências empíricas da utilidade e facilidade de uso do método. As principais contribuições desta pesquisa referem-se ao desenvolvimento do método, incluindo o conjunto de fatores, bem como a uma discussão sobre a aplicabilidade do CBA na escolha de SPCQA em canteiros de obras a partir da perspectiva da complexidade.

Palavras-chave: Sistemas de proteção coletiva contra queda de altura. Redes de segurança. Andaimes fachadeiros. Choosing By Advantages. Complexidade.

ABSTRACT

TONETTO, M. S. **A method for choosing collective fall protection systems in construction sites: a complexity perspective.** 2019. Dissertation (Master of Science in Civil Engineering) - Postgraduate Program in Civil Engineering: Construction and Infrastructure, Engineering School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

The construction industry is well-known as one of the riskiest industries and falls from height are one of the leading cause of fatal accidents in construction sites. In order to cope with fall hazards, which cannot usually be eliminated, there is a need for collective fall protection systems (CFPS). CFPS are physical or functional barriers, which have a passive nature since they do not require interpretation from users. The most commonly used CFPS until recently in southern Brazil were the temporary edge protection systems composed by guard rail at 1.20 m, intermediate guardrail at 0.70 m, toe board and a mesh. However, local builders have come under pressure to enforce technologies that eliminate the need for secondary trays and reduce the dependence on horizontal lifelines, both required with the described system used until then. Thus safety nets and facade scaffolding were introduced in the region, increasing the diversity of CFPS and investments in safety. The decision between which CFPS to adopt in practice has been often based on experience and cost analysis. However, different CFPS may also involve significant differences in implementation time, durability, reusability of materials and effectiveness of intended purpose. As such, a structured decision-making process for choosing CFPS is desirable. This research aims to develop a method for choosing CFPS in construction sites. The method is based on the Choosing by Advantages (CBA) approach, which is a decision-making method that accounts for the advantages of different alternatives and makes comparisons based on those advantages. CBA assists the choice by integrating multiple perspectives, creating transparency and traceability regarding the rationale for the decision. In addition, the proposed method includes a set of 21 factors to compare CFPS, identified through an on-site exploratory study and a literature review based on the complexity perspective. This analysis in light of complexity was conducted because an underlying assumption of this study is that construction sites are complex socio-technical systems. Complexity was defined as a multidimensional construct, including four attributes: a large number of dynamically interacting elements, a wide diversity of elements, unexpected variability, and resilience. In this research, the set of identified factors were applied in two case studies: one to evaluate safety nets and another to evaluate facade scaffolding. Then, the proposed method was applied in a case study comparing those two options for a 15-story residential building. This study provided empirical evidence of the usefulness and ease of use of the method. The main contributions of this research refer to the development of the method including the set of factors, as well as a discussion about the applicability of CBA in choosing CFPS in construction sites from the complexity perspective.

Keywords: Collective fall protection systems. Safety nets. Facade scaffolding. Choosing By Advantages. Complexity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hierarquia de controles	23
Figura 2 - Hierarquia das proteções contra queda de altura.....	24
Figura 3 - Exemplos de sistemas de guarda-corpo e rodapé (GcR).....	25
Figura 4 - Montagem de plataformas secundárias	25
Figura 5 - Sistema Rede V em obra em Canoas-RS	26
Figura 6 - Componentes do Sistema Rede V	27
Figura 7 - Esquema do sistema de Proteção Periférica Metálica com Rede V	28
Figura 8 - Sistemas de redes de segurança	29
Figura 9 - Andaime fachadeiro modular.....	32
Figura 10 - Andaime fachadeiro multidirecional.....	32
Figura 11 - Exemplo do CBA para escolha de uma canoa	38
Figura 12 - 7 passos do CBA.....	39
Figura 13 - Gráfico importância das vantagens X custo.....	39
Figura 14 - Seleção de tecnologia para tratamento de águas residuais com o CBA	40
Figura 15 - Atributos da complexidade e exemplos em sistemas sociotécnicos.....	45
Figura 16 - Dimensões da complexidade do produto	47
Figura 17 - Delineamento da pesquisa	54
Figura 18 - Método de escolha de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura	58
Figura 19 - Fatores para avaliação e escolha de SPCQA sob a visão da complexidade	61
Figura 20 - Fatores para avaliação e escolha de SPCQA sob a visão da complexidade	62
Figura 21 - Matriz de análise de risco	66
Figura 22 - Implementações do artefato	67
Figura 23 - Entrevistados nos estudos empíricos 1 e 2.....	71
Figura 24 - Fontes de evidência para avaliar as alternativas de SPCQA	72
Figura 25 - Análise de dados para implementações dos estudos empíricos 1 e 2.....	74
Figura 26 - Análise de dados para implementação 3	75
Figura 27 - Dimensões e critérios para avaliação do artefato.....	76
Figura 28 - Componentes das redes V na obra A: vista do exterior da obra.....	80
Figura 29 - Componentes do sistema V na obra A: vista do interior da obra	80
Figura 30 - Componentes do sistema U na obra A	81
Figura 31 - Proposta de Proteção Periférica Metálica a ser instalada na obra A	81
Figura 32 - Detalhe típico do andaime fachadeiro multidirecional	82
Figura 33 - Fluxograma de triagem, armazenagem, descarte e limpeza de redes	87
Figura 34 - Execução do reboco com andaime fachadeiro multidirecional na obra B1	89
Figura 35 - Trilhos para instalação do andaime fachadeiro em balanço na obra B1	90
Figura 36 - Dependência entre (a) a instalação das esquadrias e (b) desmontagem do andaime fachadeiro, em que é deixado um (c) vão para passagem das peças do SPCQA	92
Figura 37 - Dependência entre a desmontagem do andaime fachadeiro e a instalação das esquadrias	93
Figura 38 - Adaptação da rede U com diferentes fachadas	95
Figura 39 - Adaptação do sistema de redes com a geometria da obra A em sua terceira fase	95
Figura 40 - Estoque de peças para o andaime fachadeiro da obra B2	97
Figura 41 - Projeto de locação de perfis em balanço e andaime fachadeiro na fachada C da obra B2.....	98
Figura 42 - Grua atingida pela força na obra A	99
Figura 43 - Setores responsáveis pela aplicação do método.....	107
Figura 44 - Fachada do empreendimento C.....	109
Figura 45 - Fachada do empreendimento C.....	109
Figura 46 - Térreo, 2º e 3º pavimento do empreendimento C	110
Figura 47 - Pavimento tipo do empreendimento C.....	110
Figura 48 - Fornecedores de SPCQA	111
Figura 49 - Avaliação das alternativas de SPCQA	113
Figura 50 - Tabela do custo vs. importância das vantagens por fornecedor	127
Figura 51 - gráfico do custo vs. importância das vantagens por fornecedor.....	128
Figura 52 - Modelo das principais interações envolvendo o SPCQA e o empreendimento	133

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	<i>Analytical Hierarchy Process</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CATs	Comunicações de Acidentes de Trabalho
CBA	<i>Choosing By Advantages</i> Comitê Permanente Nacional sobre Condições e Meio Ambiente do Trabalho na
CPN	Indústria da Construção
CPR	Comitê Permanente Regional
DFA	<i>Design For Assembly</i>
DFM	<i>Design For Manufacturing</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
EE	Escola de Engenharia
EN	Norma Europeia
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ER	Engenharia de Resiliência
GcR	Guarda-corpo e Rodapé
INSS	Instituto Nacional de Seguro Social
MCDM	Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NORIE	Núcleo Orientado para a Inovação da Construção
NR	Norma Regulamentadora
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PCMAT	Programa de Condições e Meio Ambiente do Trabalho
PPGCI	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura
PPM	Proteção Periférica Metálica
PPMD	Sistema De Proteção Periférica Metálica Deslizante
PTA	Plataformas de Trabalho Aéreo
PtD	<i>Prevention through Design</i>
SLQA	Sistema Limitador de Queda em Altura
SPCQA	Sistemas De Proteção Coletiva Contra Queda de Altura
SRTE	Superintendência Regional do Trabalho e Emprego
TOE	<i>Technical Organizational and Environmental</i>
TR	Travessa
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
WRC	<i>Weighting Rating and Calculating</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTO	13
1.2	PROBLEMA REAL.....	15
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.4	QUESTÕES DE PESQUISA.....	18
1.5	OBJETIVOS DA PESQUISA	19
1.6	DELIMITAÇÕES	19
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	OS SISTEMAS DE PROTEÇÃO COLETIVA CONTRA QUEDA DE ALTURA.....	21
2.1.1	Redes de segurança	26
2.1.2	Andaime fachadeiro	31
2.1.3	Escolha de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura	34
2.2	CHOOSING BY ADVANTAGES (CBA)	36
2.3	A VISÃO DA COMPLEXIDADE	41
3	MÉTODO	51
3.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	51
3.2	DELINEAMENTO	52
3.3	ETAPA DE COMPREENSÃO E DESENVOLVIMENTO	56
3.3.1	O artefato	57
3.3.1.1	Método de escolha de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura	57
3.3.1.2	Fatores para avaliação de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura.....	60
3.4	ETAPA DE TESTE E AVALIAÇÃO DO ARTEFATO	67
3.4.1	Coleta de dados.....	70
3.4.2	Análise de dados	73
3.4.3	Avaliação do artefato	75
3.5	ETAPA DE ANÁLISE TEÓRICA E REFLEXÃO	76

4	RESULTADOS	77
4.1	CONTEXTO DAS EMPRESAS X E Y	77
4.2	ESTUDOS 1 E 2: FATORES PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO COLTIVA CONTRA QUEDA DE ALTURA (SPCQA)	78
4.2.1	Diversidade de componentes	79
4.2.2	Segurança da equipe de montagem e desmontagem	83
4.2.3	Ritmo de montagem e desmontagem	85
4.2.4	Vida útil	86
4.2.5	Flexibilidade para atender obras posteriores	87
4.2.6	Trânsito pela periferia da obra	88
4.2.7	Antecipação de atividades	89
4.2.8	Postergação de atividades	90
4.2.9	Dependência entre equipes	90
4.2.10	Possíveis danos ao acabamento na desmontagem	92
4.2.11	Adaptação com a fachada	93
4.2.12	Frequência de entrega e retirada de materiais na obra	96
4.2.13	Estoque	96
4.2.14	Uso de equipamentos para movimentação dos componentes do SPCQA	98
4.2.15	Experiência da empresa	99
4.2.16	Segurança das equipes da obra após instalação	99
4.2.17	Necessidade de proteção adicional	101
4.2.18	Disponibilidade de fornecedores	102
4.2.19	Foco de problemas por embargo	103
4.2.20	Falta ou divergência de regulamentação	103
4.2.21	Custo	105
4.3	ESTUDO 3: IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO PARA ESCOLHA DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO COLETIVA CONTRA QUEDA DE ALTURA (SPCQA)	106
4.3.1	Etapa 1: definir a equipe responsável pela aplicação do método	106
4.3.2	Etapa 2: definir o escopo de aplicação do método	108
4.3.3	Etapa 3: definir as alternativas de Sistemas de Proteção Coletiva	111
4.3.4	Etapa 4: avaliar as alternativas	112
4.3.5	Etapa 5: escolher a melhor alternativa	124
4.3.6	Etapa 6: listar aprendizados	129
4.4	AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO	130

4.4.1 Utilidade	130
4.4.2 Facilidade de uso	131
5 DISCUSSÕES	133
5.1 PERSPECTIVA DA COMPLEXIDADE APLICADA AOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO COLETIVA CONTRA QUEDA DE ALTURA	133
5.2 APLICABILIDADE DO CBA PARA ESCOLHA DE SPCQA EM CANTEIRO DE OBRAS, SOB O PONTO DE VISTA DA COMPLEXIDADE	136
5.3 O MÉTODO PROPOSTO E AS DIRETRIZES PARA GESTÃO DA COMPLEXIDADE	140
5.4 RESUMO DAS CONDIÇÕES CONTEXTUAIS FAVORÁVEIS AO USO DE REDES DE SEGURANÇA E ANDAIMES FACHADEIROS	142
6 CONCLUSÕES	144
6.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	144
6.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	145
6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	145
REFERÊNCIAS	147
APÊNDICE A - Roteiro de entrevistas estudos empíricos 1 e 2	154

1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo descreve o escopo desta pesquisa. Primeiramente, apresenta-se o contexto. A seguir, apontam-se e o problema real e o problema de pesquisa, unindo prática e teoria. Depois, aparecem as questões e objetivos da pesquisa. Por fim, as delimitações são apresentadas.

1.1 CONTEXTO

Estatísticas do Ministério do Trabalho apontam que 10,6% dos registros de acidentes de trabalho reportados pelas empresas ao INSS em 2017 estão relacionados a quedas com diferença de nível. Segundo dados do órgão, 37.057 Comunicações de Acidentes de Trabalho (CATs) relacionadas a quedas foram entregues em 2017. Ao olhar para os acidentes fatais, o percentual é ainda maior: 14,49% do total. Entre os trabalhadores da construção civil, ocorreram 1.796 acidentes e 24 mortes no Brasil em 2017 por quedas de altura (SAMPAIO, 2018).

Para controlar riscos, a abordagem conhecida por Sistema Hierárquico, proposta pelo *Health and Safety Executive* (HMSO, 2005), adota os seguintes princípios:

- 1) A eliminação do perigo é melhor que a proteção contra o perigo.
- 2) Proteção passiva, a qual não requer ação do indivíduo (por exemplo, redes de segurança), é melhor que ativa, a qual requer ação do indivíduo (por exemplo, cintos de segurança associados à linha de vida);
- 3) Como último recurso, ações para mitigar as consequências de um acidente devem ser consideradas (por exemplo, procedimentos de resgate).

Desta forma, a alternativa conceitualmente mais adequada para reduzir as quedas de altura na construção civil é a prevenção, preferencialmente eliminando os riscos de queda na origem (HSE, 2012). Isto também está alinhado com a abordagem *Prevention through Design* (PtD), na qual engenheiros e arquitetos consideram explicitamente a segurança do trabalhador da construção ao projetar uma edificação (TOOLE; GAMBATESE, 2008). Desta forma, não deve haver riscos de construção desnecessários e os documentos do projeto devem alertar os

construtores para riscos inevitáveis. Assim, o projeto do produto (edificação) é revisado para garantir que este possa ser construído de forma segura, além de atender aos objetivos de custo, prazo e qualidade (TOOLE; GAMBATESE, 2008).

Porém, como os riscos nem sempre podem ser eliminados, estratégias como o uso de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura (SPCQA) devem ser empregadas durante a obra. SPCQA são definidos neste trabalho como barreiras físicas ou funcionais, as quais impedem que um evento indesejado aconteça e não exigem interpretação para o seu uso (HOLLNAGEL, 2004). A instalação de SPCQA deve ser prevista por projetos específicos, contemplando desenhos, especificações técnicas e instruções de mobilização, desmobilização e manutenção. Antecedendo o projeto, deve haver um processo de análise e seleção para a escolha do SPCQA, pois diferentes opções envolvem diferenças significativas de custo, tempo de implementação, durabilidade, possibilidade de reaproveitamento dos materiais e eficácia do objetivo pretendido (CBIC, 2017).

Neste trabalho, os empreendimentos da construção civil são compreendidos como sistemas sociotécnicos complexos, os quais envolvem interações entre seres humanos, tecnologia e locais de trabalho (EMERY; TRIST, 1960). Portanto, entende-se que o processo de análise e seleção de SPCQA deve considerar a complexidade existente na obra. A complexidade é entendida como um conceito multidimensional, que possui quatro atributos: grande número de elementos interagindo dinamicamente; grande diversidade de elementos; variabilidade inesperada; e resiliência (SAURIN; SOSA, 2013).

Na construção civil, essa complexidade advém de diversos fatores, tais como grande número de tarefas, utilização de múltiplos recursos (como mão de obra, equipamentos e materiais) (LIN; YNG; WENG, 2005), além do fato de cada empreendimento ser único. Apesar dos SPCQA serem apenas técnicos, quando colocados para interagir com o ambiente, passam a fazer parte do sistema sociotécnico complexo. Portanto, a perspectiva da complexidade permite modelar e descrever o SPCQA em termos estruturais e funcionais, e representar as interações existentes entre os equipamentos e seu entorno.

1.2 PROBLEMA REAL

Devido ao grande número de acidentes de trabalho no Brasil, os órgãos públicos fiscalizam as obras afim de contribuir para um maior comprometimento do setor com a segurança. Em casos de desacordo com a legislação ou acidentes, as empresas são penalizadas tanto administrativa quanto financeiramente. Além da repercussão negativa na mídia, severas ações procedidas no âmbito do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), INSS, Ministério Público do Trabalho e nas esferas cíveis e criminais podem ser ocasionadas (CBIC, 2017).

No Brasil, a regulamentação NR-3 (BRASIL, 2011) estabelece que os auditores fiscais têm o direito de embargar os canteiros de obra caso identifiquem situações de “risco grave e iminente”. Por sua vez, estes são definidos pela NR-3 como condições de trabalho ou situações que podem causar acidentes ou doenças relacionadas ao trabalho, implicando graves danos à integridade física do trabalhador (BRASIL, 2011).

Na região sul do Brasil, até pouco tempo atrás, a grande maioria das obras possuía como sistema de proteção coletiva contra queda de altura (SPCQA) os sistemas do tipo Guarda-corpo e Rodapé (GcR). Tal sistema precisa ser associado a plataformas de proteção secundárias e linha de vida. O trabalho de Peñaloza, Saurin e Formoso (2017), por exemplo, avaliou nove tipos de GcR de diferentes configurações feitos de madeira, metal ou ambos, o que já demonstrava uma grande variedade de SPCQA.

Entretanto, como relata Saurin (2016), os auditores fiscais começaram a pressionar as construtoras ao uso de tecnologias que eliminassem a necessidade das plataformas de proteção secundárias e reduzissem a dependência de linhas de vida horizontais. Isso ocorreu, pois a montagem das plataformas de proteção é muito arriscada e o cinto é proteção individual, as quais devem ser substituídas por proteção coletiva sempre que possível, conforme recomendação da NR-35 (BRASIL, 2016). Assim, as redes de segurança e os andaimes fachadeiros foram introduzidos na região, aumentando a diversidade de SPCQA e os custos em segurança.

Porém, as inspeções ocorrem em sistemas sociotécnicos complexos e, portanto, desencadeiam interações que podem criar efeitos inesperados ou indesejados (DEKKER, 2011). Quando as primeiras obras passaram a ter essas novas tecnologias, em meados de 2014, os fornecedores de redes e andaimes fachadeiros não estavam bem preparados para atender as obras, tampouco

as construtoras e os próprios fiscais não conheciam bem os novos sistemas que começaram a ser adotados. Isso gerou ainda mais incertezas no setor.

Desde então, as redes de segurança e andaimes fachadeiros vem sendo tema de discussão no dia a dia dos profissionais na construção civil local. O Comitê Permanente Nacional sobre Condições e Meio Ambiente do Trabalho na Indústria da Construção (CPN), uma instância tripartite entre governo, empregadores e empregados, cujo objetivo é tratar de diversos assuntos referentes às questões de saúde e segurança no trabalho no âmbito da construção civil, teve como ponto de discussão em 2018 os SPCQA (REIMBERG, 2018). Similarmente o Comitê Permanente Regional do Rio Grande do Sul também vem estudando este tema nos últimos anos. Isto demonstra a importância prática deste assunto.

Pelas altas exigências da fiscalização na cidade de grande porte da região sul do Brasil em que foi realizado este trabalho, bem como na sua região metropolitana, em alguns casos de embargos as construtoras estão desistindo da forma administrativa para finalizar a proibição, recorrendo ao poder judiciário. Um dos principais motivos para isso são as diferenças entre os pontos de vista dos inspetores e construtores sobre o que é risco grave e iminente (SAURIN, 2016). Além disso, há equipes diferentes do Ministério do Trabalho que fiscalizam o litoral, interior e região metropolitana do estado em questão, as quais divergem nos critérios de inspeção. Como aponta Saurin (2016), os inspetores desfrutam de um alto nível de autonomia e cada um está na prática livre para decidir quais locais de trabalho devem ser inspecionados, como e quando.

Esta situação tem resultado em discordâncias entre os agentes do setor da construção civil e forçado as empresas locais a evoluírem quando se trata de SPCQA. As construtoras e incorporadoras locais vem estudando especialmente os sistemas de redes de segurança e os andaimes fachadeiros e apresentam interesse em estudos comparativos entre estes sistemas.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

O contexto e problema real apresentados estão de acordo com o que a literatura aponta. Gestores de segurança na construção civil são frequentemente confrontados com dilemas ao tomar decisões, sendo pressionados por fatores críticos para o sucesso do empreendimento, como custos e prazos (KARAKHAN; GAMBATESE; RAJENDRAN, 2016), além da fiscalização.

Diante disso, o método *Choosing By Advantages* (CBA) pode ser muito útil. Esse é um sistema de tomada de decisões que considera as vantagens de diferentes alternativas e faz comparações baseadas nessas vantagens (SUHR, 1999). O método auxilia a escolha integrando múltiplas perspectivas, criando transparência, separando valor do custo e documentando claramente o raciocínio da decisão (ARROYO; TOMMELEIN; BALLARD, 2015).

O CBA já foi testado em diferentes contextos. Arroyo, Tommelein e Ballard (2015), por exemplo, fornecem um estudo detalhado de escolha de materiais em um projeto comercial de interiores considerando questões globais da cadeia de suprimentos. No contexto da segurança, Karakhan, Gambatese e Rajendran (2016) analisaram três medidas de proteção contra quedas de altura em uma edificação com o CBA. O resultado do estudo indicou que o CBA é um sistema sólido de tomada de decisões que pode ser usado pelas equipes de projeto para tomar decisões de segurança durante os estágios iniciais do projeto. Nnaji et al. (2018) também usaram o CBA, mas para escolher dispositivos para segurança de obras viárias. Portanto existem várias pesquisas apontando os benefícios do CBA na construção civil, inclusive na escolha de SPCQA.

O CBA permite a tomada de decisão sob múltiplas perspectivas e facilita a colaboração, favorecendo o alcance de consenso e gerando menos frustração durante a decisão (ARROYO et al., 2016). Isso está alinhado com a visão da complexidade pois sistemas complexos tem diversos agentes. Por isso, uma das diretrizes para gerenciar sistemas complexos é incentivar a diversidade de perspectivas ao tomar decisões (SAURIN; ROOKE; KOSKELA, 2013).

Ademais, o CBA também ajuda os profissionais da construção civil a estruturar a decisão a ser tomada (ARROYO et al., 2016). Este fornece transparência na identificação das diferenças entre as alternativas, permitindo que os tomadores de decisão baseiem sua escolha nessas diferenças. Esta forma de estruturar a decisão é coerente com outra diretriz para gerenciar sistemas complexos proposta por Saurin, Rooke e Koskela (2013): dar visibilidade aos processos e resultados.

Além disso, uma abordagem simplista para escolha de sistemas de proteção coletiva consideraria somente o custo. Porém o CBA considera múltiplos fatores de comparação. Assim o CBA se contrapõe às decisões sem análise rigorosa, sem discussão formal ou documentação frequentemente feitas na construção civil (ARROYO; TOMMELEIN; BALLARD, 2015).

Apesar de existirem várias pesquisas apontando os benefícios do CBA na construção civil, inclusive na escolha de SPCQA, apontam-se algumas limitações desses estudos. Uma delas é que muitas vezes a implementação do CBA é feita para uma escolha hipotética e os participantes são estudantes ou pesquisadores, como no estudo de Karakhan, Gambatese e Rajendran (2016), Murguia e Brioso (2017) e Arroyo e Molinos-Senante (2018), ou são profissionais de diferentes empresas, como no trabalho de Nnaji et al. (2018). Além disso, em casos em que o CBA foi implementado em um estudo de caso real, os participantes do estudo é quem sugeriam os fatores que deveriam ser levados em consideração na escolha, como no estudo de Kpamma et al. (2015) em que foi escolhido o tipo de esquadria para um auditório de uma universidade. Para escolha de SPCQA, por serem tecnologias novas no mercado e fazerem parte de um sistema sociotécnico complexo, se a decisão fosse tomada desta maneira poderiam ser negligenciadas questões importantes para a escolha por falta de experiência ou conhecimento da equipe.

Para a definição dos fatores levados em consideração na escolha, neste trabalho assume-se o SPCQA interagindo com a obra, um sistema sociotécnico complexo. Isso significa que a escolha deve harmonizar os requisitos humanos com os requisitos técnicos, em vez de otimizar a dimensão técnica e adaptar a dimensão humana a esta (CLEGG, 2000). Portanto, com a visão da complexidade, o foco não está apenas na proteção, em seus requisitos de desempenho estrutural conforme legislação, mas também nas suas interações com o restante da obra e com diferentes usuários, incertezas e resiliência do sistema.

1.4 QUESTÕES DE PESQUISA

Com base no contexto, problema real e de pesquisa, foi definida a questão principal de pesquisa:

Como escolher sistemas de proteção coletiva contra queda de altura em canteiros de obras, pela perspectiva da complexidade?

Como desdobramento da questão principal, foi definida a questão secundária:

- Como o CBA pode ajudar a escolher sistemas de proteção coletiva contra queda de altura em canteiros de obras, pela perspectiva da complexidade?

1.5 OBJETIVOS DA PESQUISA

Objetivo geral da pesquisa:

Propor um método de escolha de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura pela perspectiva da complexidade.

Objetivos específicos da pesquisa:

- Apresentar recomendações e limitações do uso do CBA para escolher sistemas de proteção coletiva contra queda de altura em canteiros de obras, pela perspectiva da complexidade.

1.6 DELIMITAÇÕES

Neste trabalho serão avaliados dois tipos de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura: (1) as redes de segurança e (2) os andaimes fachadeiros. A escolha pelos dois sistemas é devida ao fato de serem as duas tecnologias mais usadas na cidade de grande porte do sul do Brasil em que o estudo foi realizado. Além disso, as empresas construtoras locais apresentam interesse em uma comparação dos mesmos.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos. O capítulo de introdução trouxe o contexto, problema real e problema de pesquisa. A partir disso, também foram apresentadas as questões, objetivos e delimitações da pesquisa.

O capítulo dois tem ênfase na revisão de literatura. Discutem-se, primeiramente, os sistemas de proteção coletiva contra quedas de altura, com ênfase nas redes de segurança e nos andaimes fachadeiros, bem como no processo de escolha dos mesmos. A seguir trata-se do *Choosing By Advantages*. A revisão de literatura ainda aborda a perspectiva da complexidade, trazendo os atributos dos sistemas complexos, a teoria da complexidade do produto e medidas de complexidade.

No capítulo três apresenta-se o método de pesquisa, em que é descrita a estratégia de pesquisa adotada, o delineamento da pesquisa e suas fases. Também são apresentados os mecanismos para coleta e análise de dados. Além disso, nesse capítulo propõe-se o artefato da pesquisa, um método para escolha de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura (SPCQA) que

utiliza um conjunto de fatores baseados na perspectiva da complexidade. Por fim explica-se como foi feita a avaliação do artefato.

O capítulo quatro apresenta os resultados obtidos ao longo da pesquisa. Primeiramente é apresentada uma descrição do contexto das empresas em que foram feitos os estudos. A seguir, são apresentados os resultados dos estudos que buscaram avaliar os fatores propostos em obras com redes de segurança e andaimes fachadeiros. Além disso, são abordados os resultados da implementação do método para escolha de SPCQA e a avaliação do artefato pelos constructos propostos.

O quinto capítulo traz as discussões dos resultados. É feita uma análise de como os resultados são relacionados com a literatura, identificando-se as contribuições teóricas da pesquisa. Também é apresentado um modelo das principais interações entre os SPCQA e o empreendimento, entre outras reflexões.

Por fim, o último capítulo apresenta conclusões. São sintetizadas as principais contribuições deste trabalho, as limitações da pesquisa e recomendações para estudos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta a uma revisão da literatura contemplando os principais temas abordados nesta pesquisa: os sistemas de proteção coletiva contra queda de altura, o *Choosing By Advantages* e a visão da complexidade.

2.1 OS SISTEMAS DE PROTEÇÃO COLETIVA CONTRA QUEDA DE ALTURA

Os sistemas de proteção coletiva contra queda de altura (SPCQA) têm como função criar uma barreira contra acidentes. O conceito de barreira foi definido por Taylor (1988 apud HOLLNAGEL, 2004, p. 81) como "equipamentos, construções, ou regras que interrompem o desenvolvimento de um acidente". Hollnagel (2004) propõe que barreiras podem ser classificadas em ativas ou passivas. Uma barreira ativa atinge sua finalidade através de uma ação. Ao passo que a barreira passiva cumpre sua finalidade apenas por estar no local do evento. Desta forma, os SPCQA são barreiras passivas, diferentemente dos equipamentos de proteção individual, como luvas, capacetes e cintos de segurança, que exigem a ação do trabalhador de usá-los corretamente.

Além disso, Hollnagel (2004) explica que barreiras podem variar desde obstáculos físicos a regras ou leis, assim, as classifica também em outras quatro categorias:

- a) física: a barreira impede fisicamente que uma ação seja realizada, desta forma bloqueia ou mitiga os efeitos de um evento inesperado. Os SPCQA são barreiras físicas. Por exemplo, sistema de guarda-corpo e rodapé, proteção de periferia de laje, proteção em abertura de laje, proteção em vãos de elevador, plataformas de proteção e redes de proteção;
- b) funcional: a barreira atua impedindo que o evento indesejado aconteça através de intertravamentos físicos ou lógicos que devem ser cumpridos antes do evento indesejado. Como exemplo, pode-se citar o intertravamento automático ou chave de segurança;
- c) simbólica: a barreira requer um ato de compreensão e interpretação por parte das pessoas. Por exemplo, semáforos, alarmes e avisos visuais como “mantenha distância”;

d) imaterial: a barreira não está presente fisicamente e depende do conhecimento do utilizador para atingir sua finalidade. Pode ser representada por um livro ou um memorando. Exemplos são leis, regras e diretrizes de segurança.

A norma regulamentadora NR-18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção (BRASIL,2018) em seu item 18.13.1, estabelece ser obrigatória a instalação de proteção coletiva onde houver risco de queda de trabalhadores ou de projeção de materiais. A NR-18 ainda estabelece que os SPC devem ser projetadas por profissional habilitado e devem constar no Programa de Condições e Meio Ambiente do Trabalho na Indústria da Construção Civil (PCMAT) da obra.

Além disso, a norma regulamentadora NR-35 - Trabalho em altura (BRASIL, 2016) define uma hierarquia em que devem ser adotados preferencialmente: (a) medidas para evitar o trabalho em altura, sempre que existir meio alternativo de execução; (b) medidas que eliminem o risco de queda dos trabalhadores, na impossibilidade de execução do trabalho de outra forma; (c) medidas que minimizem as consequências da queda, quando o risco de queda não puder ser eliminado.

A NR 35 (BRASIL, 2012) também define que a seleção do sistema de proteção contra quedas deve considerar a utilização:

- a) de sistema de proteção coletiva contra quedas de altura - SPCQA;
- b) de sistema de proteção individual contra quedas - SPIQ, nas seguintes situações:
 - b.1) na impossibilidade de adoção do SPCQA;
 - b.2) sempre que o SPCQA não ofereça completa proteção contra os riscos de queda;
 - b.3) para atender situações de emergência.

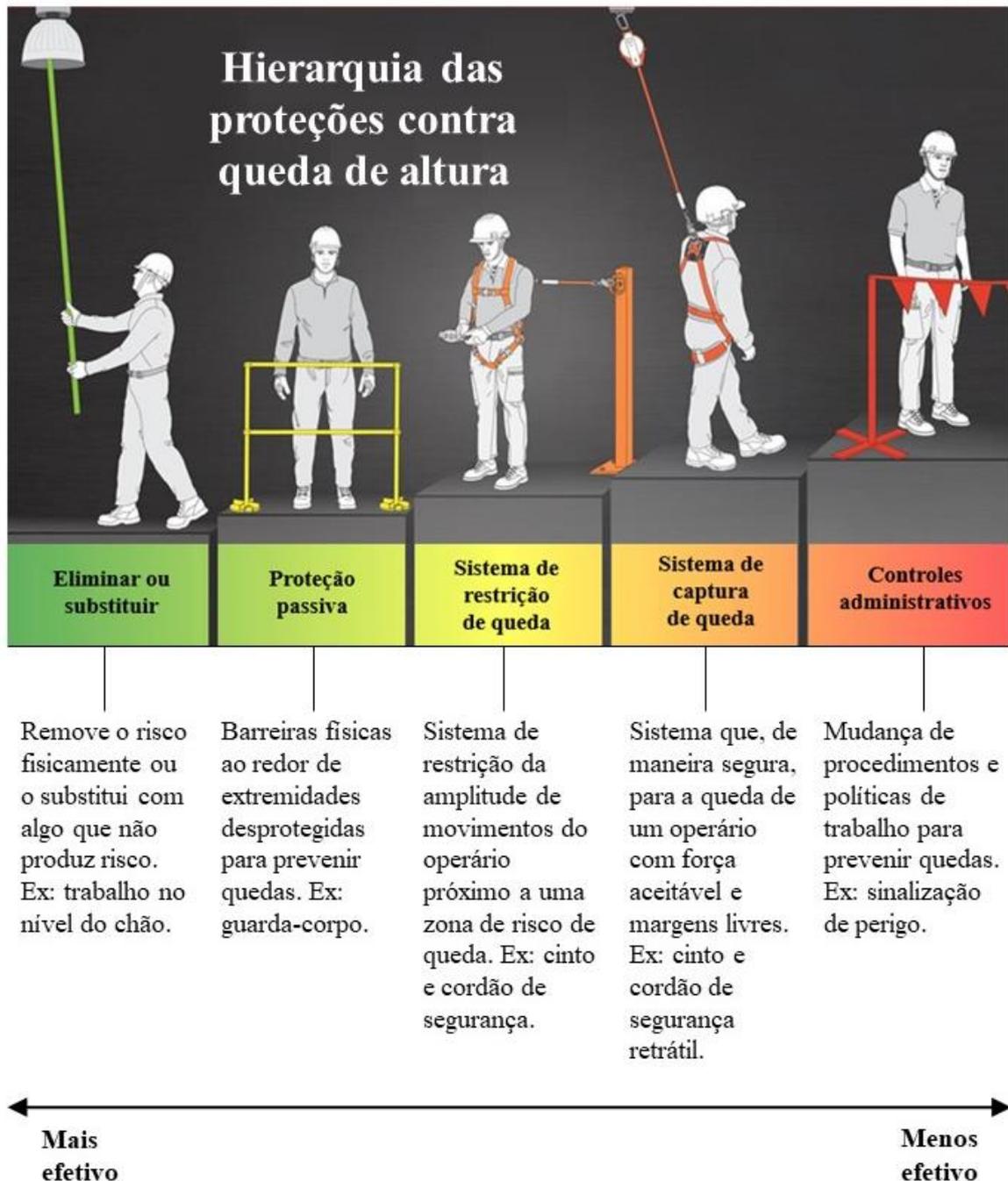
Isso está de acordo com a proposta da NIOSH (2015) apresentada na Figura 1, e com a adaptação proposta por Zuluaga e Albert (2017), conforme Figura 2. A hierarquia é a ordem preferencial de controle para perigos de queda. À medida que a hierarquia diminui de nível, o risco progride.

Figura 1 - Hierarquia de controles



Fonte: NIOSH (2015)

Figura 2 - Hierarquia das proteções contra queda de altura



Fonte: Adaptado de Zuluaga e Albert (2017) e Gravitec (2019)

Até pouco tempo atrás, o SPCQA usualmente empregado nas obras para evitar quedas de periferia era o sistema de guarda-corpo e rodapé (GcR), geralmente de madeira ou metal (Figura 3), como aponta o trabalho de Peñaloza, Saurin e Formoso (2017). Este sistema era acompanhado das plataformas de proteção secundárias para captura de materiais, as quais são

plataformas de proteção em balanço a cada três lajes. A Figura 4 apresenta a montagem de uma plataforma de proteção secundária.

Figura 3 - Exemplos de sistemas de guarda-corpo e rodapé (GcR)



Fonte: Peñaloza, Saurin e Formoso (2017)

Figura 4 - Montagem de plataformas secundárias



Fonte: Bandeira, Carvalho e Ferreira (2017)

A montagem dos sistemas GcR e das plataformas de proteção secundárias demandam muito tempo de exposição dos trabalhadores ao perímetro da laje em construção, obrigando os trabalhadores a exporem parte do corpo para fora da laje. Como alternativas a este SPCQA,

foram introduzidas outras tecnologias no mercado para evitar a queda de altura, por exemplo, andaimes fachadeiros pré-fabricados e redes associadas à guarda-corpos pré-fabricados. A seguir são descritas essas duas tecnologias, as quais são atualmente os dois principais sistemas utilizados na cidade de grande porte do sul do Brasil em que foram realizados os estudos desta dissertação.

2.1.1 Redes de segurança

O uso das redes de segurança ainda é recente no Brasil, podendo ser apontado como uma inovação nas práticas de prevenção de acidentes na construção civil. Este sistema surgiu na Espanha e começou a ser utilizado no Brasil em substituição às plataformas de proteção secundárias. Isso ocorreu por dois grandes motivos: como as plataformas de proteção são geralmente de madeira, trata-se de uma estrutura rígida que não amortece possíveis quedas, ao contrário das redes que evitam choques bruscos, reduzindo riscos e lesões; e os riscos de montagem e desmontagem das redes são muito menores, pois quem monta não está exposto para fora da edificação.

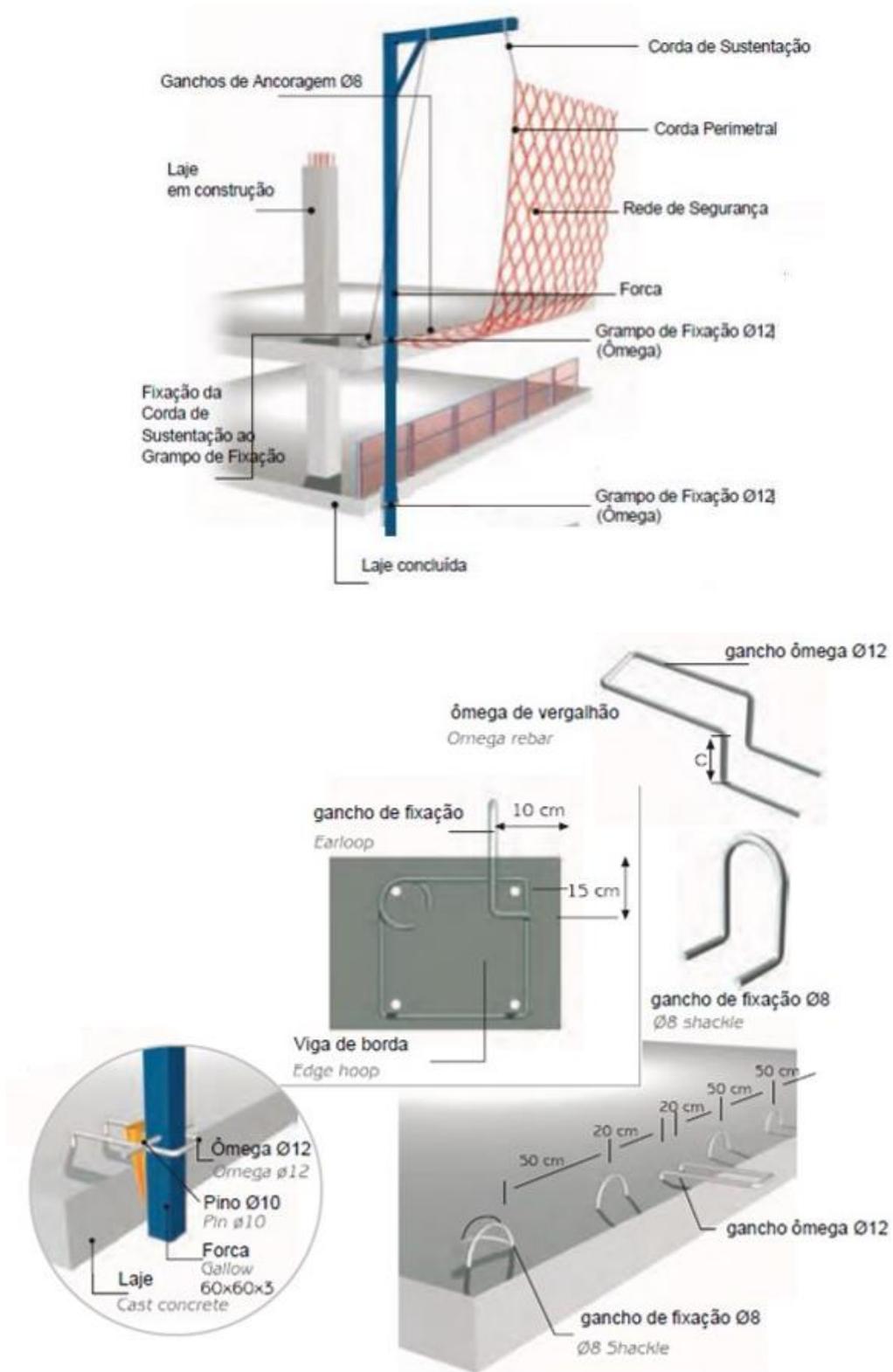
Este sistema, que substitui as plataformas de proteção secundárias, é chamado na NR-18 (BRASIL, 2018) de SLQA – Sistema Limitador de Queda em Altura. Pela norma espanhola, esse é chamado Sistema V. De acordo com a NR-18 (BRASIL, 2018), o sistema SLQA é composto por diferentes elementos. No mínimo, deve haver: (a) rede de segurança, (b) cordas de sustentação ou de amarração e perimétrica da rede, (c) conjunto de sustentação, fixação, ancoragem e acessórios de rede, composto de elemento forca, grampo de fixação do elemento forca e ganchos de ancoragem da rede na parte inferior. A Figura 5 apresenta o SLQA, ou Sistema V, em uso e a Figura 6 mostra seus componentes.

Figura 5 - Sistema Rede V em obra em Canoas-RS



Fonte: autora

Figura 6 - Componentes do Sistema Rede V



Fonte: Comitê Permanente Regional (2017)

Porém, há uma grande discussão entre construtoras e fiscalização se o Sistema V pode ou não ser utilizado sem guarda-corpo. Este é um ponto de incoerência entre a legislação brasileira e europeia. Pela NR-18 (BRASIL, 2018), o sistema V é uma substituição às plataformas de proteção secundárias, as quais são concebidas apenas com a função de capturar quedas de materiais. Assim, as plataformas secundárias são usadas em conjunto com sistema de guarda-corpo e rodapé (GcR), o qual evita a queda de pessoas.

Por outro lado, de acordo com a norma europeia, EN 1263-1 (AENOR, 2018) as redes, devido a sua capacidade de sofrer grandes deformações plásticas, teriam também a vantagem de amortecer a queda de pessoas. Ou seja, a norma espanhola permite o uso das redes sem sistema de guarda-corpo acoplado, ao passo que a legislação brasileira não. Porém, a grande incoerência é que a legislação brasileira remete à europeia quando se trata de ensaios, e os ensaios na Europa são simulando captura de pessoas.

Desta forma, algumas empresas estavam utilizando o Sistema V sem guarda-corpo, conforme Figura 5, alegando seguir a legislação espanhola, EN 1263-1 (AENOR, 2018) e EN 1263-2 (AENOR, 2016), a qual é bem mais completa que a brasileira. Porém a fiscalização vem exigindo que as empresas usem guarda-corpos metálicos em conjunto com o Sistema V. Por isso, os dois fornecedores de redes de segurança na cidade do estudo já oferecem seus sistemas de Proteção Periférica Metálica (PPM) que se adaptam ao SLQA. A Figura 7 apresenta um destes sistemas. Para tratar da carga de guarda-corpo e viabilizar proteções adequadas, são utilizadas como referência a norma europeia EN 13374 (AENOR, 2013) e a norma norte-americana OSHA 1926.501/502 (OCCUPATIONAL, 1996) para as PPMs.

Figura 7 - Esquema do sistema de Proteção Periférica Metálica com Rede V

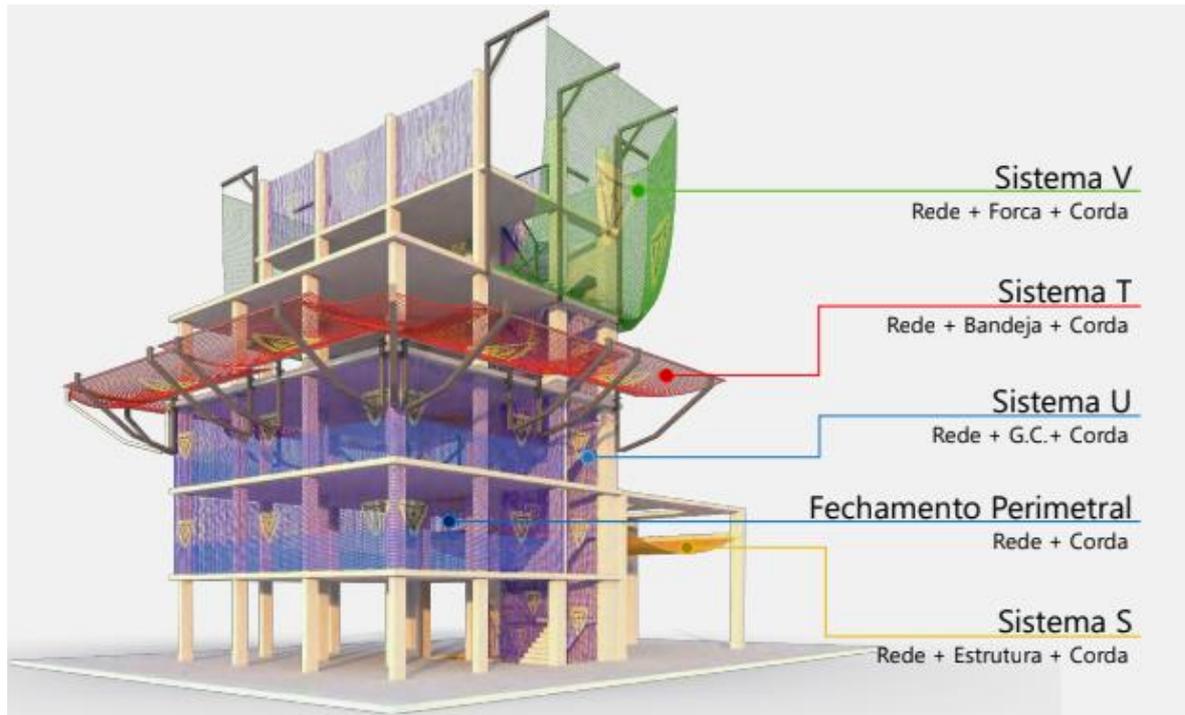


Fonte: CAPIVARI (2019)

A norma europeia EN1263-1 (AENOR, 2018), além do Sistema V, composto por rede de segurança com corda perimetral sujeita a um suporte tipo forca, distingue outros três sistemas

de redes de segurança: (i) o sistema S, rede de segurança com corda perimetral; (ii) o sistema T, rede de segurança sujeita a consoles para sua utilização horizontal e (iii) o sistema U, ou fechamento perimetral, rede de segurança sujeita a uma estrutura suporte para sua utilização vertical. A Figura 8 apresenta os quatro tipos de rede. O tipo de rede a ser utilizado depende da atividade a ser exercida.

Figura 8 - Sistemas de redes de segurança



Fonte: Dreinetz (2019)

As normas que regem o uso das redes de segurança no Brasil como sistema de proteção coletiva são a NR 18 (BRASIL, 2015), NR 35 (BRASIL, 2012) e EN1263. A norma europeia EN1263 é dividida em duas partes: a EN 1263-1 (AENOR, 2018) aborda os requisitos de segurança dos métodos de ensaios das redes de segurança ao passo que a EN 1263-2 (AENOR, 2016) aborda os requisitos de segurança para instalação das mesmas.

A NR-18 (BRASIL, 2018) especifica o diâmetro, carga de ruptura e fator de segurança das cordas, distância da projeção horizontal do SLQA, altura máxima entre a parte inferior do SLQA e a superfície de trabalho, altura mínima entre a extremidade superior da rede de segurança e a superfície de trabalho, como devem ser feitas as emendas, distância entre os pontos de ancoragem da rede e a face do edifício, distância entre cada ancoragem, distância

máxima entre os elementos de sustentação tipo forca; cordéis, distância entre nós e altura mínima das redes.

Entre os requisitos normativos a respeito das redes de segurança, destaca-se na NR-18 (BRASIL, 2018) que: os elementos de sustentação não podem ser confeccionados em madeira, e devem ser projetados de forma a evitar que as peças trabalhem folgadas, a estrutura de sustentação deve ser dimensionada por profissional legalmente habilitado, as malhas devem estar uniformes; o SLQA deve ser submetido a uma inspeção semanal, para verificação das condições de todos os seus elementos e pontos de fixação, sendo efetuadas as correções necessárias; as redes do SLQA devem ser armazenadas em local apropriado, seco e acondicionadas em recipientes adequados; assim como os elementos de sustentação do SLQA e seus acessórios devem ser armazenados em ambientes adequados e protegidos contra deterioração, que também não podem ser usados para outro fim; o projeto do SLQA deve atender a NR18 (BRASIL, 2015) e constar no PCMAT contendo detalhamento técnico descritivo das fases de montagem, deslocamento do sistema durante a evolução da obra e desmontagem, além disso, deve ser assinado por profissional legalmente habilitado; O SLQA deve ser utilizado até a conclusão dos serviços de estrutura e vedação periférica; as fases de montagem, deslocamento e desmontagem do sistema devem ser supervisionadas pelo responsável técnico pela execução da obra; é facultada a colocação de tecidos sobre a rede, que impeçam a queda de pequenos objetos, desde que prevista no projeto do SLQA. Além disso, a NR-18 (BRASIL, 2018) faz referência as Normas EN 1263-1 (AENOR, 2018) e EN 1263-2 (AENOR, 2016) no que diz respeito a testes e ensaios das redes de segurança e aos requisitos de segurança para a montagem das redes.

De acordo com a EN 1263-1 (AENOR, 2018), atenção deve ser dada ao fato de que as redes de segurança são sensíveis ao envelhecimento sob a ação dos raios UV, o que requer que elas sejam descartadas após certo tempo de uso. Esta norma apresenta valores limites para a energia de ruptura das redes determinados com base em testes comportamentais. Esses testes avaliaram o envelhecimento dos materiais mais utilizados (poliamida e polipropileno) por um período entre 6 meses e 24 meses, e também a queda de manequins e esferas articulados. A norma ainda alerta que uma rede que sofreu os efeitos da queda de uma pessoa deve ser substituída, se necessário.

A EN 1263-1 (AENOR, 2018) inicialmente traz algumas definições e apresenta a classificação e designação das redes de segurança e cordas. Além disso, traz requisitos de: fabricação, resistência à tração das cordas, capacidade de absorção de energia de uma malha de ensaio, resistência estática de uma amostra de rede e resistência dinâmica da rede de segurança para cada um dos sistemas (S, T, U e V). Há também um capítulo explicando como devem ser realizados os ensaios de carga de ruptura das cordas perimetrais, ensaio de carga de ruptura da malha da rede, ensaio de envelhecimento natural, ensaio de envelhecimento artificial, verificações das dimensões da rede, ensaio estático de resistência da rede e ensaio dinâmico da resistência da rede. Por fim são apresentados como as redes são etiquetadas, as informações que devem estar no manual de instruções, e a informação que o fabricante deve declarar estar em conformidade com a norma.

A EN 1263-2 (AENOR, 2016) traz requisitos de segurança para a instalação das redes. Cada um de seus capítulos é direcionado a um dos sistemas, S, T, U e V. Explica-se, por exemplo, como devem ser feitas a união entre redes e a instalação dos suportes.

2.1.2 Andaime fachadeiro

Os andaimes fachadeiros são estruturas provisórias que podem ser vistos de duas maneiras: (1) como plataformas para execução de trabalho em altura e (2) como sistema de proteção coletiva contra queda de altura, se houver a utilização de tela de proteção e o guarda corpo integrado em toda periferia. O equipamento é indicado para a realização de serviços de acabamento e restauros em fachadas de edifícios, e tem como principal característica dispor de painéis de largura e altura adequadas para o trânsito de pessoas e materiais por toda a fachada (MATTOS, 2015).

De acordo com Mattos (2015), existem dois tipos de andaimes fachadeiros: (a) modular: também chamado de quadros, é composto por painéis metálicos simples e/ou com escada tipo marinheiro acoplada, diagonal de travamento em X, guarda-corpo horizontal, barras de ligação, pisos metálicos e/ou elementos horizontais que servem para suportar o piso em madeira, além de escada interna com alçapão; e (b) multidirecional: composto por postes com rosetas e/ou estribos multidirecionais, travessa horizontal de travamento com engate e pinças, travessa diagonal (vertical e horizontal) com engate e pinças, piso metálico e/ou apoios para forração em piso de madeira, além da opção de escada interna. A Figura 9 mostra o andaime fachadeiro modular, o qual tem piso a cada 2m de altura, e a Figura 10 mostra o multidirecional, que devido

às rosetas presentes nos postes a cada 50cm, pode ter o piso instalado próximo ao nível da laje (a cada 3m).

Figura 9 - Andaime fachadeiro modular



Fonte: Estal (2019)

Figura 10 - Andaime fachadeiro multidirecional



Fonte: autora; ULMA (2019)

Os andaimes fachadeiros são regulamentados pela NR-18 (BRASIL, 2018), NR-35 (BRASIL, 2016), NBR 6494 (ABNT, 1990) e legislação internacional. Entre os requisitos normativos da NR-18 (BRASIL, 2018) para andaimes consta que o dimensionamento, bem como montagem dos mesmos, a qual deve ser precedida de projeto, precisam ser elaborados por profissional legalmente habilitado. Além disso, os fabricantes dos andaimes devem ser identificados e fornecer instruções técnicas por meio de manuais que contenham, dentre outras informações:

(a) especificação de materiais, dimensões e posições de ancoragens e estroncamentos; e (b) detalhes dos procedimentos sequenciais para as operações de montagem e desmontagem.

A NR-18 (BRASIL, 2018) estipula que andaimes fachadeiros não devem receber cargas superiores às especificadas pelo fabricante; sua carga deve ser distribuída de modo uniforme, sem obstruir a circulação de pessoas e ser limitada pela resistência da forração da plataforma de trabalho. Além disso, os acessos verticais ao andaime fachadeiro devem ser feitos em escada incorporada a sua própria estrutura ou por meio de torre de acesso. Quanto a movimentação vertical de componentes e acessórios para a montagem e/ou desmontagem de andaime fachadeiro, esta deve ser feita por meio de cordas ou por sistema próprio de içamento. Os montantes, painéis, peças de contraventamento do andaime fachadeiro devem ter seus encaixes travados com parafusos, contrapinos, braçadeiras ou similar, assegurando a estabilidade e a rigidez necessárias ao andaime. Os andaimes fachadeiros devem ser externamente cobertos por tela de material que apresente resistência mecânica condizente com os trabalhos e que impeça a queda de objetos.

A NBR 6494 (ABNT, 1990), norma de segurança dos andaimes, se aplica a andaimes utilizados durante a obra de empreendimentos verticais ou durante reformas, reparos, pintura e acabamento de edificações já existentes. Esta norma traz condições gerais a serem observadas sobre o projeto e construção, segurança e proteção na montagem e segurança na utilização dos andaimes. Além disso, traz condições para cada tipo de andaime, mas não aborda os andaimes fachadeiros especificamente.

A legislação internacional que rege os andaimes fachadeiros contempla alguns temas ainda não presentes nas normas nacionais. É composta pelas normas europeias EN 12810 (AENOR, 2005), dividida em duas partes, e EN 12811 (AENOR, 2005), em quatro partes, e também pela OSHA 3146/1998. A EN 12810 (AENOR, 2005) trata de andaimes fachadeiros de componentes pré-fabricados, sendo que a primeira parte se refere a especificações do produto, ao passo que a segunda parte é sobre métodos particulares do projeto estrutural. A EN 12811 (AENOR, 2005) refere-se a equipamentos de trabalho temporário, e está dividida em: (1) Andaimes – requisitos de desempenho e projeto geral, (2) informações sobre materiais, (3) teste de carga e (4) plataformas de proteção para andaimes.

Diferentes trabalhos têm buscado avaliar os andaimes fachadeiros. Por exemplo, Rubio-Romero, Gámez e Carrillo-Castrillo (2013) fornecem uma avaliação qualitativa das condições

de segurança de escoramentos, ancoragem, guarda-corpos, escadas, travessas, plataformas, suportes, etc. A análise contempla aspectos técnicos, tais como se os componentes avaliados estão em boas condições e se foram bem instalados. Cutlip et al. (2000) investigaram técnicas ergonomicamente inadequadas na desmontagem de andaimes. E Halperin e McCann (2004) avaliaram técnicas comuns de segurança para os andaimes quantitativamente, entre os principais resultados, os autores apontaram que mais de 30% dos andaimes avaliados estavam em risco de colapso ou faltavam tábuas, grades de proteção ou acesso adequado.

2.1.3 Escolha de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura

Planejar a segurança é o primeiro passo fundamental para gerenciar a segurança (ZHANG et al., 2011). Este planejamento envolve a escolha das soluções a serem adotadas no canteiro de obras para torná-lo mais seguro. Embora as legislações e as melhores práticas de cada empresa auxiliem o processo de tomada de decisão dos gestores de segurança na construção, a segurança se estende além da aplicação e adoção de regras (ZHANG et al., 2011). Assim, a escolha deve passar por diferentes pontos.

Segundo Cameron, Gillan e Duff (2007), a principal consideração na seleção de equipamentos para detenção ou prevenção de quedas deve ser sempre a segurança do pessoal do canteiro de obras e do público geral. No entanto, o impacto no tempo, custo e qualidade do trabalho também devem ser considerados. Os referidos autores discutem algumas questões a serem consideradas no processo de escolha, tais como: a hierarquia da segurança; orientação legislativa; estética; interação com a estrutura; impacto nas operações da obra; planejamento; recursos adicionais; avaliação de risco; resgate de vítimas de quedas; manutenção ou renovação; idioma (quando os trabalhadores são estrangeiros) e custos.

Além da segurança dos trabalhadores no canteiro de obras, a segurança durante a montagem e desmontagem dos SPCQA também deve ser considerada. Martins (2004) aponta que alguns equipamentos de segurança, como a plataforma de limitação de quedas de materiais, tornam-se inseguros durante a desmobilização dependendo do processo construtivo e dos componentes do sistema de proteção adotados.

A fim de reduzir os acidentes na construção civil, as normas regulamentadoras fazem algumas exigências ao setor. A NR 18 (BRASIL, 2015) determina que a especificação técnica dos SPCQA e o projeto de execução das mesmas devem estar em conformidade com as etapas de

execução da obra. Desta forma, entende-se que a escolha dos SPCQA também deve ser baseada em como as proteções serão executadas e nas interações com as demais etapas da obra.

Além disso, a manutenção dos SPCQA também é um ponto importante a ser considerado na escolha. A manutenção assegura a eficácia das instalações. Não é incomum serem encontrados danos em uma proteção coletiva, por exemplo, quando constituída por folhas ou sarrafos de madeira, devido à retirada de parte de seus componentes para outra aplicação (CBIC, 2017).

A escolha também deve levar em consideração a logística dos elementos do SPCQA desde a entrega pelo fornecedor até o uso na obra e devolução, em caso de peças alugadas. As redes de segurança, por exemplo, são importadas da Espanha, e produzidas por encomenda para cada obra. Analogamente ao que acontece com elementos pré-fabricados, como apontam Čuš-Babič et al. (2014), podem ocorrer atrasos com custos onerosos no canteiro de obras se a fábrica não fornecer os componentes a tempo.

Ademais, a logística das peças do SPCQA dentro do canteiro deve ser bem pensada. De acordo com Čuš-Babič et al. (2014), a entrega antecipada de elementos pré-fabricados na obra aumenta os custos de estoque, torna a manipulação de materiais no local mais complexa, além de afetar outros empreendimentos abastecidos pelo mesmo fornecedor.

A seleção do SPCQA mais apropriado deve resultar também de uma avaliação de risco, pois realizar uma tarefa com equipamento inadequado pode introduzir riscos adicionais e ainda maiores (HSE, 2004). O HSE (2004) aponta que ao planejar um sistema seguro, o gestor deve considerar algumas questões o mais cedo possível no estágio de planejamento. São elas:

- A natureza do local de trabalho - sua forma, estrutura, geometria e materiais;
- O trabalhador - tamanho, ergonomia, movimentos a serem feitos, posturas a serem adotadas;
- A tarefa - quaisquer riscos especiais atribuíveis, amplitude de movimento necessária, espaço necessário e duração;
- Ambiente - clima;
- Características e limitações do equipamento – materiais e operação;
- Requisitos legais e de normas

O custo também é sempre uma consideração. Cameron, Gillan e Duff (2007) indicam que custo deve envolver o fornecimento (compra, aluguel ou parte de um pacote de trabalho subcontratado) e custos adicionais (instalação, armazenamento, transporte, inspeção, manutenção, impacto na produtividade, treinamento, supervisão, desmontagem e remoção).

Peñaloza, Saurin e Formoso (2017) demonstram que questões como “*Quem são os clientes?*” e “*Como identificar e classificar seus requisitos?*”, provenientes da Gestão de Requisitos, auxiliam escolher equipamentos de segurança. No caso dos SPCQA, os principais clientes são os montadores do sistema, os demais trabalhadores da obra que serão protegidos pelo mesmo, além dos órgãos governamentais de fiscalização das condições de trabalho, sindicatos de trabalhadores e a sociedade como um todo, uma vez que os custos dos acidentes são absorvidos em parte pela Previdência Social (PEÑALOZA; SAURIN; FORMOSO, 2017).

2.2 CHOOSING BY ADVANTAGES (CBA)

Para auxiliar processos de escolhas, existem diferentes abordagens conhecidas como métodos de Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios (MCDM). Entre eles estão o *Analytical Hierarchy Process* (AHP), o *Weighting Rating and Calculating* (WRC) e o *Choosing By Advantages* (CBA). Diferentes estudos compararam estes métodos e apresentaram os benefícios do CBA sobre os demais (ARROYO et al., 2014; SCHÖTTLE; ARROYO, 2017).

O CBA é um método emergente que tem sido aplicado com sucesso em muitos empreendimentos da arquitetura, engenharia e construção civil na prática atualmente (ARROYO; MOLINOS-SENANTE, 2018). Por este método, as decisões baseiam-se na importância das vantagens, não em vantagens e desvantagens, evitando a dupla contagem de fatores (SUHR, 1999). Assim, o CBA permite tomar decisões com clareza e transparência (SUHR, 1999).

Para entender sua sistemática, devem ser compreendidos alguns termos (SUHR, 1999): alternativas, fator, critério, atributo e vantagem. A seguir os mesmos são explicados com exemplos adaptados de Suhr (1999) para a escolha de uma canoa. Este é um exemplo simples que o autor traz apenas para que o tomador de decisão se familiarize com os elementos do método proposto.

- Alternativas: são duas ou mais coisas, das quais uma deve ser escolhida. Por exemplo, na escolha de uma canoa, as alternativas poderiam ser a canoa C e a canoa K.
- Fator: um elemento, parte ou componente de uma decisão. Por exemplo, o peso, a estabilidade, a cor e o acabamento das canoas. Ressalta-se que no CBA o custo é tratado separadamente dos demais fatores.
- Critério: uma regra de decisão ou diretriz. Pode ser obrigatório ou desejável. Geralmente, um critério obrigatório representa uma condição que elimina uma alternativa de consideração se essa alternativa não a atender, e um critério desejável representa as preferências de um ou de múltiplos tomadores de decisão. Por exemplo, para o fator *peso da canoa*, um critério obrigatório seria *peso máximo de 40 kg*, ao passo que um critério desejável seria *mais leve é melhor*.
- Atributo: uma característica, qualidade ou consequência de *uma* alternativa. Por exemplo, para o fator *peso da canoa*, o atributo da canoa C seria 20 kg e da canoa K, 35 kg.
- Vantagem: um benefício, ganho ou melhoria. É uma diferença benéfica entre os atributos de *duas* alternativas. Por exemplo, para o peso da canoa, a vantagem da canoa K em relação a C seria de 15 kg.

A Figura 11 ilustra o exemplo da escolha da canoa. No CBA as perguntas mais importantes são “Quão grande são as vantagens de cada alternativa?” e “Quão importante são as vantagens de cada alternativa?” Desta forma, no exemplo da canoa, talvez a estabilidade fosse algo mais importante que o peso quando comparados os dois fatores sem conhecer os atributos e as vantagens de cada alternativa. Porém, ao saber que a canoa C é muito mais leve, ao passo que a canoa K é apenas levemente mais estável, a vantagem relativa ao peso acaba ganhando mais importância.

Figura 11 - Exemplo do CBA para escolha de uma canoa

FATORES critérios	CANOAC	CANOAK
PESO <40 kg; mais leve melhor	20 kg 15kg mais leve 100	35 kg
ESTABI- LIDADE mais estável melhor	ESTÁVEL	ESTÁVEL Levemente + estável 30
...		
Σ importâncias das vantagens	Σ	Σ

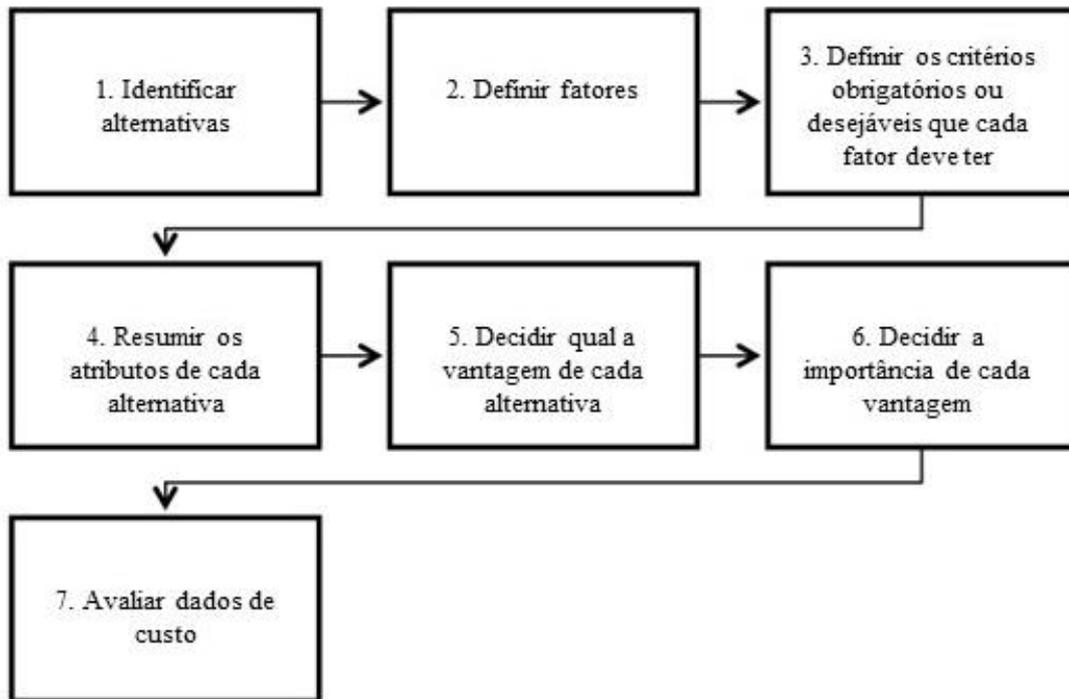
Fonte: adaptado de SUHR (1999)

Arroyo (2014) resumiu o CBA nos sete passos descritos a seguir e representados na Figura 12. No 1º passo, os participantes identificam as alternativas que serão comparadas. No 2º passo, eles definem fatores para avaliar atributos das alternativas. No 3º passo, os participantes precisam entrar em acordo a respeito dos critérios para cada fator. No 4º passo, os participantes resumem os atributos de cada alternativa. No 5º passo, eles decidem as vantagens de cada alternativa.

No 6º passo eles decidem a importância de cada vantagem. Os participantes devem explicitamente dizer suas preferências para as vantagens. Neste passo, seleciona-se a vantagem primordial, a mais importante, e essa recebe 100 pontos de importância. A vantagem primordial é usada como um ponto de referência a ser comparado com as outras vantagens. Não se assume que as vantagens sejam independentes. Portanto, vantagens semelhantes podem ser agrupadas ou uma vantagem pode ser atribuída à importância zero se as partes interessadas estimarem que ela não fornece nenhum "valor" adicional. Quando todas as vantagens estiverem com sua importância pontuada, somam-se os pontos para cada alternativa.

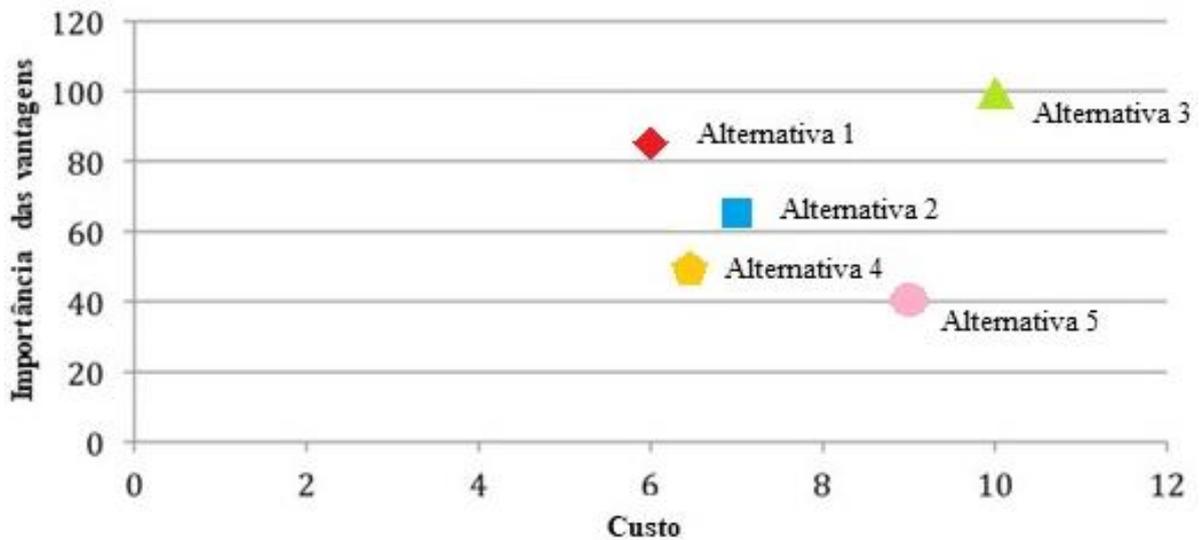
Finalmente, os participantes avaliam os dados de custo no 7º passo. O somatório das importâncias das vantagens de cada alternativa é plotado no eixo das ordenadas de um gráfico que apresenta o custo de cada alternativa no eixo das abscissas. Desta forma o gráfico, como o da Figura 13, apresenta um ponto para cada alternativa, comparando sua importância das vantagens com o custo.

Figura 12 - 7 passos do CBA



Fonte: Arroyo (2014)

Figura 13 - Gráfico importância das vantagens X custo



Fonte: Arroyo (2014)

Na Figura 13, por exemplo, Arroyo (2014) explica que se o projeto tiver um orçamento de 8, a equipe escolherá a alternativa 1, pois é a que tem mais pontuação de importância de vantagens por um custo menor em comparação com as alternativas 2, 4 e 5. Neste caso, a alternativa 3

tem mais pontos do que a alternativa 1, porém não está sob o custo do orçamento. Desta forma, a equipe de projeto deve analisar se vale a pena gastar dinheiro extra para obter a alternativa mais vantajosa.

Arroyo (2014) ainda explica que este processo é altamente colaborativo, de forma que a equipe de projeto deve estar envolvida em todas as etapas e considerar as interações entre os diferentes sistemas da obra. Por fim, deve haver uma fase de reconsideração (SUHR, 1999), na qual os participantes reexaminam a seleção como um todo. Esta revisão holística pode levantar questões como "Existem alternativas adicionais que devem ser consideradas?" ou "A pontuação de importância representa com precisão o ponto de vista dos participantes?" (ARROYO, 2014).

Nos últimos cinco anos o CBA tem sido aplicado para diversos tipos de escolha dentro da indústria da arquitetura, engenharia e construção, evoluindo para decisões cada vez mais complexas. Por exemplo, destaca-se o trabalho de Arroyo e Molinos-Senante (2018) que utilizou o CBA para a escolha sustentável de tecnologia para o tratamento de águas residuais. As autoras dizem se tratar se uma tarefa complexa por integrar critérios econômicos, ambientais, sociais e técnicos, os quais são interligados e conflitantes. Mesmo assim, o CBA se mostrou uma boa abordagem, por ser estruturado e lógico. A Figura 14 apresenta um resumo desta escolha.

Figura 14 - Seleção de tecnologia para tratamento de águas residuais com o CBA



Fonte: Arroyo e Molinos-Senante (2018)

2.3 A VISÃO DA COMPLEXIDADE

A visão da complexidade tem sido usada em diferentes disciplinas e contextos com várias propostas de definição e mensuração. Diversos autores, como Perrow (1984), Cilliers (1998), Snowden e Boone (2007), Vesterby (2008) e Hollnagel (2012), têm apresentado suas visões acerca de quais são as características dos sistemas complexos. A seguir, são discutidas as principais características destes sistemas, além de conceitos, classificações e métricas importantes para o desenvolvimento deste trabalho que surgem da literatura da complexidade.

Sistemas complexos são formados por muitas partes, mas isso só se torna uma característica da complexidade se os elementos estiverem interagindo dinamicamente, o que significa que o sistema está mudando com o tempo (CILLIERS, 1998; WILLIAMS, 1999; SNOWDEN E BOONE, 2007; VESTERBY, 2008). As interações possuem características peculiares (CILLIERS, 1998): são dinâmicas, não lineares, têm um alcance razoavelmente curto e possuem loops, o que significa que o efeito de qualquer atividade pode acabar por afetá-la, às vezes diretamente, às vezes depois de vários estágios. Siemieniuch e Sinclair (2002) definem complexidade como as interações entre as entidades de uma organização que resultam em comportamentos imprevisíveis.

O comportamento imprevisível dos sistemas complexos é outra de suas principais características. Nos sistemas complexos há incertezas nas tomadas de decisão (WOODS; HOLLNAGEL, 2006), os agentes tendem a saber pouco sobre o comportamento do sistema como um todo e, assim, seu impulso natural é tomar decisões com base nas informações disponíveis localmente (CILLIERS, 1998). Além disso, o sistema interage com o ambiente em que está inserido (CILLIERS, 1998). Essas duas características, somadas às interações entre os diferentes elementos dos sistemas, geram uma variabilidade não antecipada.

A variabilidade não antecipada pode se manifestar em forma de fenômenos emergentes (SAURIN; SOSA, 2013), como por exemplo, os acidentes (GUASTELLO, 2007). Um fenômeno emergente surge das interações entre os elementos, independentemente de qualquer controle ou projeto (SAURIN; SOSA, 2013). Desta forma, em fenômenos emergentes, o todo é mais do que a soma de seus elementos (CHECKLAND, 1999).

Em estudos relacionados à segurança, a complexidade tem sido abordada para auxiliar na compreensão de acidentes sistêmicos (PERROW, 1984). Essa teoria assume que os acidentes envolvem a interação não antecipada de uma infinidade de eventos em um sistema complexo

em vez de ver os acidentes como resultado de falhas de componentes. Para Perrow (1984), quanto mais complexo é um sistema, mais vulnerável esse será para a ocorrência de acidentes.

A visão da complexidade enfatiza as interações entre as partes, a imprevisibilidade, considera diferentes percepções da realidade, e, nela, relações de causa e efeito são uma construção social, ou seja, sucesso e fracasso tem as mesmas fontes (DEKKER, 2011). Isso se contrapõe a tradicional visão Newtoniana-Cartesiana, uma visão reducionista em que o todo pode ser dividido em partes e causas ruins geram efeitos ruins (DEKKER, 2011). Um exemplo de estudo com a visão reducionista é o de Goh e Wang (2015), os quais analisaram 11 projetos de linhas de vida em Singapura e concluíram que todos eram inadequados, fornecendo uma falsa sensação de segurança para seus usuários. Nesse caso, a visão sistêmica é menos importante e uma sequência bastante linear, envolvendo relações claras de causa e efeito, pode fornecer uma explicação precisa dos eventos que podem levar a um acidente (PERROW, 1984).

Na construção civil, Saurin (2016) explica que, por um lado, a procura por componentes com defeitos (visão reducionista) é necessária, pois falhas mecânicas em equipamentos de segurança críticos podem gerar efeitos catastróficos, por exemplo a falha em um ponto de ancoragem para um talabarte. Por outro lado, o mesmo autor aponta que supervalorizar a busca por peças quebradas tem eficácia limitada, já que um grande canteiro de obras pode ter milhares de peças sujeitas ao colapso e esse foco desviaria a atenção dos acidentes que podem ocorrer por interações inesperadas, os quais não necessariamente envolvem as partes quebradas (visão sistêmica).

Além disso, na gestão da segurança, em termos acadêmicos, o emprego da perspectiva da complexidade está fortemente associado ao recente desenvolvimento da Engenharia de Resiliência (ER) (RIGHI, 2014). A ER visa melhorar a capacidade de um sistema complexo adaptar-se ou absorver perturbações e mudanças (WOODS; HOLLNAGEL, 2006). Similarmente, a resiliência é a capacidade dos sistemas em ajustar o seu funcionamento antes, durante, ou após alterações e perturbações, de modo que o sistema possa manter as operações necessárias em condições esperadas e inesperadas (HOLLNAGEL et al., 2011). Para obter-se a resiliência, quatro potenciais foram propostos por Hollnagel (2009): responder, monitorar, aprender e antecipar. Assim, a resiliência constitui-se como uma característica fundamental para compensar a variabilidade existente (SAURIN; SOSA, 2013).

A partir de uma revisão bibliográfica comparando 15 estudos, Saurin e Sosa (2013) compilaram características da complexidade em quatro categorias: (1) grande diversidade de elementos; (2) grande número de elementos que interagem dinamicamente; (3) variabilidade não antecipada e (4) resiliência. As três últimas categorias foram brevemente discutidas anteriormente, já a *grande diversidade de elementos* refere-se ao número de categorias de um sistema, como níveis hierárquicos, tarefas, especializações, tipos de equipamentos, ferramentas e materiais (SAURIN; SOSA, 2013; VESTERBY, 2008; WILLIAMS, 1999).

Além das principais características dos sistemas complexos, outra definição importante é a diferença entre esses e os sistemas complicados. Elmaraghy et al. (2012) explicam que um sistema ou produto complicado é compreensível, mas não de uma maneira fácil. Dekker (2011) adiciona que nos sistemas complicados há um limite claro em que o sistema termina e seu ambiente começa. Embora os sistemas complicados tenham muitas partes, esses sistemas seguem regras predefinidas, como por exemplo um software computacional (DEKKER, 2011).

Em contrapartida, um sistema complexo é aquele em que a incerteza existe (ELMARAGHY et al., 2012). Desta forma, o sistema complexo não pode ser totalmente descrito e modelado matematicamente, e seu comportamento é imprevisível até certo ponto (DEKKER, 2011). Elmaraghy et al. (2012) argumentam que o que é complicado para uma pessoa, pode ser complexo para outra com menos conhecimento ou menos ferramentas tecnológicas.

Os sistemas complicados e complexos também são diferenciados dos sistemas caóticos. Os sistemas caóticos são os difíceis de gerenciar e controlar, sendo que sua previsão a longo prazo é geralmente impossível (ELMARAGHY et al., 2012). Snowden e Boone (2007) diferenciam contextos simples, complicados, complexos e caóticos através do *Cynefin framework*, oferecendo exemplos e sugestões sobre como liderar e tomar decisões apropriadas em cada um deles.

Outra definição importante na literatura da complexidade, é o conceito de sistema sociotécnico. De acordo com Hendrick e Kleiner (2001), um sistema sociotécnico é composto por quatro subsistemas: técnico, social, organização do trabalho e ambiente externo, os quais interagem entre si e não têm limites rigidamente definidos. Os sistemas sociotécnicos complexos são uma classe particular de sistemas complexos compostos por pessoas e tecnologia interagindo a fim de produzir um determinado resultado (SOLIMAN; SAURIN, 2017). A Figura 15 apresenta

exemplos de como os atributos da complexidade podem estar presentes nos sistemas sociotécnicos.

Figura 15 - Atributos da complexidade e exemplos em sistemas sociotécnicos

Atributos	Exemplos
Grande número de elementos	Equipamentos, pessoas, materiais, setores, departamentos, tipo de negócio
Interações dinâmicas	Troca de informação entre pessoas, interações químicas entre materiais
Interações ricas	Agentes únicos interconectados com inúmeros clientes, fornecedores, colegas e terceiros trocando grande número de informações
Interações não-lineares	Pequena variação no produto de uma operação (ex. um pequeno defeito) pode causar uma grande interferência (ex. um recall)
Interações com vizinhos imediatos	Em linhas de produção, estações de trabalho interagem principalmente com a atividade anterior e posterior
Feedback loops	Um aumento nas vendas (ex. liquidação) pode saturar o mercado rapidamente e causar diminuição de vendas no próximo período
Abertura	Sistemas sociotécnicos estão sujeitos à variabilidade externa como o contexto político e macroeconômico
Operações longe do equilíbrio	Oferta e demanda estão oscilando, portanto o sistema está sempre se adaptando para manter as operações
Sistemas complexos têm uma história	A maneira que o sistema é conduzido atualmente é devido às experiências prévias e a superação de desafios no passado
Desconhecimento do comportamento do sistema como um todo	Operadores da linha de frente não estão cientes do impacto do seu trabalho nos demais setores e no desempenho geral da fábrica

Fonte: Soliman e Saurin (2017); Cilliers (1998)

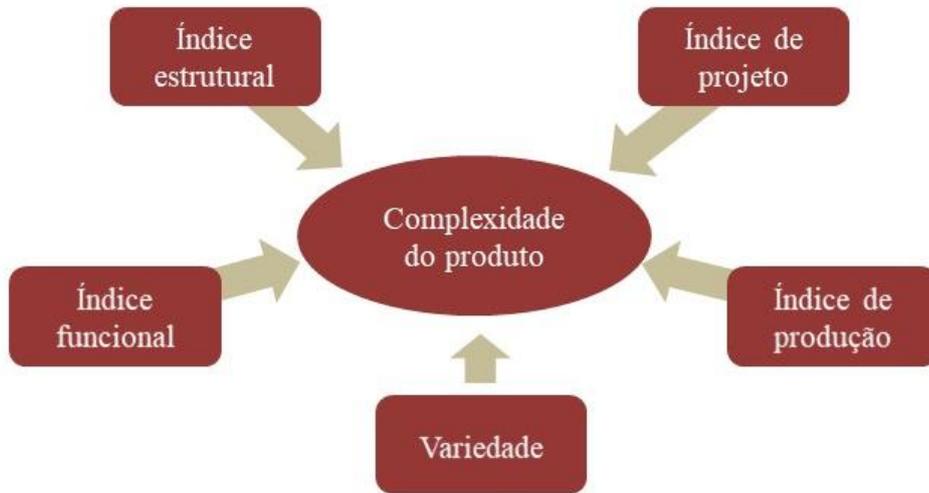
Devido a dinamicidade do ambiente de trabalho sociotécnicos complexo, a literatura separa o trabalho imaginado (*work-as-imagined*) do trabalho real (*work-as-done*). O trabalho imaginado são as regras que ditam como o trabalho deve ser realizado, essas, porém, podem acabar sendo

irrelevantes ou impossíveis de serem seguidas uma vez que procedimentos não podem antecipar todas as possíveis situações de um ambiente de trabalho complexo (SOLIMAN; SAURIN, 2018). Como consequência, as pessoas dentro de sistemas sociotécnicos complexos estão sempre ajustando seus desempenhos individuais a fim de compensar a escassez de recursos ou evitar consequências indesejáveis ao indivíduo ou à empresa, a isso chama-se de trabalho real (HOLLNAGEL, 2015).

Além disso, existem algumas classificações para a complexidade importantes para este trabalho. Elmaraghy et al. (2012) classificaram a complexidade no domínio físico e no domínio funcional. Segundo estes autores, no domínio físico, a complexidade pode ser estática ou dinâmica. Sendo a estática definida como a quantidade esperada de informações necessárias para descrever o estado de um sistema projetado. Já a complexidade dinâmica é a quantidade esperada de informações necessárias para descrever o estado de um sistema que se desvia do desempenho de projeto devido à incerteza. No domínio funcional, os autores classificam a complexidade como dependente ou não dependente do tempo.

Maraghy e Urbanic (2004) classificaram a complexidade na manufatura em complexidade do produto, complexidade do processo e complexidade operacional. Orfi, Terpenney e Sahin-sariisik (2011) apresentam cinco dimensões para a complexidade do produto conforme a Figura 16. Resumidamente, essas incluem: (a) variedade: de produtos, componentes e processos; (b) índice funcional: número de requisitos funcionais, sensibilidade do cliente, tolerância; (c) índice estrutural: número de componentes, estágio em que o componente é produzido e grau de interconectividade; (d) índice de projeto: nível de acoplamento, de controle e grau de novidades; e (e) índice de produção: número e tipo de sequências ou caminhos de produção e volume a ser produzido. Estabelecer dimensões é um primeiro passo essencial no desenvolvimento de uma métrica de complexidade do produto, para ser usada como uma ferramenta de suporte a fim de melhorar o projeto do produto e gerenciar sistematicamente sua complexidade (ORFI; TERPENNEY; SAHIN-SARIISIK, 2011; SAMY; ELMARAGHY, 2012).

Figura 16 - Dimensões da complexidade do produto



Fonte: Orfi, Terpenney e Sahin-sariisik (2011)

Na manufatura, a complexidade do produto traz dificuldades na operação e supervisão dos sistemas de montagem, impactando negativamente no desempenho em termos de qualidade, custo e produtividade (SAMMY; ELMARAGHY, 2012). Diante disso, os métodos de *design for manufacturing* (DFM) foram desenvolvidos para permitir uma comparação simples de projetos alternativos e assim reduzir a complexidade e o custo de fabricação (POLI, 2001). As dificuldades e custos associados à fabricação de peças complexas estão diretamente relacionados com o número de tipos de processos de fabricação necessários, o número de faces que requerem cada tratamento de fabricação e o número de mudanças de ferramentas ou orientação necessárias durante cada fase da fabricação (ELMARAGHY et al., 2012).

Similarmente, os métodos do *design for assembly* (DFA) buscam facilitar a montagem dos produtos. A mensuração da complexidade da montagem orienta projetistas na criação de um novo produto, bem como auxilia projetistas de sistemas a racionalizar a escolha de processos, seqüências, equipamentos e layouts de sistema (SAMMY; ELMARAGHY, 2010). Muitos pesquisadores têm buscado medir a complexidade da montagem, entre eles Sturges e Kilani (1992), Braha e Maimon (1998) e Samy e ElMaraghy (2012). Para estes últimos, a complexidade da montagem é responsável pela maior parte da complexidade do próprio produto e pode ser dividida em complexidade estrutural (como interface e interações de componentes) e complexidade de seqüência de montagem.

Além das propostas de DFM e DFA, diversos trabalhos têm apresentado métricas para a complexidade de sistemas e produtos. No que se refere ao gerenciamento de empreendimentos de engenharia, destaca-se a proposta de Bosch-Rekvelde et al. (2011), os quais apresentam o *framework* TOE (*Technical, Organizational, and Environmental*) para caracterizar a complexidade. Este framework apresenta os elementos que contribuem para a complexidade dos empreendimentos, tanto do ponto de vista teórico quanto prático.

Vesterby (2008) aponta os principais problemas que geralmente ocorrem em tentativas de medir a complexidade: (1) a mensuração de constructos abstratos que não têm uma realidade física correspondente; (2) a mensuração de fatores relacionados à complexidade, mas não realmente intrínsecos a ela; (3) o desenvolvimento de medidas aplicáveis a um estágio simples de complexidade que não podem ser transferidas para outras situações mais complexas; (4) o desenvolvimento de medidas aplicáveis a um ramo particular da ciência ou a um campo de pesquisa limitado, as quais não podem ser transferidas para outras situações complexas; (5) o predomínio de uma ferramenta de pesquisa sobre a natureza intrínseca da complexidade, de forma que o que é medido é mais um aspecto da ferramenta do que a complexidade do sistema analisado; (6) o uso de apenas dados quantitativos, ignorando a análise qualitativa; e (7) o uso de pouca análise quantitativa e qualitativa.

Na construção civil, a visão da complexidade tem sido utilizada principalmente para caracterizar empreendimentos como sistemas sociotécnicos complexos e, conhecendo seu comportamento, melhor gerenciá-los. Wijesundera, Olomolaiye e Harris (1991) e AbouRizk, Halpin e Wilson (1994) afirmam que a construção civil está exposta a interrupções e flutuações em seus processos. Gidado (1996) ilustra quatro causas para a incerteza na execução de processos da construção: (a) falta de especificação completa para as atividades a serem executadas; (b) falta de familiaridade dos gerentes com os recursos e/ou ambiente; (c) falta de uniformidade do trabalho já que os materiais e equipes variam de obra para obra; e (d) imprevisibilidade do ambiente, como intempéries.

Um canteiro de obra pode ser descrito como um espaço em que múltiplos recursos estão envolvidos na realização de tarefas, como a mão de obra, os equipamentos e os materiais (LIN; YNG; WENG, 2005). Na percepção de Gidado (1996), três fatores estão relacionados à interdependência na construção civil: (a) o número de tecnologias e a interdependência entre

elas; (b) a rigidez da sequência entre as várias operações; e (c) a sobreposição de etapas ou elementos da construção.

Em comparação com os sistemas complexos de alto risco (por exemplo, usinas nucleares e aviação), a construção civil envolve acidentes mais frequentes, porém em menor escala, com muitas e diversas fontes de risco (MITROPOULOS; CUPIDO, 2009). O trabalho para construir um empreendimento envolve um grande número de processos de trabalho que precisam se adaptar aos requisitos e contexto específicos do projeto (MITROPOULOS; CUPIDO, 2009). Esse ambiente dinâmico com constante mudança no processo de trabalho e riscos é, segundo Scharf et al. (2001), a característica chave que os ambientes de trabalho mais perigosos compartilham.

Além disso, Gidado (1996) propõem que, na construção civil, a complexidade pode ser útil por duas perspectivas principais: (a) gerencial, a fim de planejar diferentes atividades conjuntamente para compor um fluxo de trabalho; e (b) a operacional e tecnológica, a qual envolve a complexidade técnica ou dificuldades de execução dos processos individualmente devido aos recursos utilizados ou ao próprio ambiente em que o trabalho é realizado. Essa proposta é semelhante a de Baccarini (1996) que indentificou os principais atributos da complexidade em empreendimentos: a complexidade oragnizacional, que diz que um empreendimento é uma tarefa contendo muitos elementos interdependentes; e a complexidade técnica, a qual lida com os processos de transformação.

Enfim, ressalta-se a dificuldade em conceituar complexidade, bem como mensurá-la (WILLIAMS, 1999). Para este trabalho, adota-se a definição do constructo complexidade como uma perspectiva de modelagem e descrição de sistemas composta por uma série de variáveis: a variabilidade, a incerteza, a interdependência e a resiliência. Os sistemas sociotécnicos complexos, por sua vez, são vistos como sistemas compostos por pessoas e tecnologia interagindo a fim de produzir um determinado resultado. Seus elementos são muitos e em grande diversidade, as interações são dinâmicas e não lineares, resultando em variabilidade não antecipada, a qual pode se manifestar na forma de fenômenos emergentes como os acidentes; além disso interagem com o ambiente que estão inseridos.

Ademais, considera-se para o desenvolvimento desta pesquisa que a complexidade pode ser classificada em estrutural ou funcional. A complexidade estrutural é estática, uma complexidade independente do tempo devido à estrutura do sistema. Ao passo que a

complexidade funcional é dinâmica, que depende do tempo e lida com o comportamento operacional do sistema. Também se classifica a complexidade entre complexidade do produto SPCQA, do ambiente canteiro de obras ou do ambiente externo à empresa e à obra.

Considera-se que o SPCQA em si é complicado, um sistema puramente técnico. Porém, em uso passa a fazer parte de um sistema sócio técnico complexo: o empreendimento. Desta forma, no decorrer deste trabalho descrevem-se os SPCQA dentro da obra por essa perspectiva.

3 MÉTODO

Este capítulo apresenta o método que será seguido para o desenvolvimento desta pesquisa, incluindo a estratégia de pesquisa, o delineamento da pesquisa e etapas específicas deste trabalho.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

De acordo com Van Aken (2004), há três diferentes categorias que uma pesquisa científica pode pertencer: (a) a ciência formal, que tem por objetivo a construção de proposições para validar sua consistência lógica interna, como a filosofia e a matemática; (b) a ciência explicativa, que procura descrever, explicar e prever fenômenos observáveis, como as ciências naturais e a maior parte das ciências sociais; e (c) a *Design Science Research*, como ciências médicas e engenharias, que é a estratégia escolhida para esta pesquisa.

A *Design Science Research* (DSR) busca propor construções inovadoras, denominadas artefatos. Um artefato tem como objetivo solucionar um problema do mundo real, ao mesmo tempo em que busca o avanço do conhecimento teórico (LUKKA, 2003). Desta forma, a DSR possui como característica o caráter prescritivo (VAN AKEN, 2004).

Para March e Smith (1995), a DSR pode apresentar os seguintes produtos ou artefatos: constructos, modelos, métodos e implementações (*instantiations*). Os autores explicam que constructos são conceitos que apresentam conhecimento e linguagem específica para descrever um problema e especificar soluções. Os modelos, por sua vez, são um conjunto de proposições que estabelecem uma relação entre constructos. Os métodos são um conjunto de passos para desempenhar uma atividade. Por fim, a *instantiation* é a implementação de um artefato em seu ambiente (MARCH; SMITH, 1995).

Esta pesquisa tem caráter prescritivo, pois não se contenta em apenas descrever um problema, mas se propõe a solucioná-lo através da criação de um artefato. Neste trabalho é proposto um *método* para escolha de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura (SPCQA) desenvolvido com a perspectiva da complexidade. O método proposto contempla um conjunto de fatores para avaliação dos SPCQA. Além da concepção do artefato, esta pesquisa busca

testá-lo, através de *implementações*, a fim de verificar se o problema foi resolvido. Este trabalho ainda propõe um *modelo* das interações existentes entre os SPCQA e o empreendimento.

Outra característica importante da DSR é o envolvimento do pesquisador com os participantes no campo em que o artefato é testado (HOLMSTRÖM; KETOKIVI; HAMERI, 2009). Para Lukka (2003), este envolvimento propicia um aprendizado baseado na experimentação. Para isso, nesta pesquisa, há uma cooperação entre a pesquisadora e as empresas envolvidas, de modo que os dois lados saem ganhando.

O propósito deste trabalho está claramente alinhado com a DSR. Por um lado, busca-se, através da construção e avaliação do artefato, contribuir de forma prática para o processo de escolha de SPCQA, o qual é dificultado pela complexidade das interações envolvendo as próprias proteções e o empreendimento. Por outro lado, procura-se desenvolver conhecimento teórico de forma a contribuir com a escolha de SPCQ, bem como contribuir com a teoria da complexidade aplicada na construção civil e na gestão da segurança.

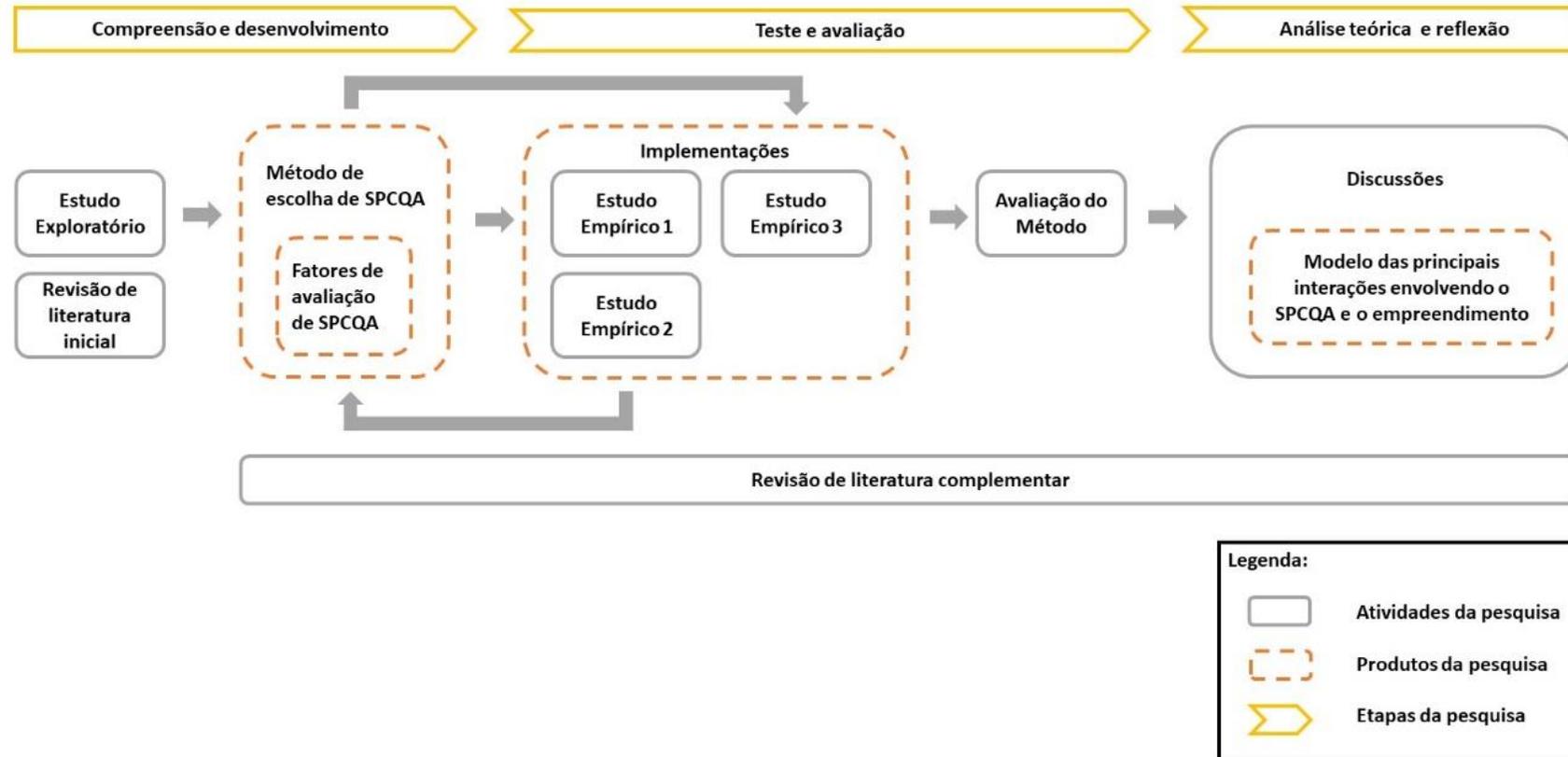
3.2 DELINEAMENTO

Para delinear esta pesquisa, adota-se o processo típico da pesquisa construtiva proposto por Lukka (2003):

1. Encontrar um problema de relevância prática e com potencial para contribuições teóricas.
2. Examinar o potencial de cooperação de pesquisa a longo prazo com as organizações alvo.
3. Obter uma compreensão profunda da área do tópico, tanto praticamente como teoricamente.
4. Propor uma ideia inovadora e desenvolver a solução de um problema que também tenha potencial para contribuição teórica.
5. Implementar a solução e testar como ela funciona.
6. Examinar o escopo de aplicabilidade da solução.
7. Identificar e analisar a contribuição teórica.

A Figura 17 apresenta o delineamento da pesquisa. Este trabalho foi dividido em três grandes etapas: (1) compreensão e desenvolvimento; (3) teste e avaliação; e (4) análise teórica e reflexão. A seguir cada uma delas é detalhada. Ressalta-se que essas etapas na DSR não são seguidas de forma linear: há iterações entre elas de tal forma que uma etapa pode desencadear novas atividades em uma fase anterior. Na Figura 17, além das etapas da pesquisa, estão representadas as atividades desenvolvidas, bem como os produtos da pesquisa.

Figura 17 - Delineamento da pesquisa



Fonte: elaborado pela autora

A primeira etapa da pesquisa envolveu a identificação de um problema prático relevante. Como a área de interesse inicial da pesquisadora era a gestão da segurança em canteiros de obra, foi feito um estudo exploratório em uma obra que utiliza redes de segurança, com o principal intuito de familiarizar a pesquisadora com o contexto empírico da pesquisa. Desta forma, contactou-se o interesse das construtoras locais em estudos comparativos para a escolha entre redes de segurança e andaimes fachadeiros, conforme descrito na seção 1.2.

Paralelamente, buscou-se compreender o tema a partir de uma revisão de literatura inicial sobre gestão da segurança, SPCQA e métodos de tomada de decisão. Constatou-se que o potencial para contribuições teóricas do problema prático identificado está relacionado (i) à perspectiva da complexidade, a qual vem sendo aplicada à gestão da segurança em empreendimentos da construção civil, bem como (ii) ao emprego do método *Choosing By Advantages* para o referido problema. A partir da compreensão inicial do problema, tanto praticamente como teoricamente, foi desenvolvida a primeira versão de sua solução: um método de escolha de SPCQA, o qual utiliza (i) um conjunto de fatores para avaliação de SPCQA baseados na perspectiva da complexidade e (ii) o método *Choosing By Advantages*.

A etapa seguinte consistiu no teste e avaliação do artefato proposto. Inicialmente foram feitos dois estudos empíricos, nos quais apenas fatores estabelecidos para avaliar SPCQA foram testados. Esses estudos contribuíram para o refinamento dos fatores de avaliação das proteções. Desta forma, esta etapa está estritamente relacionada com o desenvolvimento do artefato, pois foi através dos estudos empíricos 1 e 2 que a pesquisadora obteve uma compreensão profunda sobre o tema da pesquisa.

A seguir, foi feito um terceiro estudo empírico para testar o método de escolha de SPCQA em sua totalidade. Ao fim deste estudo, o método proposto foi avaliado por sua utilidade e facilidade de uso, afim de se examinar a aplicabilidade do mesmo. Os três estudos empíricos são considerados *instantiations*, ou implementações, do artefato proposto. Porém, os dois primeiros estudos são aplicações parciais, uma vez que testam apenas os fatores de avaliação de SPCQA.

Por fim, na etapa de análise teórica e reflexão, foram apresentadas as discussões. Buscou-se identificar e analisar as contribuições teóricas do trabalho, dentre elas, um modelo das principais interações entre os SPCQA e o empreendimento. A seguir são descritas as atividades realizadas na pesquisa de acordo com suas etapas.

3.3 ETAPA DE COMPREENSÃO E DESENVOLVIMENTO

A fim de encontrar um problema prático e com potencial para contribuições teóricas, realizou-se um estudo exploratório durante a obra do empreendimento A da empresa X, que utiliza redes de segurança como sistema de proteção coletiva contra queda de altura. A empresa X é uma incorporadora atuante na região sul do Brasil. Constrói condomínios residenciais horizontais e verticais, além de prédios comerciais. Atua nos segmentos do Minha Casa Minha Vida, média e alta renda e está no mercado desde a década de 1980.

O empreendimento A é localizado em uma cidade de médio porte da região sul do Brasil. É composto por 11 torres residenciais de 14 pavimentos cada e foi dividido em três fases. Este estudo foi realizado durante a terceira fase da obra, sendo que a primeira já havia sido entregue aos clientes e a segunda estava em acabamento final. Na época do estudo, nesta terceira fase do empreendimento, três torres estavam em construção. O sistema construtivo do empreendimento é caracterizado por concreto armado e alvenaria de vedação. Nas três torres havia como SPCQA redes U e V.

O estudo exploratório contou com quatro visitas à obra, de cerca de duas a três horas cada, em que foi observado o uso e inspeção das redes instaladas na obra, atividades de ascensão da rede V e instalação da rede U. Nessas visitas foram feitas entrevistas não estruturadas com o engenheiro de segurança da obra, técnicas de segurança e montadores das redes de segurança com o objetivo de identificar um problema prático relevante para esta pesquisa.

No decorrer do estudo exploratório identificou-se o problema real desta dissertação, anteriormente descrito na seção 1.2. Durante as visitas, foi percebido que a empresa X apresentava uma grande preocupação com o SPCQA, especialmente para evitar que a obra fosse embargada pelo Ministério do Trabalho. A equipe da obra apontou diversos benefícios do sistema utilizado, as redes de segurança. Além disso, diversas vezes a equipe também comparava o sistema de redes com os andaimes fachadeiros, o qual, de acordo com os entrevistados, é o SPCQA preferido da fiscalização. Conforme descrito na seção 1.2, ficou clara (i) a discordância entre os agentes do setor da construção civil frente à escolha de SPCQA e a (ii) necessidade de uma comparação sistemática entre redes de segurança e andaimes fachadeiros.

Diante disso, no decorrer deste estudo, buscou-se também entender como era o processo de escolha de SPCQA na empresa e como os mesmos poderiam ser avaliados nesse processo. Esta etapa inicial da pesquisa gerou um entendimento sobre a complexidade existente no uso e na escolha dos SPCQA. Esta complexidade está relacionada às interações entre o sistema de proteção coletiva, a edificação e as tarefas a serem executadas na obra.

Simultaneamente ao desenvolvimento do estudo exploratório, houve uma busca na literatura por trabalhos que tratassem sobre as temáticas pertinentes à pesquisa. Inicialmente a revisão contemplou as redes de segurança e andaimes fachadeiros como SPCQA. A partir da decisão de estudar a escolha de SPCQA, buscou-se compreender os métodos de tomada de decisão existentes na literatura, optando-se pelo *Choosing By Advantages* (CBA). A perspectiva da complexidade também foi contemplada na revisão bibliográfica, servindo como a base para a identificação dos fatores de avaliação dos SPCQA. O resultado da etapa de compreensão e desenvolvimento é o projeto conceitual do artefato, tendo em mente as suas grandes etapas e lógica preliminar.

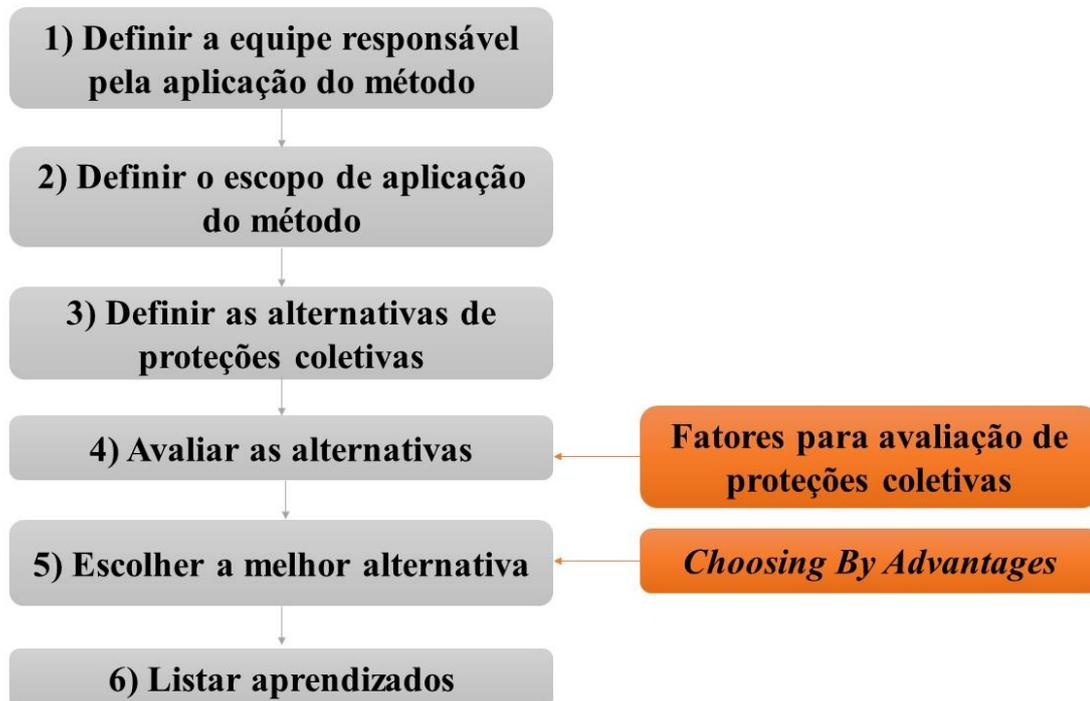
3.3.1 O artefato

Esta dissertação propõe como artefato um método para escolha de SPCQA. Este método utiliza um conjunto de fatores para avaliação de SPCQA sob a visão da complexidade.

3.3.1.1 Método de escolha de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura

O método tem como objetivo contribuir para que gestores escolham os SPCQA considerando a complexidade existente no contexto em que serão empregadas. O mesmo permite capturar objetivamente informações com diferentes perspectivas antes de tomar uma decisão sobre o SPCQA a ser adotado em uma determinada obra. A Figura 18 apresenta os passos do método proposto, os quais são descritos na sequência.

Figura 18 - Método de escolha de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura



Fonte: elaborado pela autora.

(1) Definir a equipe responsável pela aplicação do método: os responsáveis pela implementação do artefato devem ser pessoas com autoridade na empresa, uma vez que a escolha de SPCQA envolve custos elevados. Além disso, recomenda-se que a equipe seja composta por integrantes que entendam tanto sobre segurança e gestão de obras, como sobre planejamento e custos. Diferentes perspectivas podem ser um trunfo para tomar melhores decisões (DEKKER, 2011). Logo, as perspectivas de todos os agentes e especialistas no assunto devem ser contabilizadas ao máximo para uma gestão eficaz da segurança (HINZE; THURMAN; WEHLE, 2013).

(2) Definir o escopo de aplicação do método: essa etapa corresponde à definição dos limites do sistema em que o método será implementado. Deve ser estabelecida a obra a que o estudo se refere e os perigos a serem controlados pelos SPCQA. Por exemplo, perigos de quedas de pessoas e materiais pela periferia dos pavimentos tipo da edificação, durante a fase de construção.

(3) Definir as alternativas de proteções coletivas: nos sistemas complexos, os resultados podem ser alcançados a partir de uma variedade de diferentes condições iniciais usando diversas alternativas, uma propriedade denominada *equifinality* (KAST; ROSENZWEIG, 1972). Desta

forma, deve haver mais de uma opção de SPCQA que atenda uma mesma obra. As opções devem ser identificadas considerando o escopo do estudo e não há limite para o número de alternativas. A equipe pode identificar alternativas a partir de *benchmarking* com obras de outras empresas, literatura e experiências prévias.

(4) Avaliar as alternativas: os SPCQA podem ser avaliados através dos fatores baseados na visão da complexidade propostos na próxima seção deste trabalho. É necessário investigar e descrever características técnicas de cada alternativa, bem como a relação das mesmas com a obra e com fatores externos como o foco de problemas por embargo. Para tanto, são necessárias análises de projetos e documentos, bem como entrevistas com montadores, projetistas e fornecedores podem ser feitas para melhor compreensão dos sistemas avaliados. No caso de comparações entre redes de segurança e andaimes fachadeiros, os próprios resultados dos estudos empíricos desta pesquisa já podem ser suficientes para que a equipe avalie as alternativas sem a necessidade de entrevistas.

(5) Escolher a melhor alternativa: para comparar as alternativas, propõe-se que seja utilizado o método *Choosing By Advantages*, o qual foi apresentado na seção 2.2 deste trabalho. As quatro primeiras etapas do CBA estão sobrepostas aos passos anteriores do método proposto, pois propõem identificar as alternativas¹, definir os fatores² de avaliação, definir os critérios³ que cada fator deve ter e resumir os atributos⁴ de cada alternativa. Desta forma, neste passo, para a escolha da melhor alternativa, deve-se (I) identificar as vantagens⁵ de cada alternativa para cada fator analisado; (II) decidir a importância de cada vantagem; (III) avaliar dados de custo; e (IV) em um gráfico comparar o somatório da importância de vantagens com o custo de cada alternativa, de modo similar ao que foi apresentado na Figura 13 da seção 2.2 deste trabalho. Por fim, a partir desta análise custo-benefício, escolher a melhor alternativa.

(6) Listar aprendizados: este último passo é proposto como uma reflexão sobre a escolha realizada. Os aprendizados podem ser: em relação a forma como a seleção de SPCQA foi feita,

¹ Duas ou mais coisas, das quais uma deve ser escolhida. Ex.: canoa C e canoa K (SUHR,1999).

² Partes ou componentes de uma decisão. Ex.: o peso de cada canoa (SUHR,1999).

³ Regras de decisão ou diretrizes. Ex.: deve ter menos de 40 kg e mais leve melhor (SUHR,1999).

⁴ Característica, qualidade ou consequência de *uma* alternativa. Ex.: 20 kg e 35kg (SUHR,1999).

⁵ Benefício, ganho ou melhoria. Ex.: 15 kg de diferença entre as canoas (SUHR,1999).

de tal modo que o exercício poderá realimentar o método proposto transformando-o; e em relação ao conteúdo da escolha, quando os aprendizados abordarem as próprias alternativas avaliadas. Em ambos os casos, esta etapa serve para facilitar o processo em novas escolhas de acordo com as percepções de seus usuários ou reconsiderar a escolha realizada.

3.3.1.2 Fatores para avaliação de sistemas de proteção coletiva contra queda de altura

Nesta pesquisa é proposto um conjunto de fatores para avaliação de SPCQA em obras. Os fatores emergiram a partir da revisão de literatura, conforme seção 2.1.3 sobre a escolha de SPCQA, e da busca por caracterizar o empreendimento A, durante o estudo exploratório, como um sistema sócio técnico complexo conforme as características propostas por Saurin e Sosa (2013): (i) grande diversidade de elementos; (ii) grande número de elementos interagindo dinamicamente; (iii) variabilidade não antecipada e (iv) resiliência. Assim, compreendeu-se que o sistema em análise é composto pela edificação a ser construída, o SPCQA e sua legislação, bem como as pessoas (gestores, fiscais, fornecedores, montadores e demais funcionários da obra) e as tarefas que executam. As interações entre tais elementos deram origem a busca por interdependência entre equipes ou tarefas, bem como entre o SPCQA e a edificação. Pensando-se na resiliência do sistema, foram elaborados os fatores experiência da empresa, possibilidade de reutilização e adaptação entre o SPCQA e a obra. A variabilidade não antecipada, no caso, está relacionada aos fornecedores, legislação e fiscalização. A partir deste entendimento, organizou-se os fatores relacionados a complexidade do produto (SPCQA), complexidade da obra e complexidade externa, os quais posteriormente deram origem, respectivamente, as categorias *SPCQA*, *Empreendimento* e *Fatores externos à obra e à empresa*.

A Figura 19 apresenta os fatores e suas categorias. A Figura 20 apresenta, para cada fator de avaliação de SPCQA, perguntas para identificar e descrever como será o SPCQA no empreendimento, justificativas para a escolha de SPCQA e o possível critério para ser utilizado na aplicação do CBA.

Figura 19 - Fatores para avaliação e escolha de SPCQA sob a visão da complexidade

Categorias	Fatores
Sistema de proteção coletiva contra queda de altura	Diversidade de componentes
	Segurança da equipe de montagem e desmontagem
	Ritmo de montagem
	Ritmo de desmontagem
	Vida útil
	Flexibilidade para atender obras posteriores
Empreendimento	Trânsito pela periferia da obra
	Antecipação de atividades
	Postergação de atividades
	Dependência entre equipes
	Possíveis danos ao acabamento na desmontagem
	Adaptação com a fachada
	Frequência de entrega e retirada de materiais na obra
	Estoque
	Necessidade de equipamento de transporte vertical
	Experiência da empresa
	Segurança das equipes da obra após instalação
	Necessidade de proteção adicional
Fatores externos à obra e a empresa	Disponibilidade de fornecedores
	Foco de problemas por embargo
	Falta ou divergência de regulamentação

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 20 - Fatores para avaliação e escolha de SPCQA sob a visão da complexidade

Fatores - SPCQA	Perguntas para investigar ou descrever o SPCQA	Justificativa dos fatores propostos para a escolha de SPCQA	Critério
Diversidade de componentes	Quais são os componentes, peças ou elementos deste SPCQA? Como seus componentes interagem?	A variedade é a abordagem mais comum e validada para definir a complexidade do produto (Orfi, Terpenney e Sahin-sariisik, 2011). Assim, reduzir a diversidade de componentes de um SPCQA pode reduzir a complexidade técnica dentro de uma obra.	Menos componentes e menos interações é melhor.
Segurança da equipe de montagem e desmontagem	Qual a probabilidade e severidade de possíveis acidentes durante a montagem e desmontagem do sistema? Avalie pela matriz de análise de risco da Figura 5.	Alguns SPCQA podem se tornar inseguros durante a montagem ou desmobilização. Portanto, deve-se considerar a exposição ao risco dos funcionários responsáveis por tais atividades.	A montagem e desmontagem devem ser seguras; risco mais baixo é melhor.
Ritmo de montagem	Qual o ritmo de montagem deste SPCQA? Esse ritmo atende o cronograma da obra (tempo de ciclo da estrutura)?	O ritmo de montagem dos SPCQA deve ser compatível com a necessidade da obra para que não haja atrasos durante a execução da estrutura.	Deve atender o cronograma da obra.
Ritmo de desmontagem	Qual o ritmo de desmontagem deste SPCQA? Esse ritmo atende o cronograma da obra?	O ritmo de desmontagem dos SPCQA deve ser compatível com a necessidade da obra, principalmente nos casos em que o sistema é alugado, para que a empresa não fique com o sistema mais tempo do que o devido.	Deve atender o cronograma da obra.
Vida útil	Há um prazo de validade para os materiais? Quais as implicações disso?	A vida útil do SPCQA deve ser coerente com o tempo que o mesmo será utilizado na obra. Caso sejam necessários ensaios e testes para prolongar/comprovar a vida útil da proteção, o controle dos mesmos pode aumentar a complexidade da gestão da segurança na obra.	Maior vida útil é melhor.
Flexibilidade para atender obras posteriores	É possível reaproveitar os materiais da proteção coletiva em outras obras?	A flexibilidade de um produto é determinada fundamentalmente por decisões de projeto do mesmo, ao invés da forma como ele é usado (Seebacher e Winkler, 2013). Assim, para que possa ser reaproveitado em obras posteriores, o SPCQA deve ser adaptável a diferentes configurações geométricas e técnicas construtivas além de ter vida útil suficiente.	Poder reaproveitar é melhor.

Fatores - Empreendimento	Perguntas para investigar ou descrever interações entre SPCQA, o projeto do empreendimento e a execução da obra	Justificativa dos fatores propostos para a escolha de SPCQA	Critério
Trânsito pela periferia da obra	O SPCQA permite o trânsito pela periferia da obra ou são necessários andaimes suspensos? Qual a implicação disso na qualidade e produtividade das tarefas da obra?	O SPCQA, quando serve também como plataforma de trabalho, pode facilitar a execução e a conferência de tarefas como o reboco externo. Isso pode influenciar na qualidade e produtividade de tais tarefas. Ao passo, que o uso de plataformas suspensas, também conhecidas como balancins, prejudicaria tais tarefas. Faria (2007) explica que a movimentação e nivelamento da plataforma suspensa, sobretudo as manuais, é mais difícil e, por ter menor mobilidade, há riscos de pequenas falhas nos serviços executados em fachada.	Se o trânsito pela periferia da obra for possível é melhor pois facilita diferentes tarefas.
Antecipação de atividades	Alguma tarefa pode ser antecipada com o uso do SPCQA?	O SPCQA escolhido pode interferir na sequência de execução das demais tarefas da obra antecipando algumas tarefas. Por exemplo, caso a obra esteja vedada contra a umidade pelo próprio SPCQA, pode-se executar o gesso acartonado antes da instalação das esquadrias.	Antecipar tarefas é melhor.
Postergação de atividades	Alguma tarefa ou algum pavimento precisa ser postergado devido ao uso do SPCQA?	O SPCQA escolhido também pode interferir na sequência de execução das demais tarefas da obra postergando algumas tarefas. Por exemplo, caso a obra tenha como SPCQA um andaime fachadeiro instalado em balanço, o pavimento em que estão as vigas de sustentação será obrigatoriamente postergado, já que não será possível executar alvenaria no mesmo.	Não postergar atividades é melhor.
Dependência entre equipes	Em que momentos haverá interações entre a equipe de segurança e as demais equipes da obra?	Quanto mais interações ou interdependência existir entre a equipe de segurança na tarefas de montagem ou desmontagem do sistema e as demais equipes, mais complexa deve se tornar a obra.	Menor dependência é melhor.
Possíveis danos ao acabamento na desmontagem	Como será feita a desmontagem do SPCQA? Há risco de danos ao acabamento durante a desmobilização?	Podem haver danos ao acabamento da edificação no processo de desmontagem e retirada do SPCQA da obra. Isso ocorre principalmente na desmobilização de componentes rígidos e pesados do SPCQA que, ao serem retirados, acabam danificando pedras, esquadrias e revestimentos da fachada.	Menos risco de danos é melhor.
Adaptação com a fachada	Como o SPCQA será fixado na estrutura da edificação? É possível utilizar esse sistema em toda a periferia da edificação? Como serão instaladas as esquadrias e revestimentos externos?	O formato, detalhes construtivos da fachada, revestimento externo ou esquadrias da edificação podem interferir na escolha das proteções. Outro ponto relevante é que a concepção arquitetônica da edificação pode dificultar o acesso do andaime suspenso.	Mais adaptação é melhor.
Frequência de entrega e retirada de materiais na obra	Onde será feito o recebimento de materiais? Com que frequência a obra receberá cargas de componentes do SPCQ? Quais as implicações disso?	Caso a obra receba componentes do SPCQ com muita frequência, pode acontecer da entrada da obra ficar ocupada muito tempo para descarregamento destes materiais durante a montagem, e posterior carregamento durante a desmontagem, atrapalhando a logística do canteiro entrega de outros materiais.	Menor frequência é melhor.

Fatores - Empreendimento	Perguntas para investigar ou descrever interações entre SPCQA, o projeto do empreendimento e a execução da obra	Justificativa dos fatores propostos para a escolha de SPCQA	Critério
Estoque	Onde os componentes do SPCQA serão estocados antes e depois de seu uso? É preciso muito espaço para estoque?	É preciso prever o espaço necessário no canteiro de obras para estoque dos componentes do SPCQA logo que chegam na obra, bem como o espaço no canteiro destinado as peças logo que elas são retiradas da fachada. Dependendo da opção escolhida, pode ser necessário mais ou menos espaço.	Menos espaço ocupado na obra é melhor.
Necessidade de equipamento de transporte vertical	Com que frequência serão usados equipamentos como grua e elevador cremalheira para transporte dos componentes do SPCQA? O uso do SPCQA impede a instalação de algum equipamento?	Alguns SPCQA exigem determinados equipamentos para transporte de seus componentes. Por outro lado, o uso de certos equipamentos pode impossibilitar a instalação dos SPCQA em determinados pontos da obra.	Menos uso é melhor.
Experiência da empresa	Qual a experiência da empresa no uso deste SPCQA? As experiências anteriores foram boas?	Uma vez que os sistemas complexos têm uma história, a qual influencia as atitudes no presente (CILLIERS, 1998), entendê-la é importante para tomar decisões adequadas.	Mais obras com boa experiência é melhor.
Segurança das equipes da obra após instalação	Qual a probabilidade e severidade de possíveis acidentes durante o uso deste SPCQA? Avalie pela matriz de análise de risco da Figura 5.	Segundo Cameron, Gillan e Duff (2007), a principal consideração na seleção de equipamentos para detenção ou prevenção de quedas deve ser sempre a segurança do pessoal do canteiro de obras e do público geral.	Deve ser seguro; risco mais baixo é melhor.
Necessidade de proteção adicional	São necessárias proteções adicionais para montagem, desmontagem ou uso deste sistema? As proteções adicionais são coletivas (passivas) ou individuais (ativas)?	Se forem necessárias outras proteções, é preferível que sejam passivas. Desta forma independem da ação do operário de utilizá-los da forma correta.	Menos uso de EPI é melhor.

Fatores externos à obra e a empresa	Perguntas para investigar ou descrever a complexidade externa	Justificativa dos fatores propostos para a escolha de SPCQA	Critério
Disponibilidade de fornecedores	Há fornecedores confiáveis disponíveis? Quais? Qual a relação da empresa com estes fornecedores? Esses podem atender a obra dentro do prazo necessário?	Fornecedores são agentes que interagem no sistema e sobre os quais há pouco controle por parte da empresa. Desta forma deve ser feita uma busca por fornecedores que atendam a legislação a fim de identificar não conformidades, bem como atendam a obra com a agilidade necessária.	Mais disponibilidade é melhor.
Foco de problemas por embargo	Como este sistema de proteção tem sido visto pela fiscalização? Outras obras já foram embargadas utilizando este sistema?	A escolha por SPCQ que não são bem vistos pela fiscalização local pode resultar em efeitos colaterais indesejados como alguns dos apontados por Saurin (2016): reforçar a cultura de segurança baseada em papel, corrupção e alto nível de estresse para os gestores. Em caso de embargos, aumenta-se a complexidade pois mais agentes são adicionados ao sistema (ou seja, advogados, juízes, especialistas) e, portanto, criam-se mais interações e diversidade de perspectivas (SAURIN, 2016), além do prejuízo financeiro gerado pela paralização da obra.	Bem visto pela fiscalização é melhor.
Falta ou divergência de regulamentação	Como são as normas brasileiras referentes a este sistema? São completas e atualizadas? Há brechas na legislação?	Brechas na legislação podem dificultar a aceitação de determinados sistemas por parte dos auditores fiscais. Em caso de desacordo com a legislação, as empresas são impostas a penalidades administrativas e financeiras, além da repercussão negativa (CBIC, 2017).	Menos divergência é melhor.

Fonte: elaborado pela autora.

Os fatores propostos podem ser utilizados de duas maneiras:

(i) Avaliar diferentes opções de SPCQA visando a escolha destes sistemas. Desta forma, os fatores fazem parte do método para escolha de SPCQA proposto na seção anterior, tendo como público-alvo uma equipe mista, com autoridade na empresa, formada pelos gerentes de obra, segurança, planejamento, orçamento e suprimentos. (ii) Avaliar os SPCQA nas obras a fim de aprimorar seu uso, tendo como público-alvo engenheiros e técnicos de segurança da obra. Os fatores relacionados à segurança da equipe de montagem e desmontagem, bem como das demais equipes da obra, devem ser avaliados conforme ferramenta apresentada na Figura 21, uma matriz de avaliação de risco.

Figura 21 - Matriz de análise de risco

PROBABILIDADE	SEVERIDADE				
	(I) Pode causar a morte de uma pessoa.	(II) Pode causar lesões permanente ou doenças sérias.	(III) Pode causar afastamento do trabalho por 15 dias ou mais.	(IV) Pode causar afastamento do trabalho por menos de 15 dias.	(V) Pode necessitar primeiros socorros ou não haver lesão ao operário.
(A) O acidente é conceitualmente possível, mas com possibilidade extremamente remota de acontecimento.					
(B) Não esperado de acontecer durante a construção.					
(C) Baixa expectativa de acontecimento.					
(D) Esperado de acontecer pelo menos uma vez durante a construção.					
(E) Esperado de acontecer várias vezes durante a construção.					

Fonte: adaptado de Cambraia, Saurin e Formoso (2010)

Na matriz, as cores verde, amarelo e vermelho representam, respectivamente, riscos baixos, moderados e altos. Os riscos durante a montagem, desmontagem e uso dos SPCQA devem ser avaliados em termos de probabilidade e severidade dos perigos listados a seguir, conforme a matriz, para cada SPCQA individualmente.

Perigos na montagem e desmontagem

- a. Lesões devido ao manuseio de ferramentas e equipamentos;
- b. Transporte de peso acima do permitido por norma ou da capacidade do trabalhador;
- c. Queda de trabalhador no mesmo nível;
- d. Queda de altura de trabalhador através da periferia do pavimento;
- e. Realização de atividades sem EPI;
- f. Falta de leitura e interpretação errada do projeto resultando em montagem inadequada;
- g. Erro na separação dos materiais que compõe a proteção;
- h. Queda de material.

Perigos aos trabalhadores da obra

- a. Queda de altura de trabalhador através da periferia do pavimento;
- b. Queda de materiais sobre quem estiver no canteiro de obras ou nível inferior ao da montagem das proteções;
- c. Tombamento de parte das proteções;
- d. Falta de isolamento de área de risco durante a montagem dos SPCQA.

3.4 ETAPA DE TESTE E AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Foram realizados três estudos empíricos para testar o artefato proposto. O primeiro e o segundo estudo são aplicações parciais, para testar e refinar apenas os fatores de avaliação de SPCQA. No primeiro estudo, foi feita uma avaliação do sistema de redes de segurança, ao passo que, no segundo, a avaliação contemplou os andaimes fachadeiros. O terceiro estudo testou o método para escolha de SPQCA proposto na seção 3.3.1.1. A Figura 22 resume os estudos empíricos de aplicação do artefato.

Figura 22 - Implementações do artefato

Implementações	Objetivo do estudo	Instrumento a ser testado	Empresa	Empreendimento
1	Avaliação das redes de segurança	Fatores de avaliação dos SPCQA	X	A
2	Avaliação do andaime fachadeiro	Fatores de avaliação dos SPCQA	Y	B1 e B2
3	Escolha de SPCQA	Método de escolha de SPCQA	Y	C

Fonte: elaborado pela autora.

A empresa X, que colaborou para o estudo exploratório, mostrou-se interessada no trabalho e por isso a primeira aplicação foi feita na obra do empreendimento A. Durante este estudo, estavam em execução etapas de levantamento da estrutura em concreto armado e de alvenaria de vedação. A proteção era feita pelo sistema de redes de segurança U e V.

Os fatores de avaliação dos SPCQA também foram testados para um segundo tipo de sistema, o andaime fachadeiro. Para isso, houve uma colaboração da empresa Y, a qual permitiu o acesso da pesquisadora aos empreendimentos B1 e B2. A empresa Y é uma incorporadora atuante em 16 estados e no Distrito Federal. Constrói empreendimentos residenciais e comerciais, atuando nos segmentos de alto padrão e luxo. Atua no mercado há mais de 50 anos.

O empreendimento B1 está localizado em uma cidade de grande porte do sul do Brasil. Trata-se de uma edificação comercial de 12 pavimentos. O sistema construtivo do empreendimento é concreto armado e alvenaria de vedação. Durante a execução deste estudo, estavam em execução etapas de assentamento de alvenaria, reboco, instalação de esquadrias e divisórias internas em gesso acartonado. O SPCQA deste empreendimento era o andaime fachadeiro multidirecional. Durante o estudo pôde-se observar o andaime fachadeiro sendo usado como plataforma de trabalho para serviços externos, bem como a desmontagem do mesmo.

O empreendimento B2 também está localizado na mesma cidade de grande porte do sul do Brasil. Este é uma edificação residencial multifamiliar de 16 pavimentos. O sistema construtivo do empreendimento é concreto armado e alvenaria de vedação. Durante a execução deste estudo, a estrutura em concreto armado estava sendo executada. O SPCQA deste empreendimento era o andaime fachadeiro multidirecional. Durante o estudo pôde-se observar a montagem do andaime fachadeiro.

No terceiro estudo empírico, o método proposto na seção 3.3.1.1 foi implementado para a escolha do SPCQ de um novo empreendimento da empresa Y, o empreendimento C, antes do início da obra. Este será construído em uma cidade de grande porte do sul do Brasil, onde os dois principais SPCQA utilizados atualmente são as redes de segurança combinadas a sistemas de proteção periférica metálicos e os andaimes fachadeiros. Desta forma, a implementação do método de escolha foi uma comparação entre tais sistemas.

O empreendimento C é uma torre residencial de alto padrão composta por 17 pavimentos, sendo 11 deles pavimentos tipo. O empreendimento totaliza 9.816,90 m² de área construída. O sistema

construtivo é concreto armado com alvenaria de vedação externa. As divisórias internas são de gesso acartonado. Mais detalhes deste projeto, bem como da equipe participante, serão apresentados na seção de resultados do estudo empírico 3.

Além disso, a implementação do método de escolha de SPCQA seguiu o seguinte protocolo:

- a. Reunião sobre o método para escolha de SPCQA, com explicação de todos os fatores, exemplo de aplicação do CBA e discussão das primeiras etapas do método. Este encontro teve duração de 45 minutos. Houve participação do coordenador de obras e o do engenheiro responsável pelos setores de planejamento e orçamento e de projetos, além da pesquisadora.
- b. Reunião sobre o método para escolha de SPCQA, com exemplo de aplicação do CBA. Esta foi realizada com os demais participantes escolhidos na primeira reunião para participarem da aplicação do método: o responsável pelo setor de suprimentos da empresa Y e o engenheiro responsável pela segurança das obras. Esse encontro durou 30 minutos.
- c. Reunião com engenheira orçamentista da empresa sobre a composição de custos dos SPCQA. Esta reunião teve duração de 40 minutos.
- d. Duas reuniões para avaliação dos SPCQA pelos fatores propostos. Destas reuniões participaram, além da pesquisadora, os responsáveis pelos setores de obras, segurança, suprimentos, projetos e planejamento e orçamento. A primeira reunião de avaliação dos SPCQA durou 50 minutos e a segunda uma hora. A fim de facilitar a avaliação das alternativas, nessas reuniões a pesquisadora apresentou à equipe de trabalho os resultados dos estudos empíricos 1 e 2. Desta forma, a equipe discutiu e validou o que foi apresentado, apontando ajustes para a pesquisadora alterar para a reunião de escolha da melhor alternativa.
- e. Reunião final para escolha do SPCQA e avaliação do artefato. Esta reunião contou com os mesmos participantes das reuniões de avaliação dos SPCQA e durou uma hora.
- f. Preparação e envio de relatório com os resultados para a empresa.

3.4.1 Coleta de dados

A seguir são descritas as fontes de evidência para os dois primeiros estudos de aplicação do artefato.

- a. Observação não-participante: a pesquisadora acompanhou atividades de instalação, desinstalação, manutenção e controle dos SPCQA. As visitas às obras contaram com registro fotográfico e anotações dos pontos observados. O estudo empírico 1 contou com oito visitas à obra A, ao passo que o estudo empírico 2 contou com seis visitas a obra B1, em que a pesquisadora pode acompanhar o uso e desmontagem do andaime fachadeiro multidirecional e três visitas à obra B2, em que a pesquisadora pode acompanhar a montagem do andaime fachadeiro multidirecional. Cada visita teve duração média de duas horas.
- b. Análise de documentos: durante as visitas, a pesquisadora teve acesso tanto aos projetos referentes aos SPCQA quanto à edificação. Foram analisados projetos arquitetônicos, estruturais, de layout de canteiro de obras, memoriais de cálculo e especificações técnicas dos SPCQA. Além disso, foram analisados documentos de regulamentação e uso dos SPCQA nas obras.
- c. Entrevistas: foram feitas entrevistas semiestruturadas para captar a percepção de profissionais que entendam tanto sobre o *work-as-imagined*, como *work-as-done*. O roteiro das entrevistas é apresentado no Anexo A. A Figura 7 apresenta uma breve caracterização dos entrevistados cujas entrevistas foram gravadas. Além destes, o engenheiro de segurança da empresa Y e o engenheiro residente na obra B2 também foram entrevistados, mas sem a gravação da entrevista. Ressalta-se que a entrevista com os três primeiros entrevistados da Figura 23 foi realizada em forma de grupo focal.

Figura 23 - Entrevistados nos estudos empíricos 1 e 2

Entrevistados	Experiência	SPCQA avaliado	Duração da entrevista
Coordenador de obras da empresa X	-	Redes	48 minutos
Engenheiro de segurança da empresa X			
Engenheiro residente da obra A			
Montador de redes da obra A	-	Redes e andaimes fachadeiros	20 minutos
Projetista e fornecedor de redes	-	Redes	2 h e 27 min
Fornecedor de redes	4 anos	Redes	1 h e 15 min
Engenheiro residente da obra B1	4 anos	Andaimes fachadeiros	31 minutos
Montador de andaime fachadeiro da obra B1	-	Andaimes fachadeiros	7 minutos
Montador de andaime fachadeiro da obra B2	6 anos	Andaimes fachadeiros	11 minutos
Projetista e fornecedor de andaimes fachadeiros	6 anos	Andaimes fachadeiros	1 h e 44 min
Projetista e consultor em segurança do trabalho	43 anos	Redes e andaimes fachadeiros	52 minutos

Fonte: elaborado pela autora.

As fontes de evidência dos estudos empíricos 1 e 2 são detalhadas na Figura 24 para cada fator de avaliação de SPCQA proposto.

Figura 24 - Fontes de evidência para avaliar as alternativas de SPCQA

Fontes de evidência para avaliar as alternativas de SPCQA												
Fatores	Projetos				Documentos				Entrevistas			
	Arquitetônico	Estrutural	Layout do canteiro	Anteprojetos SPCQA	Planejamento inicial da obra	Manual do fabricante	Instruções de montagem	Legislação	Engenheiros de segurança/obra	Montadores	Projetistas	Fornecedores
Diversidade de componentes				X		X	X	X	X	X	X	X
Segurança da equipe de montagem e desmontagem				X		X	X	X	X	X	X	X
Ritmo de montagem e desmontagem					X				X	X		
Vida útil						X		X	X		X	X
Flexibilidade para atender obras posteriores						X		X	X			X
Trânsito pela periferia da obra	X	X		X	X	X		X	X	X		
Antecipação de atividades	X			X	X				X			
Postergação de atividades	X		X	X	X	X			X		X	
Dependência entre equipes	X	X		X	X	X	X		X	X		
Possíveis danos ao acabamento na desmontagem	X			X	X		X		X	X		
Adaptação com a fachada	X	X		X	X	X	X		X	X	X	
Frequência de entrega e retirada de materiais na obra	X		X	X	X				X			X
Estoque	X		X	X	X				X			
Necessidade de equipamento de transporte vertical			X	X				X	X			X
Experiência da empresa									X	X		
Segurança das equipes da obra após instalação				X					X	X	X	X
Necessidade de proteção adicional	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Disponibilidade de fornecedores									X			X
Foco de problemas por embargo									X		X	X
Falta ou divergência de regulamentação								X	X		X	X

Fonte: elaborado pela autora.

Como os estudos 1 e 2 são aplicações parciais do artefato e o estudo 3 é a aplicação completa, os resultados da avaliação dos SPCQA feitas nos estudos 1 e 2 foram aproveitados no estudo 3. Porém, como o método proposto é aplicado para um empreendimento específico, também foram necessárias novas análises de projetos da obra e anteprojetos de SPCQA para a mesma. Além disso, o estudo 3 contou com observação participante, uma vez que a pesquisadora participou da escolha do SPCQA através de reuniões e discussão com os demais envolvidos.

A coleta de dados utilizou como boas práticas de pesquisa qualitativa o uso de múltiplas fontes de evidência e a triangulação entre as fontes (YIN, 2015). Com estas práticas é possível conceder solidez à pesquisa e colaborar para a confiabilidade dos resultados da investigação (YIN, 2015), além de permitir a identificação de discrepâncias que podem ser atribuídas à variação de perspectiva (GITTLEMAN et al., 2010).

3.4.2 Análise de dados

As informações obtidas através das observações, projetos, documentos e entrevistas foram analisadas de acordo com a técnica de análise de conteúdo proposta por Bardin (1977). Para as implementações dos estudos empíricos 1 e 2, o conteúdo foi agrupado de acordo com os fatores propostos, conforme a Figura 25. Ao passo que, para a terceira aplicação, o conteúdo foi agrupado conforme as etapas do método de escolha proposto, como apresentado na Figura 26.

Figura 25 - Análise de dados para implementações dos estudos empíricos 1 e 2

Categorias	Fatores	Informações pesquisadas nas fontes de dados
Sistema de proteção coletiva contra queda de altura	Diversidade de componentes	Número de elementos diferentes e conexões entre eles
	Segurança da equipe de montagem e desmontagem	Probabilidade e severidade de possíveis quedas de altura
	Ritmo de montagem	Sincronia entre a montagem do SPCQA e a execução da estrutura
	Ritmo de desmontagem	Atendimento ao cronograma da obra
	Vida útil	Tempo de vida útil
	Flexibilidade para atender obras posteriores	Reaproveitamento de materiais em obras futuras
Empreendimento	Trânsito pela periferia da obra	Facilidade para executar tarefas externas
	Antecipação de atividades	Atividades que podem ser antecipadas com o uso do SPCQA
	Postergação de atividades	Interações entre o SPCQA e a fachada que atrasam a obra
	Dependência entre equipes	Interações entre equipes na montagem ou desmontagem do SPCQA
	Possíveis danos ao acabamento na desmontagem	Risco de danos ao acabamento durante a retirada do SPCQA
	Adaptação com a fachada	Tipo de revestimento externo e formato da edificação
	Frequência de entrega e retirada de materiais na obra	Periodicidade com que a obra recebe ou retira componentes do SPCQA
	Estoque	Espaço ocupado no canteiro
	Necessidade de equipamento de transporte vertical	Transporte vertical dos componentes do SPCQA
	Experiência da empresa	Histórico de SPCQA em obras anteriores
	Segurança das equipes da obra após instalação	Probabilidade e severidade de possíveis quedas de altura
Necessidade de proteção adicional	Uso de EPI ou outros equipamentos de segurança	
Fatores externos à obra e a empresa	Disponibilidade de fornecedores	Rapidez na entrega de materiais
	Foco de problemas por embargo	Obras embargadas devido ao SPCQA
	Falta ou divergência de regulamentação	Legislação vaga com brecha para diferentes interpretações

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 26 - Análise de dados para implementação 3

Categoria	Etapa do Método	Informações pesquisadas nas fontes de dados
Tomadores de decisão	1) Definir a equipe responsável pela aplicação do método.	Coordenador de obras
		Coordenador de projetos
		Responsável pela segurança
		Responsável pelo planejamento
		Responsável pelo orçamento
		Responsável pelos suprimentos / compras
Escopo de aplicação	2) Definir o escopo de aplicação do método	Perigos focalizados dos SPCQA para as quais o método será aplicado
Alternativas de proteções coletivas	3) Definir as alternativas de proteções coletivas.	Necessidades de SPCQA na obra
		Restrições do projeto a determinados tipos de SPCQA
		Possíveis SPCQA para a obra
Disponibilidade de fornecedores	4) Analisar disponibilidade de fornecedores.	Fornecedores para a região da obra
		Conformidade dos SPCQA do mercado com a legislação vigente
Avaliação das alternativas	5) Avaliar as alternativas pelos fatores de avaliação de SPCQ	Características dos SPCQA
		Interações entre o empreendimento e o SPCQA
		Fatores externos à empresa e à obra
Escolha	6) Escolher a melhor alternativa pelo <i>Choosing By Advantages</i> .	Vantagens de cada alternativa
		Importância das vantagens /requisitos
		Custos dos SPCQA
Aprendizados	7) Listar aprendizados	Reflexão sobre o método proposto
		Reflexão sobre a escolha realizada

Fonte: elaborado pela autora.

3.4.3 Avaliação do artefato

O método proposto foi avaliado em duas dimensões: utilidade e facilidade de uso. Essa avaliação foi feita no estudo empírico 3 através (i) de uma reunião, com duração de quinze minutos, com a equipe responsável pela aplicação do método para documentar a percepção dos mesmos e (ii) da observação da pesquisadora durante toda a implementação do método. Os critérios de avaliação para cada uma das dimensões estão apresentados na Figura 27.

Figura 27 - Dimensões e critérios para avaliação do artefato

Dimensões	Crítérios
Utilidade	Contribuição dos fatores propostos para tomada de decisão na avaliação dos sistemas de proteção coletiva contra queda de altura.
	Contribuição a um ambiente mais colaborativo, com perspectiva de diferentes profissionais.
	Contribuição a organização e transparência da decisão, com visibilidade do processo de escolha e dos resultados.
Facilidade de Uso	Compreensão do método proposto e do CBA.
	Conhecimento necessário sobre as alternativas de SPCQA, características do empreendimento, legislação e contexto local.
	Tempo despendido.
	Possibilidade de utilização do método sem participação da pesquisadora.

Fonte: elaborado pela autora.

3.5 ETAPA DE ANÁLISE TEÓRICA E REFLEXÃO

Na etapa final da dissertação buscou-se identificar as contribuições teóricas da pesquisa, bem como refletir sobre os resultados dos estudos empíricos. Esta etapa deu origem ao capítulo de discussões, no qual é apresentado:

- i. Uma reflexão a respeito da perspectiva da complexidade aplicada aos SPCQA, a qual contempla um modelo das principais interações envolvendo o SPCQA e o empreendimento.
- ii. Uma discussão sobre a aplicabilidade do CBA para escolha de SPCQA em canteiro de obras, sob o ponto de vista da complexidade.
- iii. Uma análise sobre como método proposto contempla as diretrizes para gestão da complexidade propostas por Saurin, Rooke e Koskela (2013).
- iv. Um resumo das condições contextuais favoráveis ao uso de redes de segurança U e V e de andaimes fachadeiros, o qual é também uma contribuição prática da pesquisa.

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados da pesquisa. Primeiramente são apresentados os contextos das empresas X e Y. Depois são apresentados os resultados dos estudos empíricos 1 e 2, referentes aos fatores de avaliação de SPCQA. Em seguida, é apresentado o resultado do estudo empírico 3, a aplicação do método de escolha de SPCQA para um novo empreendimento. Por fim, é apresentada a avaliação do método proposto.

4.1 CONTEXTO DAS EMPRESAS X E Y

Conforme descrito na seção 1.2, referente ao problema real desta pesquisa, em meados de 2014 os auditores fiscais começaram a pressionar as construtoras da cidade em que se realizou este estudo ao uso de tecnologias que eliminassem a necessidade das plataformas de proteção secundárias e reduzissem a dependência de linhas de vida horizontais nas obras. Assim, foram introduzidos na construção civil local novos SPCQA, alternativos ao sistema do tipo Guarda-corpo e Rodapé (GcR), muito utilizado até então.

Diante desta demanda, a Empresa X utilizou, pela primeira vez, as redes de segurança do tipo U e V em uma obra fiscalizada em 2015. Em 2017, a empresa estava em sua segunda obra com o referido SPCQA. Porém, foi exigido por parte da fiscalização uma complementação às redes U e V e a solução escolhida foi o sistema de proteção periférica metálica deslizante (PPMD), um sistema novo no mercado desenvolvido e fabricado por fornecedores locais. A fiscalização acompanhou a montagem e uso da PPMD na obra e, paralelamente, o Comitê Permanente Regional⁶ montou um grupo para estudar as proteções periféricas metálicas. Nesta época ficou acordado entre a empresa X e a SRTE, que, para as próximas obras da empresa, deveriam ser feitos ensaios da PPMD conforme parâmetros a serem estabelecidos pelo Comitê Permanente Regional.

⁶ Uma instância tripartite entre governo, empregadores e empregados, cujo objetivo é tratar de diversos assuntos referentes às questões de saúde e segurança no trabalho no âmbito da construção civil.

Em sua terceira obra com o sistema de redes de segurança U e V, a empresa X optou por não instalar a PPMD, uma vez que o CPR ainda não havia finalizado seu estudo técnico sobre as mesmas. Esta é a obra A, na qual foram realizados o estudo exploratório e o estudo empírico 1 desta dissertação. Após a realização destes estudos, em julho de 2018, esta obra foi embargada, dentre outros motivos, por não apresentar sistema complementar às redes U e V e por utilizar redes com mais de dois anos de uso. Ressalta-se que o CPR ainda não havia apresentado os parâmetros para os ensaios da PPMD e, por isso, a fiscalização alegou que a obra deveria usar outra alternativa de SPCQA. A empresa X optou por não usar outra alternativa e realizou ensaios das PPMD (conforme estabelecido na norma europeia EN13374:2013) em um conceituado laboratório, mesmo sem o estudo do CPR estar finalizado. Estes ensaios, porém, também não foram aceitos pela fiscalização.

A empresa Y, por outro lado, a partir da demanda por SPCQA alternativos ao tipo Guarda-corpo e Rodapé (GcR), passou a utilizar os andaimes fachadeiros. Esta empresa já havia utilizado os andaimes fachadeiros em 10 obras. Diferente da empresa X que tem tido muitos problemas com as redes de segurança na percepção dos fiscais, os entrevistados da empresa Y dizem que os andaimes fachadeiros são extremamente bem vistos pela fiscalização local. Esta empresa está satisfeita com os andaimes fachadeiros, porém, não descarta o uso das redes de segurança em suas próximas obras, principalmente pela questão financeira, mas também por entender que as redes podem trazer benefícios à obra. Por isso, a empresa Y, além de abrir as portas das obras B1 e B2 para que a pesquisadora conhecesse de perto os andaimes fachadeiros, aceitou participar da implementação do método de escolha de SPCQA no estudo empírico 3 para seu novo empreendimento, chamado aqui de C.

4.2 ESTUDOS 1 E 2: FATORES PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO COLETIVA CONTRA QUEDA DE ALTURA (SPCQA)

Nos estudos empíricos 1 e 2, as redes de segurança e andaimes fachadeiros foram avaliados conforme os fatores propostos na Figura 19, seção 3.3.1.2 do capítulo anterior. A presente seção apresenta a compilação e análise dos dados obtidos. Para isso, a mesma está subdividida em 21 tópicos, cada um dos 20 primeiros é referente a um fator (exceto o tópico 4.2.3 que trata tanto

do fator ritmo de montagem quanto ritmo de desmontagem), e o último tópico é referente aos custos dos SPCQA estudados.

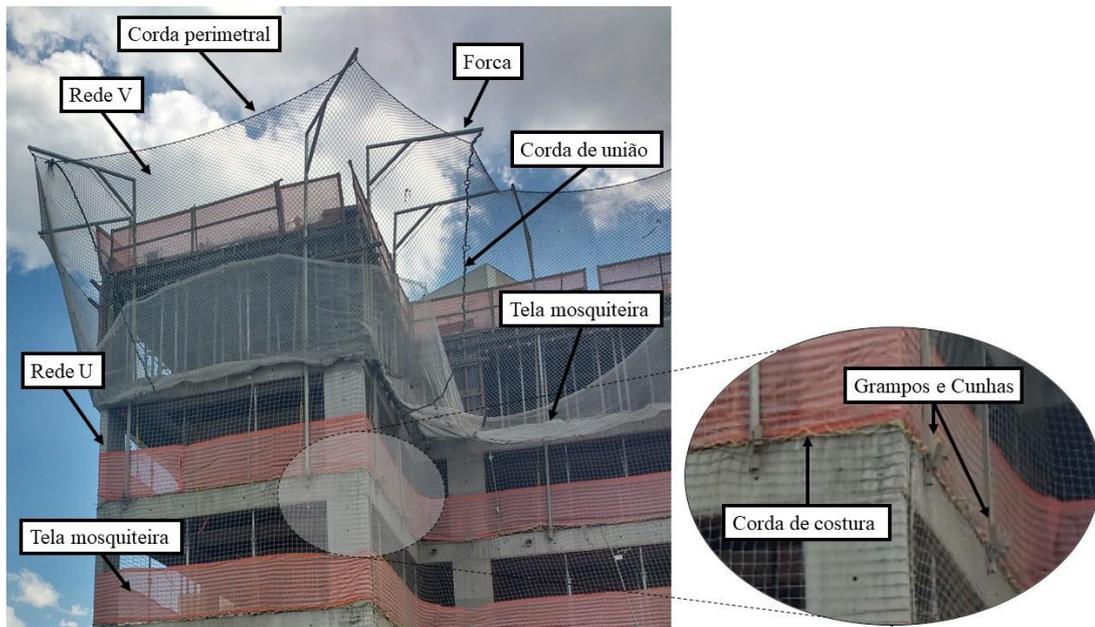
Durante o Estudo 1, a obra A apresentava apenas redes U e V. Assim, as informações a respeito da PPMD foram obtidas principalmente pelas entrevistas e análise de documentos. Além disso, a pesquisadora pode observar um protótipo da PPMD e sua ascensão, bem como acompanhou os ensaios realizados pela empresa X, na época em que a obra foi embargada, para comprovar o desempenho da mesma.

Durante o Estudo 2, ambas as obras B1 e B2 utilizavam andaimes fachadeiros do tipo multidirecional. Assim, as informações a respeito do andaime fachadeiro do tipo quadros também foram obtidas principalmente por entrevistas e revisão bibliográfica. A seguir são descritos os resultados obtidos para cada fator de avaliação de SPCQA. Por último, também são apresentadas informações sobre o custo dos SPCQA, o qual não é um dos fatores, mas é fundamental para aplicação do método proposto.

4.2.1 Diversidade de componentes

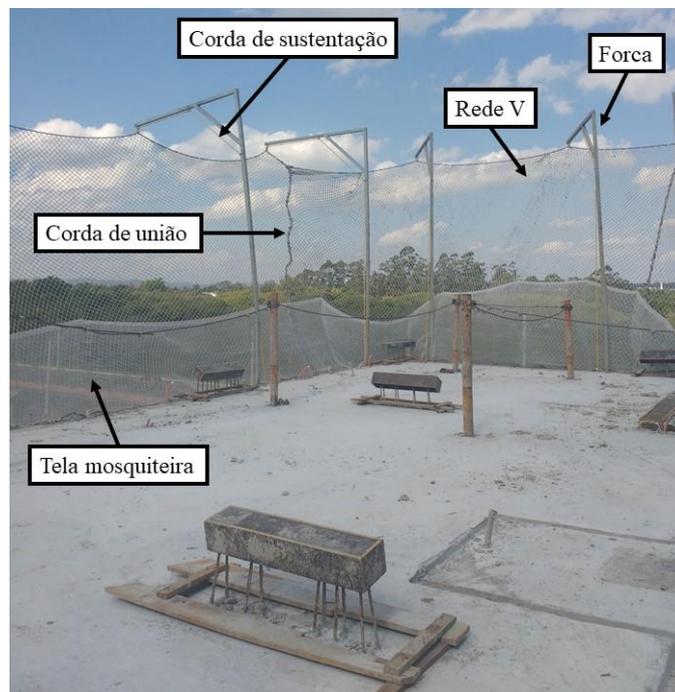
Quanto a diversidade de componentes, o sistema de Redes V instalado na obra A possuía 11 componentes: forcas; cunhas; grampos; rede V com corda perimetral; corda de união; corda de sustentação; tela mosquiteira de 3m; abraçadeira de nylon, ganchos e manilhas (Figura 28 e Figura 29). Por sua vez, o sistema de Redes U possuía 6 componentes: rede U; corda de união; corda de costura; tela mosquiteira de 1,5m; abraçadeira de nylon e ganchos (Figura 28 e Figura 30). Já a proposta de PPM a ser instalada na obra A possuía 8 componentes: estai; suporte dos quadros; suporte do pórtico; suporte do estai; parafusos e quadros de três tamanhos (Figura 31).

Figura 28 - Componentes das redes V na obra A: vista do exterior da obra



Fonte: autora

Figura 29 - Componentes do sistema V na obra A: vista do interior da obra



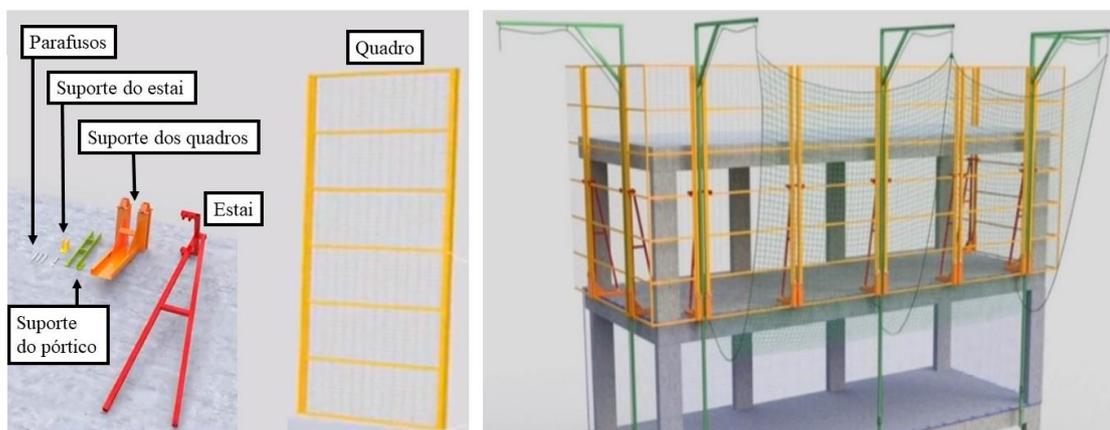
Fonte: autora

Figura 30 - Componentes do sistema U na obra A



Fonte: autora

Figura 31 - Proposta de Proteção Periférica Metálica a ser instalada na obra A



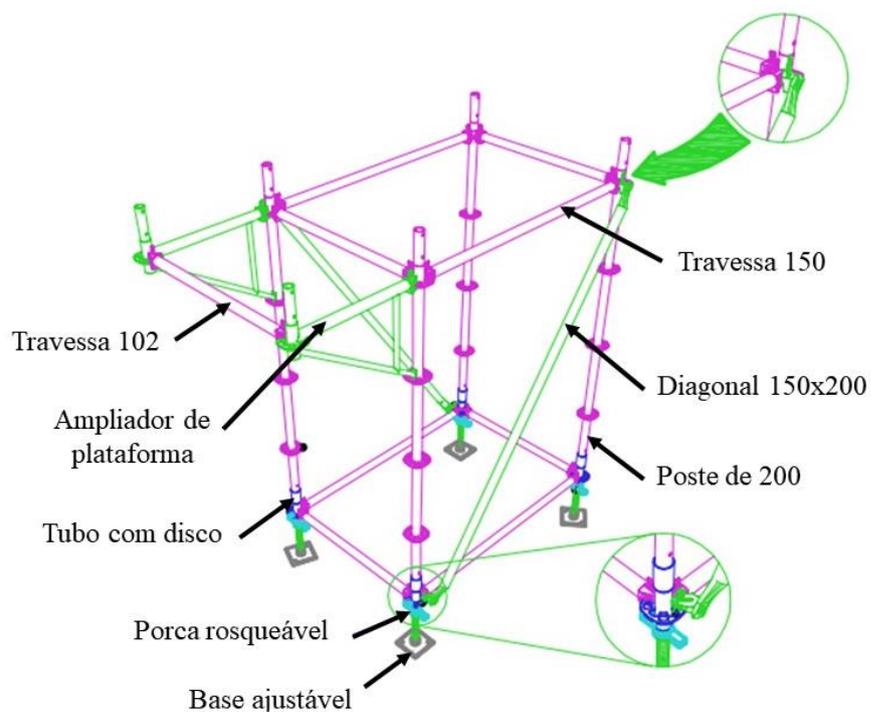
Fonte: Capivari Metais

Outro ponto a ser observado é o fato de existirem na obra A redes advindas de outra obra da empresa X. Como as redes têm prazo de validade, algumas dessas redes precisaram ser ensaiadas durante a execução do empreendimento. Assim, além dos diferentes componentes listados, a empresa ainda classificava as redes já utilizadas na obra anterior em cinco categorias, conforme discutido na seção 4.2.4 Vida Útil.

A diversidade de peças do andaime fachadeiro vai depender do fornecedor e também do projeto: cada fornecedor tem um catálogo de peças que o projetista pode usar. Desta forma, em obras diferentes podem haver peças diferentes para andaimes do mesmo fornecedor. Além disso, alguns fornecedores trabalham com o andaime fachadeiro modular, também chamado de quadros, e outros com o multidirecional. A diferença entre ambos foi apresentada na seção 2.1.2 da revisão de literatura.

O andaime fachadeiro multidirecional da obra B1 possuía os seguintes componentes: travessas (TR-70, TR-102, TR-150, TR-200, TR-250, TR-300); postes com conector (P 100-C, P 150-C, P 200-C, P 300-C); postes sem conector (P 50, P 100); diagonais (219, 243, 275, 312, 351); ampliador (32,70,102); piso (150, 200, 250); degrau em madeira; ajustes para piso em madeira; suporte guarda corpo; tubo com disco; escada; suporte para roldana; haste inferior (50 e 100 cm); chumbador; olhal; braçadeira; rodapés (frontais e laterais); tela; abraçadeiras de nylon, tubo; quando o fachadeiro estiver em balanço: tirante; porca borboleta; vigas; perfil (W200 e MK). A Figura 32 apresenta um detalhe típico do andaime fachadeiro multidirecional disponibilizado no projeto da obra B1.

Figura 32 - Detalhe típico do andaime fachadeiro multidirecional



Fonte: projeto da obra B1

Já o andaime fachadeiro modular é geralmente composto por: sapatas; painéis fachadeiros; diagonais; guarda-corpo final de corredor; guarda-corpo; assoalhos; travas de assoalho; ajustes em madeira para piso; rodapé de dois tamanhos; abraçadeira; barra de ancoragem; parafusos; tela; abraçadeiras de nylon e escada.

Conforme a descrição apresentada, o andaime fachadeiro multidirecional da obra B1 possuía mais de 40 componentes, enquanto um andaime fachadeiro modular apresentaria cerca de 15 componentes. A grande diferença entre a diversidade de componentes dos dois tipos de andaimes fachadeiros se confirmou nas entrevistas conforme trechos a seguir:

“O andaime fachadeiro multidirecional tem assoalho de 3, 4 tipos, tem rodapé, diagonal, tudo de 3, 4 tipos. Tem braçadeira, que é uma coisa pequena. Tem que estar bem organizado”. (Engenheiro da obra B1)

“Algumas empresas de andaime fachadeiro tem tanta peça que nem eu consigo diferenciar, porque tem peça com um detalhezinho que é um canto, outra peça que é um encaixezinho. É um material muito diversificado. E o multidirecional é um material que tem encaixe em todas as direções. Então, tu tens diagonais, que são elementos que vão travar o sistema assim, mas também tem diagonais que são horizontais, que travam por cima. Aí é uma festa, o catálogo é gigantesco”. (Projetista e fornecedor de Andaime Fachadeiro)

“O andaime fachadeiro multidirecional tem bastante peça diferente. Quanto mais peça diferente tu tens, mais serviço diferente tu faz. Tem outros fornecedores com menos peças, porque já vem o quadro montado, em questão de montagem, a gente só encaixa o quadro e está pronto. Esse aqui tem que montar o quadro: tu tens que botar o poste, depois a travessa, aí depois bota o assoalho, para depois fazer o guarda-corpo... requer um pouco mais. Lá no outro não, colocou o quadro e a travessa e deu. Mas o andaime multidirecional é ótimo”. (Montador de andaime fachadeiro da obra B1)

4.2.2 Segurança da equipe de montagem e desmontagem

As equipes de montagem e desmontagem são os usuários temporários dos SPCQA e devem estar seguras durante estas operações. Para avaliar este fator, foi proposto no capítulo anterior uma matriz de análise de riscos (Figura 21, da seção 3.3.1.2). Esta matriz, porém, foi utilizada apenas no estudo empírico 3. Os estudos 1 e 2 serviram para identificação dos perigos na montagem e desmontagem dos SPCQA.

Os principais pontos apontados para a segurança da equipe de montagem e desmontagem do sistema de redes nas entrevistas foram sintetizados nestas falas:

“Eu monto fachadeiro também, mas odeio o fachadeiro. É muita peça e o risco de cair peça é grande. Com a rede, nosso único perigo era cair na bolsa, mas agora estão usando o guarda-corpo. Então a gente trabalha sempre dentro da laje, não sai para fora da torre nunca. No fachadeiro não, imagina um vendaval vindo e ele só está preso embaixo. Para os carpinteiros é tranquilo com fachadeiro, mas para gente que tem que montar é ruim. Nas redes, se tiver linha de vida em vez de guarda-corpo, e a gente se

esquecer de engatar o cinto, cai na rede. No fachadeiro, cai lá embaixo.” (Montador de redes da obra A)

“A gente entende que a rede tem um peso menor para o trabalhador poder fazer a montagem, é mais fácil. Ela é mais segura do que os outros sistemas pelo fato de que quando tu montas a rede, tu montas dentro da projeção do prédio, se tu vais montar qualquer outro sistema, tu montas fora da projeção do prédio”. (Coordenador de obras da empresa X)

A questão ergonômica é um dos diferenciais das redes, já que são muito mais leves que os andaimes, os multidirecionais pesam cerca de 25 kg/m² de fachada, mesmo que as forcas (70kg) e a PPMD sejam pesadas. De acordo com os fornecedores, eles oferecem um sistema elétrico para subir as forcas, bem como a própria grua da obra pode ser utilizada para esta tarefa. O coordenador de obras da empresa X observa:

“Para as forcas das redes, hoje elas sobem manualmente, sem maiores problemas. Assim como, se tu parar para analisar, com andaime fachadeiro, como as peças sobem até o décimo andar? [...] E o pior, que todas elas sobem lá do térreo. A força sobe só um andar. Na verdade, a força desliza em um sistema de ganchos, eventualmente, se acontecer alguma coisa, ela não cai”. (Coordenador de obras da empresa X)

Essa afirmação vai ao encontro do que disse o montador de andaime fachadeiro:

“Carregar o material é o que exige mais esforço físico. Descarregar do caminhão e levar até o local que sobe, que é o cremalheira. Ou depois que desmonta, ir carregando as peças nas costas até o local que desce. Essa é a parte pior”. (Montador de andaime fachadeiro da obra B1)

Além disso, nos casos em que o andaime fachadeiro está em balanço, como nos casos das obras B1 e B2, as vigas do balanço pesam entre 90 e 120 kg. Também foram apontados, sobre os andaimes fachadeiros, as seguintes questões:

“Afastamento do trabalho por 15 dias ou mais, isso é uma coisa que normalmente acontece quando se usa o andaime fachadeiro, pelo menos uma vez porque, como existe uma movimentação de material, às vezes o pessoal acaba pegando material que é pesado, acaba batendo no dedo e quebra o dedo, aperta a mão”. (Projetista e fornecedor de Andaime Fachadeiro)

“Nunca aconteceu nada comigo na montagem ou desmontagem do fachadeiro. Mas já ouvi falar de cara que ficou pendurado ou derrubou peça”. (Montador de andaime fachadeiro da obra B1)

Outro ponto importante, apontado pelo projetista e consultor em segurança entrevistado, o qual trabalha com diferentes SPCQA, é que o andaime fachadeiro é mais suscetível a erros durante a montagem e desmontagem “*pela pressa com que são executadas tais tarefas, já que o tempo de ciclo das obras geralmente é curto*”. Esses erros acabam resultando em riscos não apenas para a equipe de montagem, mas especialmente para as demais equipes da obra, que deveriam estar protegidas pelo SPCQA.

Assim, os principais perigos na montagem e desmontagem dos SPCQA identificados foram:

- i. Lesões devido ao manuseio de ferramentas e equipamentos.
- j. Transporte de peso acima da capacidade do trabalhador.
- k. Queda de trabalhador no mesmo nível.
- l. Queda de altura de trabalhador através da periferia do pavimento.
- m. Realização de atividades sem EPI.
- n. Falta de leitura e interpretação errada do projeto resultando em montagem inadequada.
- o. Erro na separação dos materiais que compõe a proteção.
- p. Queda de material.

4.2.3 Ritmo de montagem e desmontagem

Os SPCQA são montados conforme a estrutura da edificação é construída. Por isso, o ritmo de montagem deve atender a demanda da obra. Nas obras visitadas, uma nova laje era concretada em média a cada 6 dias. Desta forma, a equipe de segurança deveria conseguir montar um novo pavimento de andaime fachadeiro ou fechar um novo pavimento com redes U e subir a rede V a cada seis dias também. A equipe de segurança é dimensionada a partir dessa demanda, conforme relato:

“A estrutura não pode parar. Então se eu tenho dois caras montando o fachadeiro e eles não estão dando conta, vou ter que colocar 4, se 4 não dão conta, vou ter que botar 5 e ir aumentando a equipe, nunca diminuindo a velocidade da equipe de forma. Na desmontagem inverte. A desmontagem do fachadeiro dá prioridade, se um pedreiro não está dando conta, bota 2, se 2 não estão dando conta boto 3, o cara tem que desmontar, tem que baixar o fachadeiro porque é custo”. (Engenheiro da obra B1)

Na entrevista com o engenheiro da obra que tinha andaime fachadeiro também ficou clara a importância do ritmo da desmontagem do equipamento. Assim que o sistema pode ser desmontado, a empresa dá prioridade a esta tarefa, já que o andaime fachadeiro é alugado. Durante a desmontagem do andaime fachadeiro, a equipe de segurança depende de um pedreiro para fazer os arremates nos pontos de ancoragem do andaime com a fachada, por isso há uma preocupação que esse pedreiro acompanhe o ritmo da desmontagem. Neste fator, as redes são mais práticas, uma vez que a rede U pode ser retirada pela própria equipe que faz o reboco externo com andaime suspenso (balancim).

De acordo com o fornecedor de redes, uma equipe de 4 pessoas consegue fazer toda a montagem da U e ascensão da V para um perímetro de 100 m em um dia de trabalho. Para o andaime fachadeiro, de acordo com o montador entrevistado, duas pessoas montam 100 m² em um dia de trabalho e desmontam 100m² em cerca de 6 horas.

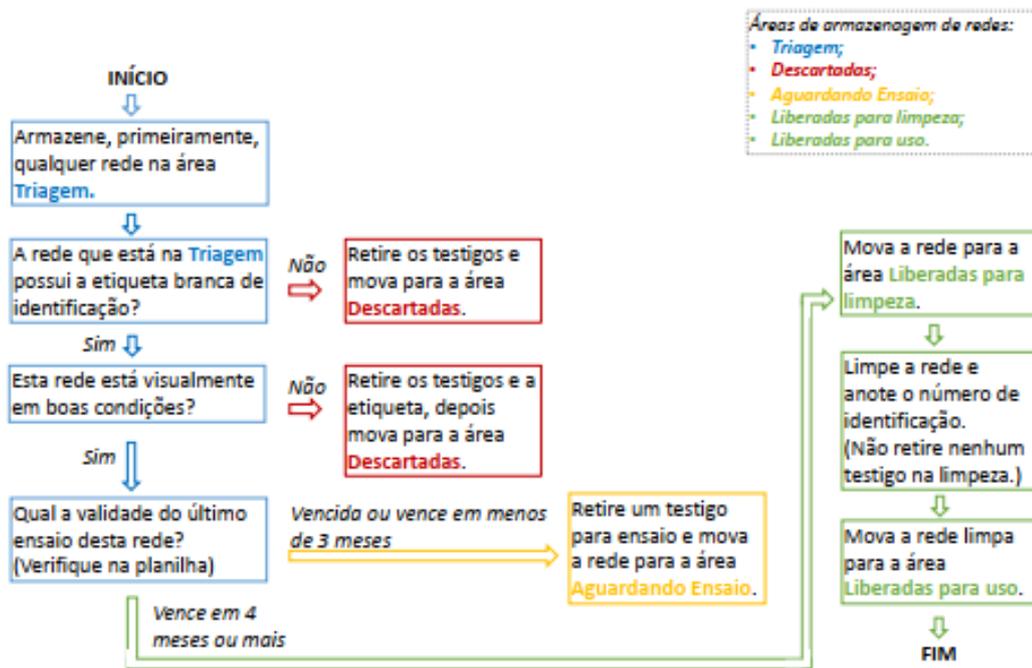
4.2.4 Vida útil

A vida útil das peças do andaime fachadeiro é indeterminada, e as peças geralmente são alugadas. Quanto às redes, existe uma discussão sobre o período que podem ser utilizadas. Na região do estudo, pelas recomendações do CPR, as redes podem ser utilizadas por, no máximo, dois anos. Porém, a empresa X optou por continuar utilizando as redes após dois anos, pois realiza ensaios periódicos de resistência das redes em laboratório do fabricante na Espanha conforme exigências da norma EN 1263-1. Isso é possível, pois cada rede possui três malhas de ensaio, também chamadas *testigos* ou corpos de prova. Uma destas malhas pode ser vista na Figura 30.

De acordo com os engenheiros desta empresa, em 2015, foi colocado arbitrariamente como um dos itens principais da recomendação técnica do CPR, que as redes teriam dois anos de validade. Porém, a empresa X tem estudos e monitoramentos de redes com um período maior que dois anos que se comportam, com relação à resistência, de uma forma similar ou, até mesmo igual, às redes com menor idade. Este monitoramento foi feito com apoio científico de laboratórios, com ensaios contratados pela empresa, bem como ensaios feitos pelo fabricante. Então, hoje, a empresa X entende que as redes podem ser usadas por mais de dois anos, desde que se tenha instalação correta, rede no estado correto (sem rasgos) e rede ensaiada. Assim, a empresa X acredita, ser necessária uma revisão nas recomendações do CPR neste aspecto.

Porém, a vida útil limitada e a necessidade de ensaios a cada ano aumentam a complexidade da gestão da segurança. Na obra A existiam redes com diferentes datas de fabricação. Como a empresa X havia trabalhado com as redes em duas obras anteriores e a obra A estava em sua terceira fase, a empresa possuía muitas redes já utilizadas. Por isso havia na obra um setor de triagem desse material, separando-o em descartadas, aguardando ensaios, liberadas para limpeza e liberadas para uso. A Figura 6 apresenta um fluxograma desta triagem, o qual foi elaborado pela autora para auxiliar a empresa X. No fluxograma a validade da rede deve ser verificada em maior ou menor que três meses, pois este é o tempo decorrido entre o envio da malha de ensaio para o fabricante na Espanha e o recebimento do resultado do ensaio.

Figura 33 - Fluxograma de triagem, armazenagem, descarte e limpeza de redes



Fonte: autora

Além disso, para controle das redes instaladas, é necessária a rastreabilidade de cada uma delas dentro da obra. As redes vêm etiquetadas de fábrica, com número de identificação e prazo de validade. As informações da etiqueta, bem como a localização de cada rede na obra e a data do último ensaio de cada rede são alocadas em uma planilha para controle e rastreabilidade. As técnicas de segurança da obra são responsáveis por monitorar nesta planilha as datas de validade dos ensaios das redes em uso, além de recolher as malhas de ensaio, quando necessário para nova validação.

4.2.5 Flexibilidade para atender obras posteriores

O sistema de redes pode ser reaproveitado em outras obras levando em conta a vida útil das mesmas. O reaproveitamento também acaba dividindo o custo dos equipamentos entre as obras. Porém, deve-se analisar se a empresa possui obras em vista, e se essas obras podem reaproveitar o sistema. Para a empresa X, por ter um grande empreendimento com 11 torres iguais e um empreendimento em vista com mais 6 torres com a mesma geometria, a possibilidade de reaproveitamento contou muito na escolha do SPCQA.

O sistema de andaimes fachadeiros, caso fosse comprado pela construtora para uma determinada obra, poderia ser reaproveitado desde que se adaptasse bem à nova obra. Isso pois

o sistema pode ser montado e desmontado inúmeras vezes e sua vida útil não é controlada. Porém, é prática das empresas alugar o andaime fachadeiro. A decisão por alugar é tomada devido ao custo elevado de compra e pela dificuldade de adaptação das mesmas peças em obras diferentes, além disso seria necessário um grande espaço para estocar as peças enquanto não estivessem sendo utilizadas. Desta forma, em caso de andaimes fachadeiros alugados, não cabe a vantagem da flexibilidade para atender obras posteriores, pois o reuso seria feito pelo fornecedor em outra obra de qualquer empresa.

4.2.6 Trânsito pela periferia da obra

O andaime fachadeiro funciona como plataforma de trabalho. Nas obras da empresa Y é geralmente utilizado para aplicar chapisco, emboço, reboco externo e selador. A pintura usualmente é feita com andaime suspenso (balancim). De acordo com os engenheiros da empresa Y:

“Com o fachadeiro, a necessidade de andaime suspenso é reduzida. A gente consegue conferir por fora a alvenaria, deixar ela preparada para receber o reboco, conferir o chapisco, conferir o reboco externo, conferir o selador. A qualidade de serviços externos aumentou bastante. [...] Há necessidade de andaime suspenso só para textura e pintura.” (Engenheiro da obra B1)

Existem algumas diferenças entre o andaime fachadeiro modular e o multidirecional neste fator. O andaime modular caracteriza-se por ter piso a cada dois metros de altura, devido ao tamanho fixo do quadro. Por outro lado, o andaime multidirecional possui rosetas nos postes que permitem que o piso seja colocado em diferentes níveis. Desta forma, com o multidirecional, geralmente os pisos são instalados o mais próximo possível dos níveis das lajes da edificação, ficando aproximadamente a cada 3m. Isso prejudica, por exemplo, a execução do reboco a 2,85m, que acaba sendo feito com auxílio de um banco, conforme mostra a Figura 34.

Figura 34 - Execução do reboco com andaime fachadeiro multidirecional na obra B1



Fonte: autora

Por outro lado, a instalação da plataforma de trabalho próxima ao nível da laje promove uma sensação de segurança maior para quem está dentro da edificação. Ademais, com menos peças de piso, o andaime fachadeiro multidirecional pode se tornar mais barato que o modular. Outro ponto favorável é a montagem das formas e armaduras das lajes, a qual acaba sendo facilitada com as plataformas de trabalho niveladas com a laje a ser executada.

Em obras com redes, por outro lado, necessita-se o uso de andaimes suspensos ou plataforma cremalheira para serviços externos, exceto em edificações com laje técnica, na qual o funcionário fica na própria laje técnica e é protegido pela rede U. A empresa X tem adotado o uso de andaime suspenso nas fases anteriores da obra A. Antes das etapas de chapisco, emboço e reboco, estes equipamentos também são usados para retirar com esmerilhadeira os ganchos das redes presentes na estrutura.

4.2.7 Antecipação de atividades

O uso de determinado SPCQA pode interferir na sequência de atividades da obra. Na obra B1, o andaime fachadeiro, por ser utilizado com uma tela que veda a torre contra a umidade, permitiu a antecipação de vedações verticais internas em *drywall*. Na obra A, que possuía redes de segurança, as divisórias internas em gesso só poderiam ser executadas depois que as esquadrias externas estivessem instaladas.

Outra tarefa que pode ser antecipada com o andaime fachadeiro é o reboco externo. De acordo com o engenheiro da obra B1, isso pode ser feito através de uma prática que consiste em não esperar a alvenaria externa ser finalizada em toda a torre para iniciar o reboco externo. Quando a alvenaria (que é executada de baixo para cima) está sendo feita em um pavimento intermediário, a equipe de reboco já começa seu serviço nos pavimentos inferiores, e depois faz o reboco da parte superior da torre, ou seja, do pavimento mais alto até aquele intermediário. Na obra B1, porém, essa prática não foi adotada.

4.2.8 Postergação de atividades

Embora algumas atividades possam ser antecipadas, outras precisam ser postergadas devido ao SPCQA. Tanto na obra B1 como na B2, o andaime fachadeiro estava em balanço. Desta forma, permite-se a liberação de espaço no térreo melhorando a logística do canteiro de obras e possibilita-se que outros setores adjacentes à torre sejam construídos antes que todo o andaime seja desmontado. Porém, atrasa-se a execução do pavimento em que ficam os trilhos do balanço. A Figura 35 mostra os trilhos na obra B1 vistos de (a) dentro e (b) fora da edificação.

Figura 35 - Trilhos para instalação do andaime fachadeiro em balanço na obra B1



Fonte: autora

4.2.9 Dependência entre equipes

Para ambos os SPCQA analisados, a montagem da proteção é feita de forma sincronizada com a estrutura. Porém, as redes podem ser instaladas pela própria equipe de obra, enquanto os andaimes fachadeiros necessitam mão de obra especializada. Segundo os fornecedores de redes:

“A própria equipe de produção pode montar as redes, o fornecedor faz o treinamento se a empresa quiser, com um certificado específico para a obra em questão. No litoral, a maioria das empresas tem mão de obra própria, aí elas optam por essa mesma equipe montar as redes. Em Porto Alegre, que é quase tudo com empreiteiro, geralmente as empresas contratam uma equipe para montar.” (Fornecedor de redes)

“Em São Paulo, nós temos as duas coisas. Muitas vezes, em termo de custo, o próprio cliente e a equipe dele que fazem o serviço. Então, capacitamos até os carpinteiros dele, os serventes dele. Aí não precisa ter uma equipe de segurança. Porque daí eles concretam em um dia, no dia seguinte eles mesmos vão fazer a ascensão. O sistema de redes é fácil de montar. Depois que tu dominou, é muito fácil. Diferente dos fachadeiros, que sempre vai ter alguém especializado, um cara bem mais treinado.” (Fornecedor de redes)

Além disso, na desmontagem do andaime fachadeiro há mais dependência entre equipes do que na desmontagem das redes. A equipe que desmonta o andaime fachadeiro depende de um pedreiro, de um pintor e da equipe que instala as esquadrias, conforme relatos:

“O andaime fachadeiro gera arremates na fachada. Ele é ancorado na fachada. Então a gente trabalha sempre com a equipe da segurança do trabalho, desmontando, com uma equipe de pedreiro, fazendo os arremates e uma equipe de pintor, selando a fachada [...]. Quando desmontam o fachadeiro, a gente sempre deixa um quadro de esquadria faltando, bem na frente da cremalheira para passar as peças para dentro do prédio. As peças passam também pelo fechamento de madeira do próprio cremalheira que pode ser retirado. Então no momento que o fachadeiro baixou, eu vou ali e instalo a esquadria que estava faltando.” (Engenheiro da obra B1)

A empresa Y tem como prática instalar as esquadrias por pavimento tipo, começando pelo mais alto. Desta forma, como demonstrado na Figura 36, assim que um pavimento está vedado pelas esquadrias (a), o andaime fachadeiro pode ser retirado do mesmo (b). Para isso, um dos vãos de esquadria fica sem o quadro (c), facilitando a passagem das peças do andaime para dentro da edificação. O fornecedor de andaimes entrevistados salientou que essa é uma prática importante para reduzir os gastos com o aluguel do SPCQA:

“Com o fachadeiro, se a obra conseguir fazer as esquadrias no tipo e entregar todas juntas no pacote de compra ao invés de entregar todas as esquadrias de dimensões iguais, eles ganhariam velocidade. Porque eles dariam acabamento nos peitoris de janela, colocariam a esquadria, daí pode desmontar o sistema e vir baixando. [...] Precisa amarrar o contrato desse fornecedor que vai fabricar a esquadria para que ele entregue pacotes específicos. Vocês vão ganhar velocidade, porque vocês vão desmontar o sistema antes, entregar unido e vir desmontando.” (Fornecedor de andaimes fachadeiros)

Figura 36 - Dependência entre (a) a instalação das esquadrias e (b) desmontagem do andaime fachadeiro, em que é deixado um (c) vão para passagem das peças do SPCQA



Fonte: autora

4.2.10 Possíveis danos ao acabamento na desmontagem

As redes não oferecem risco de danos ao acabamento pois são retiradas antes da execução dos mesmos, além disso, as redes são leves e maleáveis. Por outro lado, durante a desmontagem do andaime fachadeiro na obra B1, verificou-se que algumas pedras de granito instaladas em peitoril de janelas haviam sido quebradas. Isso traz um grande transtorno para a obra e acaba sendo uma desvantagem deste tipo de SPQC. Como descrito no fator anterior, um dos quadros de esquadria já tinha sua instalação postergada para que o mesmo não fosse danificado, porém, além das esquadrias, outros acabamentos devem receber atenção durante a desmontagem do andaime fachadeiro. Os relatos do engenheiro da obra e do montador a seguir demonstram esta situação, ao passo que a Figura 37 apresenta as peças do andaime fachadeiro recém desmontado dentro da edificação B1 com o *drywall* instalado.

“Quando houver *drywall* nos pavimentos em que as peças do andaime fachadeiro vão passar depois de retiradas, tem todo um cuidado ali, para não danificar, tanto o lugar onde tem só o frame quanto, muito mais, onde já tem a placa.” (Engenheiro da obra B1)

“O pior do fachadeiro é na hora de desmanchar, porque aí a obra já está em fase de acabamento. Tem que tomar cuidado para não estragar o que já está pronto. Porque as peças do fachadeiro vão passar por dentro da edificação.” (Montador de andaimes fachadeiros)

Figura 37 - Dependência entre a desmontagem do andaime fachadeiro e a instalação das esquadrias



Fonte: autora

4.2.11 Adaptação com a fachada

O estudo da fachada da edificação é fundamental para a escolha do SPCQA. Deve-se analisar o formato da edificação, se há lajes técnicas ou sacadas que influenciem na escolha, se o pé direito comporta o SPCQA e se é possível instalar os acabamentos utilizando cada proteção.

O revestimento da fachada pode ser um limitador na escolha de SPCQA. Em caso de fachadas de alvenaria com reboco, o andaime fachadeiro é muito útil por servir como plataforma de trabalho conforme descrito em no item 4.2.6 (trânsito pela periferia da obra). Porém, em caso de fachada unitizada, com painéis modulares com perfis de alumínio e vidros laminados pré-fabricados com a altura do pé-direito da edificação, não é possível utilizar o andaime fachadeiro na instalação das peças, sendo melhor optar pela rede U, conforme descrição do fornecedor que atende muitas obras em São Paulo:

“Hoje em São Paulo se usa muito fachada unitizada, ela vem com um ou dois andares. Então tu tens unidades só com um módulo. Tu faz os ganchos internos e leva o módulo para lá. Vem por fora mesmo. O cara tem um guinchinho lá em cima e lá de baixo ele traz por fora e coloca. Predeu, está feito. Então o funcionário que está fazendo a montagem está por trás da rede [...] Ele fica por dentro da edificação com a rede, aí consegue puxar e montar e depois tira a rede fora, descarta ela.” (Fornecedor de redes)

Em caso de fachadas com pele de vidro em módulos menores que a altura do pé-direito, é possível utilizar o andaime fachadeiro desde que exista espaço suficiente entre a estrutura da edificação e o andaime para instalação da pele de vidro. Porém esse vão acaba reduzindo a segurança dos usuários durante a obra, uma vez que os trabalhadores ficam mais suscetíveis a quedas neste espaço, ou aumenta a necessidade de proteções adicionais, por exemplo, um guarda-corpo interno. Além disso, a desmontagem do andaime fachadeiro depois que a pele de vidro está instalada deve ser feita com extremo cuidado para não danificar o acabamento. Há também interações entre a equipe que monta a pele de vidro e a equipe que desmonta o andaime fachadeiro, pois alguns módulos só podem ser instalados após a retirada da ancoragem do SPCQA. Essas observações são válidas também para revestimentos de fachada em pedras, placas de concreto ou painéis compostos de alumínio.

Além do revestimento da fachada, a geometria da edificação é outro ponto importante. Fachadas muito recortadas podem ser um problema tanto para as redes V, pelas forcas e ainda mais se for utilizado o sistema de proteção periférica metálico, como para os andaimes fachadeiros. De acordo com os entrevistados:

“Quanto mais reta a fachada mais adequada ela fica para o andaime fachadeiro, pela rigidez do andaime fachadeiro. Agora, uma fachada que seja muito recortada ou que tenha muitas saliências, o trabalho com andaime fica extremamente difícil.”
(Projetista e consultor)

“Se tem lajes desencontradas, dá para usar rede V, mas eu crio um elemento metálico que fica na mesma prumada que o de baixo. [...] quando eu estiver fazendo essa forma, tem que cuidar o seguinte, eu tenho que assoalhar até a forca, senão o cara pode cair aqui. Uma queda interna. Ou muitas vezes tu tens uma sacada ou uma laje técnica que sai 60, 70 centímetros. Como na rede V tu tens uma bolsa, tu fazes dentro dessa bolsa.”
(Fornecedor de redes)

Assim, as redes V, em geral, podem facilitar a adaptação à geometria da fachada em comparação aos andaimes fachadeiros. Além disso, a rede U se adapta muito bem a fachadas com reentrâncias devido a sua maleabilidade. Isso pode ser observado na Figura 38, a qual apresenta três obras com redes U atendidas por um dos fornecedores entrevistados.

Figura 38 - Adaptação da rede U com diferentes fachadas

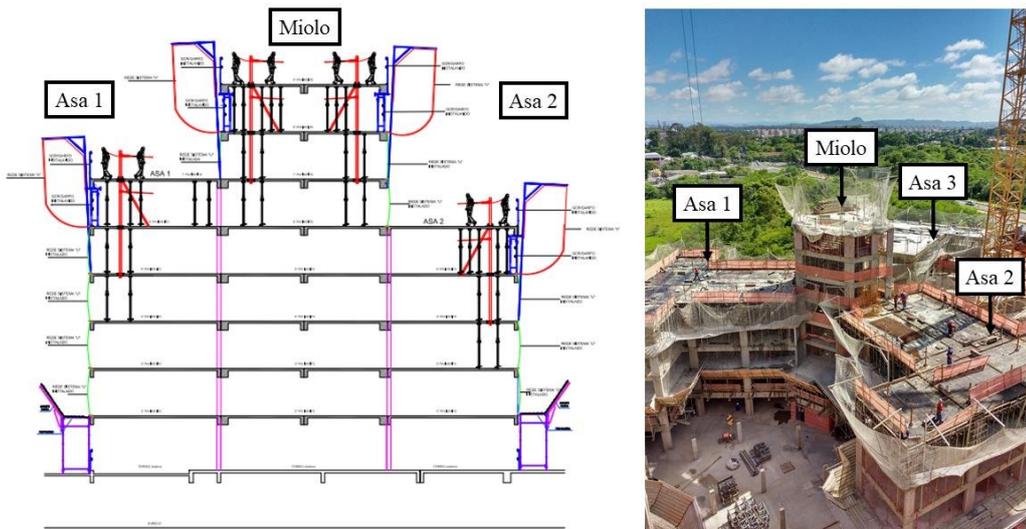


Fonte: Disemaq (2018)

Esta questão da geometria da edificação foi muito importante na obra A, na qual cada torre era composta por três asas e um miolo, conforme Figura 39. O montador das redes explicou a dificuldade ocorrida na primeira fase da obra para adaptar as redes com a fachada, pois as asas eram concretadas em dias diferentes. Para a estratégia adotada funcionar, a laje do miolo sempre estava dois pavimentos acima das demais.

“Antigamente a rede era inteira para todo o pavimento, só que eles concretavam em etapas, cada asa em um dia diferente. Aí eles não conseguiam subir a rede porque cada pavimento estava em um nível diferente. Na segunda fase da obra eles separaram o miolo, aí deu certo, ficou 100% fechado.” (Montador de redes da obra A)

Figura 39 - Adaptação do sistema de redes com a geometria da obra A em sua terceira fase



Fonte: autora

Algumas considerações também devem ser feitas em relação à altura da edificação. De acordo com o projetista e consultor entrevistado, se o edifício for muito alto, monta-se o andaime fachadeiro até o 15º pavimento, onde então é necessária uma estrutura em balanço para recomençar o andaime. Além disso, a altura do pé-direito também influencia a escolha. A rede V, por ter altura de queda máxima de 6 m e ser ancorada na laje logo abaixo da que se está trabalhando, pode ser usada com pé-direito máximo de 6 m.

4.2.12 Frequência de entrega e retirada de materiais na obra

De acordo com os fornecedores entrevistados, as redes são compradas para todo o empreendimento, geralmente, no início da obra ou é feito um acordo com a construtora para entrega do material em até quatro vezes. Na obra A as redes eram advindas da fase anterior do empreendimento em construção. De acordo com o engenheiro coordenador de obras da empresa X, referindo-se a obra A:

“A rede tem um volume muito menor para armazenagem e para transporte. Se tu vais trabalhar com um andaime fachadeiro, em uma obra como a nossa, tu vais ter que ter inúmeras carretas para trazer e descarregar o material.” (Coordenador de obras da empresa X)

Já o andaime fachadeiro é entregue conforme a demanda da obra, ou seja, conforme o avanço da estrutura em concreto. Nas obras visitadas que utilizavam o andaime fachadeiro, o ciclo era de uma nova laje sendo concretada a cada 6 dias. Então havia um volume grande de peças chegando na obra toda semana pois o material era entregue por pavimento. Na obra B2 havia somente uma entrada de caminhões, de forma que a obra não podia receber outros materiais enquanto as peças do andaime eram descarregadas. O mesmo deve ocorrer posteriormente, durante a desmontagem deste SPCQA, pois as peças também serão retiradas uma vez por semana bloqueando a entrada. Assim, a grande quantidade de peças e a frequência de entrega e retirada das mesmas impacta na logística da obra.

4.2.13 Estoque

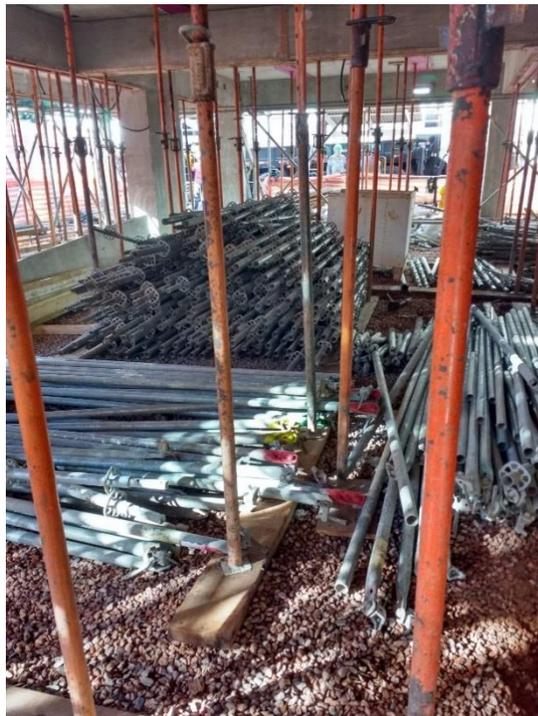
A grande quantidade de componentes de um SPCQA também influencia a necessidade de estoque. O espaço necessário no canteiro de obras para estocar os componentes do SPCQA varia de acordo com o sistema escolhido. Este espaço é necessário tanto quando as peças chegam na obra, para montagem, quanto logo que são retiradas da edificação, na desmontagem do sistema.

De acordo com as observações feitas nas obras, bem como as entrevistas, percebe-se que as redes ocupam bem menos espaço que as peças dos andaimes. De acordo com o montador de andaime fachadeiro:

“O andaime multidirecional é muita peça. Em volume mesmo. É muito material. Dependendo do tamanho do canteiro, no início quando o térreo ainda está escorado, fica complicado achar lugar para armazenar o material. ” (Montador de andaime fachadeiro da obra B2)

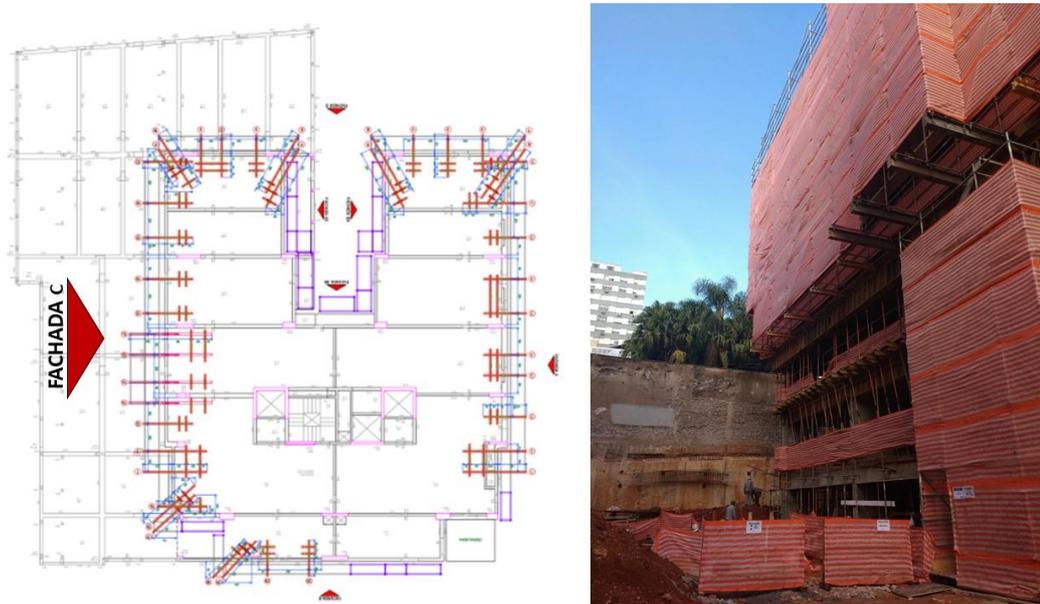
Além do espaço ocupado pelas peças no estoque (Figura 40), o andaime fachadeiro também pode ocupar uma parte do canteiro de obras quando montado desde o térreo. Por isso, na obra B2, que possuía espaço bastante limitado, a obra foi setorizada e o andaime fachadeiro foi montado em balanço, conforme projeto e foto apresentados na Figura 41. Com isso, mais espaço pôde ser liberado no térreo, junto a fachada C, para entrada de caminhão, montagem das ferragens e estrutura de apoio. Nesta parte da obra, posteriormente, será construída a garagem do empreendimento.

Figura 40 - Estoque de peças para o andaime fachadeiro da obra B2



Fonte: autora

Figura 41 - Projeto de locação de perfis em balanço e andaime fachadeiro na fachada C da obra B2



Fonte: autora

4.2.14 Uso de equipamentos para movimentação dos componentes do SPCQA

Os SPCQA podem necessitar de equipamentos de transporte para movimentação de seus componentes dentro da obra. Por exemplo, o uso destes equipamentos de transporte reduz o esforço físico para movimentar os componentes, reduzindo, portanto, o risco existente nesta tarefa. Esta questão é especialmente importante quando se opta pelos andaimes fachadeiros, como afirma o projetista e consultor em segurança entrevistado.

“A grua facilita em relação às redes, mas não precisa ter. Agora tu imaginas em uma obra grande, com andaime fachadeiro, tu subir aquelas peças do andaime tudo na mão. Um equipamento como a grua ou mini grua é fundamental se está usando andaime fachadeiro.” (Projetista e consultor)

Porém, o uso dos equipamentos de transporte para movimentar as peças do SPCQA impacta na logística da obra. Uma vez que esses são também utilizados para o transporte de demais materiais da obra, ou mesmo de pessoas (no caso do elevador cremalheira), a movimentação de peças do SPCQA gera esperas para as demais tarefas. Ou seja, o elevador cremalheira ou a grua acabam ficando indisponíveis para as tarefas de produção enquanto carregam os componentes do SPCQA. Além disso, pode haver interferências físicas entre estes equipamentos e o SPCQA. Desta forma é necessário analisar como é a interface entre o SPCQA e os demais equipamentos existentes na obra. Na obra A, por exemplo, ocorreu de a grua colidir com uma das forcas, conforme mostrado na Figura 42.

Figura 42 - Grua atingida pela força na obra A



Fonte: autora

4.2.15 Experiência da empresa

A empresa X só tinha experiência com redes, a qual foi decorrente de outras duas obras e de duas fases anteriores do empreendimento A. Este empreendimento conta com 11 torres iguais e estava em sua terceira e última fase, com a construção de três torres, durante o estudo. As fases anteriores permitiram que a empresa adquirisse experiência e aprimorasse o sistema de redes ao longo do uso, conforme relato:

“Eu vou dizer que a maior vantagem nossa é que eles (montadores e demais funcionários da obra) ganharam bastante experiência das outras fases. Como é repetitiva, ajuda muito, tu tens dificuldade em um primeiro momento, no segundo momento já entra na cultura do pessoal.” (Engenheiro da obra A)

De forma similar, a empresa Y, a qual utiliza andaimes fachadeiros, não tem experiência com redes, mas possui experiência em outras 10 obras com andaime fachadeiro. Atualmente, esta empresa utiliza o andaime fachadeiro multidirecional por já ter tido experiências anteriores insatisfatórias com o andaime fachadeiro modular, principalmente porque a plataforma de trabalho do mesmo não fica nivelada com a laje da edificação.

4.2.16 Segurança das equipes da obra após instalação

As equipes da obra que estarão protegidas pelo SPCQA após sua instalação são os usuários finais destes sistemas. Para avaliar este fator, foi proposto no capítulo anterior uma matriz de análise de riscos (Figura 21, da seção 3.3.1.2). Porém, como mencionado em 4.2.2, essa matriz foi utilizada apenas no estudo empírico 3. Os estudos 1 e 2 serviram para identificação dos perigos relacionados aos usuários finais do SPCQA.

A equipe que está exposta ao risco de queda da periferia ao montar as formas, armaduras ou concretar cada laje da edificação, bem como os pedreiros que assentam a alvenaria externa são os principais exemplos de usuários finais dos SPCQA. Durante as entrevistas foi apontado que tanto o sistema de redes U e V, mesmo sem a proteção periférica, quanto o sistema de andaimes fachadeiros são seguros depois de montados para estas equipes. Porém foram levantados os seguintes pontos:

“Para obras novas, no meu entendimento, a rede é mais segura do que o andaime fachadeiro. Para reformas, normalmente o mais usado é o andaime fachadeiro, principalmente na Europa para recuperação de fachadas. [...] Muitas vezes ficam frestas entre o piso do andaime e a periferia do prédio.” (Projetista e consultor)

“Para o andaime fachadeiro, a norma não permite que tu trabalhes com mais de uma pessoa em diferentes níveis, digamos, eu não posso estar no segundo andar e tu no décimo fazendo o reboco, não pode. A norma não permite. Tem gente que faz, mas não é para fazer.” (Fornecedor de andaimes fachadeiros)

“Quando se coloca o fachadeiro, ele é fixado na estrutura feita, só que quando eu tenho que subir, eu tenho que vencer a laje a ser construída e mais 1,20m, ou as vezes fica mais até por causa da peça que não casa (andaime modular) solto [...] eu não sei nem se passa, se fizer um ensaio com a carga, não sei. Conforme a NR 18, são 150 kg. A pergunta a ser feita é se os ensaios dos fachadeiros atendem a 13374 [...]. Tem que atender, porque o fachadeiro quando é usado para queda, ele passa a ser uma proteção de periferia. [...] O conceito original do fachadeiro é tu teres um andaime para trabalho, não para proteção periférica.” (Engenheiro de segurança da empresa X)

Além destas questões, este fator também avalia a segurança dos funcionários que trabalham no térreo, no canteiro de obras, os quais podem ser atingidos por eventuais quedas de componentes dos SPCQA. O projetista e consultor entrevistado relatou três acidentes em Porto Alegre em que o andaime fachadeiro caiu sobre o canteiro:

I) “Foi durante a montagem. A causa do acidente foi a pressa. Não deram a devida importância exatamente para a ancoragem. Na noite seguinte a montagem, houve um vento forte e o andaime deitou inteiro. Caiu inteiro. Sete pavimentos.” (Projetista e consultor em segurança do trabalho)

II) “Durante a desmontagem. Eles tiraram mais pontos de ancoragem do que deviam e o andaime desabou todo. Eram 18 andares. A obra tinha 20 andares e eles tinham baixado dois. Isso não foi para o Jornal Nacional porque o acidente ocorreu de noite. Se fosse durante o dia, provavelmente teria matado, no mínimo, 10 pessoas. Esse andaime estava na frente da obra e todo canteiro estava armado na frente, era um local que durante o dia havia grande movimentação de pessoas. Foi um horror.” (Projetista e consultor em segurança do trabalho)

III) “Foi provocado pelo vento em uma obra de 18 andares. Naquela ventania forte que teve há alguns anos (em Porto Alegre). Ele tombou parcialmente, uns 2 ou 3 andares de altura lá em cima e teve 10 peças que foram parar na piscina do prédio vizinho. Ficou tudo retorcido e parcialmente desmontado. Para desmontar o que restou foi tipo um pega vareta. Nós fizemos um trabalho com um alpinista e tiramos peça por peça, foi uma coisa bem delicada, eu diria quase dramática.” (Projetista e consultor em segurança do trabalho)

Não foram relatados acidentes com as redes. Em situações de ventania, ao contrário do andaime fachadeiro, para as redes foram expostos casos em que elas evitaram acidentes:

“Nós tivemos uma obra [...] que tinha rede U e o operário tinha pego e fechado todo o vão (de alvenaria). Às seis da tarde deu um pé de vento, uma tormenta, e toda a parede do cara caiu dentro da rede. Então, a rede fez uma bolsa até, e segurou todo esse material. Então, deu uma proteção porque ele estava no sétimo andar. Tu imaginas cair toda essa parede, e podia ter pessoas caminhando lá embaixo, apesar de ter bandeja primária e tudo, podia ter ocorrido um acidente. Então ela teve a capacidade de absorver tudo isso aí. E também teve, em São Paulo, o cara estava lá no vigésimo andar, vigésimo quinto, deu um final de tarde, o mestre tinha uma mesa, uma mesa para abrir os projetos, sabe? Essa mesa voou e foi parar na rede V. Ela segurou esse material. Então, a rede tem essa capacidade de até, em questões de vendavais e tudo, de reter materiais.” (Fornecedor de redes)

Assim, os principais perigos relacionados aos usuários finais do SPCQA são:

- a. Queda dos usuários nas frestas entre a edificação e a proteção.
- b. Queda de materiais se alguém estiver trabalhando em um nível acima.
- c. Queda dos usuários da periferia da edificação.
- d. Queda de componentes sobre o canteiro durante a montagem/desmontagem.
- e. Queda parcial ou total do equipamento em situações de ventania.

4.2.17 Necessidade de proteção adicional

Na obra A, em que era utilizado o sistema de redes U e V sem a proteção periférica metálica, havia linha de vida no último pavimento. Os montadores do sistema utilizavam cinto de segurança, preso nesta linha de vida, no momento de fazer a transposição da rede V de um andar para o outro. Na época do estudo, essa necessidade do EPI foi questionada pelo gestor de segurança da obra, pois na Espanha as redes são usadas sem a linha de vida. Por outro lado, conforme recomendação do CPR: *“O sistema de rede tipo “V” deve estar associado a um sistema de proteção periférica que impeça a queda de trabalhadores e substitua o uso de linhas de vida”*.

Seguindo a recomendação do CPR, para as redes associadas à proteção periférica, como se começa a montar o sistema a partir do tipo, geralmente precisa-se de um ponto de ancoragem ou linha de vida apenas para montá-lo pela primeira vez. Salvo quando é a partir do térreo. Depois de montado no primeiro pavimento, para fazer a ascensão, o cinto não é mais necessário. As demais equipes da obra também não precisam deste tipo de EPI.

Já para obras com andaime fachadeiro, o funcionário que realiza a montagem e desmontagem do andaime deve usar cinto durante toda a execução de tais tarefas. O cinto, neste caso, é preso no próprio andaime fachadeiro. As equipes que executam a obra, por outro lado, não precisam, pois ficam protegidas de quedas em altura pelo andaime já montado. De acordo com um montador de andaime fachadeiro:

“Tem que usar cinto o tempo todo para montar o fachadeiro. Também é obrigatório usar luva. Mas eu não gosto de usar luva. Eu prefiro sentir o contato da mão com peça, ver que está firme. Com a luva pode escorregar. Eu prefiro saber que está firme na minha mão.” (Montador de andaimes fachadeiros)

Além dos EPIs, outro ponto levantado durante uma entrevista foi o uso da plataforma de proteção primária em obras com andaimes fachadeiro:

“O correto, quando se usa andaime fachadeiro, é que a bandeja primária seja integrada ao andaime. Porém, praticamente nenhuma obra usa.” (Projetista e consultor em segurança do trabalho)

4.2.18 Disponibilidade de fornecedores

Existem diferentes fornecedores de SPCQA no mercado, havendo formas distintas de trabalho. Alguns fornecedores apenas locam ou vendem o material, ficando a critério da empresa contratar projeto e mão de obra. Outros, porém, apresentam uma solução completa para a obra: projeto, logística, frete, mão de obra própria para montagem, conferência em obra, entre outras vantagens. Então, em alguns casos, é a própria equipe do fornecedor que carrega e descarrega as peças do andaime fachadeiro do caminhão, monta e desmonta o equipamento. Em outros casos, quando a equipe de montagem é terceirizada, o fornecedor também acompanha as primeiras montagens e visita a obra com frequência prestando suporte e esclarecendo dúvidas. Este tipo de benefício tem um custo atrelado, mas pode ser um diferencial a ser considerado, na hora da escolha.

Outra questão importante na escolha dos fornecedores é a agilidade para atender a obra. No caso das redes, por serem fabricadas na Espanha, podem demorar até 4 meses para chegar na obra após a encomenda. De acordo com um dos fornecedores de redes de segurança:

“Geralmente, as redes U que temos em estoque são de 3m x 2,9m. 2,9m porque esse é o pé direito mais comum das obras aqui. Se for 2,7 ou 2,8m dá para fazer com a de 2,9m também. O problema é quando a obra tem pé direito maior que 2,9m, aí tem que pedir a rede sob medida.” (Fornecedor de redes)

Ou seja, este fornecedor mantém algumas redes em estoque próprio para atender com mais agilidade seus clientes. Durante esta entrevista, o fornecedor citou como exemplo uma obra em Porto Alegre cujo pé-direito era de 4,5m. Nesta obra, para não se esperar o tempo necessários para as redes sob medida chegarem da Europa, os gestores optaram por comprar a rede U com altura 2,9m e emenda-las para chegar no tamanho necessário. Porém, devido a essas emendas a obra foi interditada e teve que trocar as redes U pelas de altura adequada, gerando um grande transtorno.

4.2.19 Foco de problemas por embargo

Houve unanimidade entre os entrevistados que o andaime fachadeiro é preferido pela fiscalização na cidade do estudo. A própria obra A, a qual usava redes U e V, foi interditada conforme descrito na seção 4.1. De acordo com um projetista e consultor em segurança:

“O Ministério do Trabalho daqui privilegia o andaime fachadeiro. Muita gente que está usando o andaime fachadeiro porque o Ministério do Trabalho na maioria das obras que tem andaime fachadeiro nem vai. [...] E tem especialmente um auditor, que praticamente fez campanha contra as redes. [...] O pessoal está usando andaime mais por medo. Medo da fiscalização.” (Projetista e consultor em segurança do trabalho)

De acordo com um engenheiro de uma das obras visitadas com andaime fachadeiro, este sistema é visto pelos auditores fiscais como *o Deus das proteções*. Isso acaba sendo um fator importante na escolha, já que as empresas nunca querem que suas obras sejam interditadas. Ratificando esta opinião, um dos fornecedores de redes retrata a fiscalização da região do estudo e a compara com a de outros locais:

“Eles querem só andaimes. [...] O fiscal vai para a Europa, depois diz, “Mas lá na Europa só se usa andaime”. Sim! Na Europa é só restauração, não tem obras novas. E a mão de obra lá é mais qualificada.” (Fornecedor de redes)

“Para o uso das redes, nós temos fiscais no interior do estado, que funciona, não tem problema nenhum. Nós temos no litoral, também, muitas obras com rede. Nós vamos ver, também, da região sul para cima não tem problema. No litoral se usa, porque é outra fiscalização, no interior do estado também, foram lá, olharam e tranquilo.” (Fornecedor de redes)

4.2.20 Falta ou divergência de regulamentação

A falta de regulamentação ou a divergência entre legislações pode influenciar na escolha das proteções. Ambas as empresas em que foram desenvolvidos os estudos, bem como os fornecedores entrevistados, têm estudado a legislação nos últimos anos para amparar a escolha SPCQA. Para os andaimes fachadeiros, um ponto importante segundo o fornecedor entrevistado é que a legislação não é clara a respeito da distância entre o andaime fachadeiro e a estrutura da edificação.

“Nós usamos um afastamento padrão de 20 cm do sistema até a estrutura, que é um vão razoável. Na Europa é até 30 cm. Aqui são 20 cm. Ninguém sabe dizer o porquê. Não está escrito em lugar nenhum e foi adotado pelo Ministério do Trabalho.”
(Fornecedor de andaimes fachadeiros)

Isso é importante, pois um afastamento de 20 cm em uma obra cujo revestimento é pastilha pode ser adequado. Porém, em casos de revestimento de pedra ou pele de vidro, dependendo do tipo de caixilho e inserte metálico, se o afastamento for muito pequeno, a execução da tarefa pode se tornar inviável.

Para as redes de segurança, quando se trata de legislação, um ponto muito relevante é o fato de que, de acordo com NR-18 (BRASIL, 2018), a rede V é uma medida alternativa ao uso de plataformas de proteção secundárias, assim pode ser compreendido que a rede V serve para captura de materiais e não de pessoas. Ao passo que, na norma europeia EN1263-1 (AENOR, 2018), a mesma serve para captura de pessoas. Desta forma, se entendemos que a rede V é apenas para captura de materiais, ela não funciona como um SPCQA. Por este motivo, segundo a recomendação do CPR, as redes V devem ser utilizadas em conjunto com outro sistema de proteção de periferia acoplado.

Na visão de alguns entrevistados que trabalham com redes, o uso de dois equipamento simultaneamente é uma redundância. O fornecedor de redes contesta a visão de as redes serem apenas para captura de materiais apontando que é necessária uma tela adicional para os mesmos serem retidos na rede. Ou seja, pelo próprio formato da malha das redes, fica claro que, pela EN1263-1 (AENOR, 2018), na essência a rede é um SPCQA para captura de pessoas, não de materiais.

Devido a essa recomendação do CPR, foi desenvolvido recentemente, na região deste estudo, um sistema de proteção periférica metálica deslizante para ser utilizado com a rede V. Porém, como ainda não há uma recomendação do CPR específica sobre este novo Equipamento de Proteção Coletiva, o Ministério do Trabalho não tem aceitado bem este sistema. Por outro lado, fornecedores e usuários entendem que os mesmos requisitos da NR-18 (BRASIL,2018) e da EN13374 (AENOR, 2013), como dimensões e esforços mínimos, deveriam ser aplicáveis a este novo sistema, não sendo necessário definir requisitos específicos para o mesmo.

Outra divergência entre a regulamentação brasileira e a europeia é o tamanho das malhas e a resistência das cordas perimetrais das redes. Na NR-18 (BRASIL,2018), para a rede V, a malha máxima é de 60X60 mm e a corda deve ter resistência mínima de ruptura à tração de 30 kN.

Porém, posteriormente a essa recomendação, a NR-18 (BRASIL,2018) requer a adoção do critério da norma europeia, a qual tem valores diferentes: malha mínima de 100X100 mm e corda de 20 kN. Além disso, na Europa, recomenda-se que o braço da força tenha entre 2 m e 3 m, então geralmente utiliza-se 2 m. No Brasil, porém, a NR-18 (BRASIL,2018) pede no mínimo 2,5 m.

4.2.21 Custo

O custo dos SPCQA é uma grande preocupação tanto da empresa X, quanto da Y. De acordo com os engenheiros da empresa Y, o custo do andaime fachadeiro é cerca de 0,7% do custo da obra B1. Alguns pontos importantes sobre a viabilidade econômica das redes de segurança e dos andaimes fachadeiros são apresentados a seguir.

Sobre as redes de segurança, elas são sempre compradas. Desta forma, quando se opta pelas redes, todo o material é pedido no início da obra. Geralmente o cliente faz um único investimento. Em casos específicos, para grandes obras podem ser combinadas entregas parciais, e para obras pequenas um dos fornecedores possui algumas forcas para locação.

Em obras com poucos pavimentos, geralmente o uso das redes não é viável financeiramente. Pois, como deve haver 2,5m de altura livres abaixo da rede V e no segundo pavimento geralmente há plataforma de proteção primária, começa-se a montar a rede usualmente no terceiro pavimento. Então o preço para comprar as redes V e forcas para toda a periferia acaba sendo muito elevado para pouco tempo de uso. De acordo com o fornecedor de redes, geralmente para obras com mais de cinco ou seis pavimentos a rede se torna mais barata. Porém, um ponto a ser considerado é que, por o material ser comprado, este pode ser reutilizado em outras obras, conforme aponta o fornecedor:

“Qual é a vantagem da rede V? É que tu tens uma forca galvanizada e pode usar ela por 10, 15 anos. Ou seja, se eu usar mais de uma vez, já vou dividir meu custo da forca ao meio. E a rede, como eu estou te dizendo que tu podes usar mais, então, também tu podes dividir o custo por dois. Se eu for analisar que eu tenho uma continuidade, a rede é a metade do preço de um outro sistema tradicional. Ou até menos.” (Fornecedor de redes de segurança)

Para o andaime fachadeiro, por outro lado, o custo é variável durante a obra, pois as peças são geralmente alugadas. Desta forma, ao longo da construção da edificação, conforme a estrutura vai sendo feita, o custo do aluguel vai subindo. Quando a etapa de estrutura da obra é finalizada, esse fluxo financeiro chega ao máximo. Posteriormente, conforme o andaime fachadeiro é desmontado, o custo vai sendo reduzido.

De acordo com os engenheiros da empresa Y, o custo das redes e do andaime fachadeiro torna-se equivalente quando são considerados todos os custos adicionais. Além do custo das redes em si (apenas material) devem ser considerados também o uso de plataformas suspensas ou plataforma cremalheira para execução das tarefas externas e uso de proteções adicionais como a proteção periférica metálica. Porém, os engenheiros da empresa Y relataram que nos últimos anos, por haver poucas obras na cidade, a empresa tem conseguido negociar o andaime fachadeiro por um bom preço, mas isso está mudando devido a retomada da construção civil.

4.3 ESTUDO 3: IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO PARA ESCOLHA DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO COLETIVA CONTRA QUEDA DE ALTURA (SPCQA)

No estudo empírico 3, o artefato desta pesquisa, proposto na Figura 18 do capítulo anterior, foi implementado para escolha do SPCQA de um novo empreendimento da empresa Y, o qual foi denominado empreendimento C. Esta seção apresenta a compilação e análise dos dados obtidos. Para isso, a mesma está subdividida em 6 tópicos, cada um referente a uma etapa do método proposto.

4.3.1 Etapa 1: definir a equipe responsável pela aplicação do método

A equipe responsável pela aplicação do método, junto à pesquisadora, foi formada pelos gestores da empresa Y, atuantes na cidade do estudo, responsáveis pelas cinco áreas mais relevantes para a escolha de SPCQA. Estas são: segurança, obras, suprimentos, projetos e planejamento e orçamento. Desta forma, um membro de cada área participou do estudo. A Figura 43 representa esta equipe multidisciplinar.

Figura 43 - Setores responsáveis pela aplicação do método



Fonte: elaborado pela autora

A participação de um gestor de segurança se fez fundamental, pois os fatores de escolha utilizados no método envolvem questões técnicas dos equipamentos como sua diversidade de componentes e vida útil. Além disso, o conhecimento desse profissional também foi importante, pois seriam avaliadas a segurança das equipes da obra bem como a dos montadores dos SPCQA. O gestor de segurança da empresa ainda possuía grande conhecimento a respeito da legislação e experiências com obras embargadas, outros fatores do método proposto.

Além disso, foi definido que um profissional com vivência em obra também deveria compor a equipe, visto que os fatores propostos avaliam a interação dos SPCQA com o empreendimento e as tarefas necessárias para construí-lo. Por exemplo, a dependência entre equipes, bem como as influências do SPCQA no canteiro de obras (como necessidade de estoque e equipamentos como mini grua e elevador cremalheira) são pontos importantes que possuem interação com a execução da obra.

Ademais, foi estabelecido que um representante do setor de projetos também deveria participar, pois o método é aplicado a um empreendimento específico. Assim o conhecimento sobre o projeto é muito relevante para caracterizar o uso de cada SPCQA no empreendimento. No caso da empresa Y, o responsável por este setor, que contrata e coordena os projetos (os quais são

terceirizados), é o mesmo profissional responsável pelo setor de planejamento e orçamento, outra esfera importante para avaliar os fatores do método bem como o custo dos SPCQA.

Similarmente, o coordenador de obras da Empresa Y indicou que seria pertinente um representante do setor de suprimentos. Este setor é responsável pela negociação e compra dos SPCQA, tendo contato direto com os fornecedores. Assim, uma vez que o método proposto envolve cotações de preço dos SPCQA disponibilizados pelos fornecedores, um profissional desta área também foi definido para participar do estudo.

Por fim, a escolha de SPCQA pode influir muito no custo da obra, de forma que a tomada de decisão deve ser feita por pessoas com autoridade dentro da empresa. Assim, participaram do estudo: o engenheiro de segurança, responsável pelo setor de segurança de todas as obras; o coordenador de obras, que é engenheiro civil; o responsável pelo setor de suprimentos; e o engenheiro civil responsável pelos setores de (a) projetos e (b) planejamento e orçamento.

4.3.2 Etapa 2: definir o escopo de aplicação do método

O escopo de aplicação do método foi o Empreendimento C, brevemente descrito na seção 3.4 desta dissertação. Na época deste estudo, a obra não havia sido iniciada e o projeto básico do empreendimento estava concluído. Ainda foi definido que apenas o risco de queda pela periferia da edificação seria avaliado.

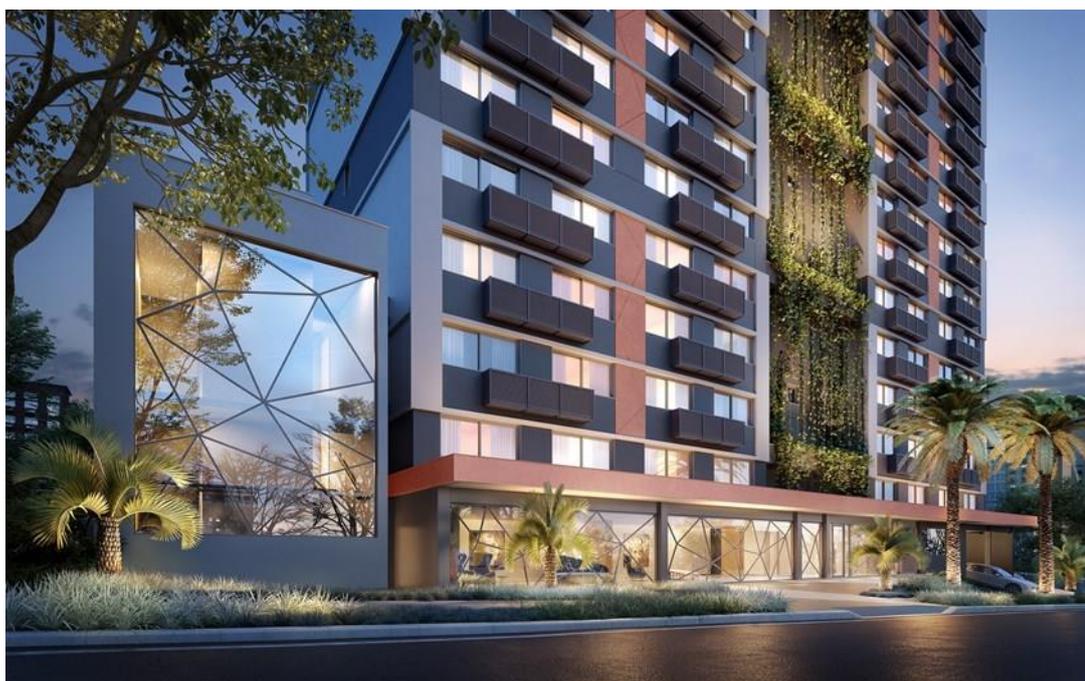
O empreendimento C é composto por uma torre residencial de alto-padrão com 17 pavimentos: o subsolo é composto por estacionamento condominial e áreas técnicas; o térreo é dividido em área condominial e estacionamento; o 2º e o 3º pavimento são compostos por 18 apartamentos cada além de áreas condominiais; há 11 pavimentos tipo compostos, também, por 18 apartamentos cada. Os apartamentos do pavimento tipo tem de 26 a 33m² e há opção de união de duas ou três unidades. O empreendimento totaliza 9.816,90 m² de área construída. Além disso, há uma floreira na fachada principal da edificação. A Figura 44, Figura 45, Figura 46 e Figura 47 ilustram o empreendimento.

Figura 44 - Fachada do empreendimento C



Fonte: site da empresa Y

Figura 45 - Fachada do empreendimento C



Fonte: site da empresa Y

Figura 46 - Térreo, 2º e 3º pavimento do empreendimento C



Fonte: site da empresa Y

Figura 47 - Pavimento tipo do empreendimento C



Fonte: site da empresa Y

O escopo de aplicação do método limitou-se, porém, a escolha dos SPCQA para os pavimentos tipo. Essa decisão foi tomada pois, na fase de cotação de preços, os fornecedores apresentam anteprojeto apenas para o pavimento tipo. Definições detalhadas para toda a obra são feitas posteriormente, na etapa de contratação, ou seja, após a escolha.

4.3.3 Etapa 3: definir as alternativas de Sistemas de Proteção Coletiva

As alternativas de SPCQA definidas para o estudo foram (I) andaime fachadeiro multidirecional, (II) andaime fachadeiro modular e (III) sistema de redes U e V com proteção periférica metálica (PPM). Salienta-se que a empresa Y já utilizou o andaime fachadeiro modular em obras passadas, não tendo boas experiências, principalmente pois o piso do andaime modular não fica nivelado com a laje e porque os módulos nem sempre se adaptam bem à edificação, necessitando muitas proteções adicionais em madeira. Mesmo assim, a equipe optou por inserir este SPCQA para esclarecer sua diferença em relação as demais opções.

Para este estudo foram considerados 5 fornecedores: dois de andaime fachadeiro multidirecional; um de andaime fachadeiro modular; e dois do sistema de redes U e V com PPM, sendo que um deles trabalha com a PPMD apresentada na Figura 7 da seção 2.1.1 (a mesma proteção que foi implementada na obra A na época do embargo), e o outro fornecedor trabalha com um tipo diferente de PPM, a qual não foi estudada pela pesquisadora, mas era conhecida do engenheiro de segurança da equipe. Os fornecedores são denominados conforme a Figura 48. Esses foram selecionados pela empresa por atenderem a política de qualidade da mesma, serem confiáveis e atestarem estar legalmente habilitados para atender a obra.

Figura 48 - Fornecedores de SPCQA

SPCQA	Fornecedores
Andaime fachadeiro multidirecional	i
Andaime fachadeiro multidirecional	j
Andaime fachadeiro modular	k
Redes + PPM	l
Redes + PPMD	m

Fonte: elaborado pela autora

4.3.4 Etapa 4: avaliar as alternativas

A Figura 49 apresenta a tabela utilizada para avaliar os SPCQA, em que constam: as alternativas⁷; os fatores⁸; os critérios⁹; os atributos¹⁰; as vantagens¹¹ e pontuações da importância de cada vantagem.

No fator “Segurança da equipe de montagem e desmontagem”, a tabela apresenta uma coluna a mais, pois a equipe julgou que a montagem da PPM do fornecedor l apresenta risco superior ao da PPMD do fornecedor m. Para todos os demais fatores, ambos os fornecedores de redes receberam os mesmos atributos e vantagens e, portanto, a mesma pontuação para a importância das vantagens. Desta forma, no final da tabela há quatro diferentes pontuações; uma para ambos os fornecedores de andaime fachadeiro multidirecional, uma para o de andaime fachadeiro modular e outras duas para os fornecedores de redes com proteções metálicas.

⁷ Duas ou mais coisas, das quais uma deve ser escolhida. Ex.: canoa C e canoa K (SUHR,1999).

⁸ Partes ou componentes de uma decisão. Ex.: o peso de cada canoa (SUHR,1999).

⁹ Regras de decisão ou diretrizes. Ex.: deve ter menos de 40 kg e mais leve melhor (SUHR,1999).

¹⁰ Característica, qualidade ou consequência de *uma* alternativa. Ex.: 20 kg e 35kg (SUHR,1999).

¹¹ Benefício, ganho ou melhoria. Ex.: 15 kg de diferença entre as canoas (SUHR,1999).

Figura 49 - Avaliação das alternativas de SPCQA

Fatores	Andaime fachadeiro Multidirecional	Andaime Fachadeiro Modular / Quadros	Redes U e V com Proteção Periférica Metálica
Critérios	Sistema de Proteção Coletiva contra Queda de Altura		
Diversidade de componentes	<p>38 componentes. Há muitas interações, pois as travessas podem ser fixadas em qualquer direção e o piso colocado a cada 50cm.</p>	<p>12 componentes. Poucas interações, pois há apenas uma maneira para ser montado, os quadros já vêm prontos.</p> <p>Menos componentes e menos interações entre componentes = Mais intuitivos e menos dificuldade de montagem.</p>	<p>23 componentes. Muitas interações, pois são 3 sistemas (U, V E PPM) trabalhando juntos.</p> <p>Menos componentes que o Multidirecional.</p>
Menos componentes é melhor		10	1

Fatores Critérios	Andaime fachadeiro Multidirecional	Andaime Fachadeiro Modular / Quadros	Redes U e V com Proteção Periférica Metálica	
Segurança da equipe de montagem e desmontagem A montagem e desmontagem devem ser seguras; Risco mais baixo é melhor	62,5% médio risco; 37,5% baixo risco. Risco predominantemente médio para usuários temporários.	75% médio risco; 25% baixo risco. Risco predominantemente médio para usuários temporários.	Fornecedor l: 25% alto risco; 37,5% médio risco; 37,5% baixo risco.	Fornecedor m: 12,5% alto risco; 12,5% médio risco; 75% baixo risco. Risco predominantemente <u>baixo</u> para os usuários temporários.
	40	40		60
Ritmo de montagem Deve atender o cronograma da obra	Atende o cronograma.	Atende o cronograma.	Atende o cronograma.	
Ritmo de desmontagem Deve atender o cronograma da obra	Atende o cronograma.	Atende o cronograma.	Atende o cronograma. Na desmontagem, tem mais tendência a facilitar o cronograma da obra em relação às demais.	
			90	

Fatores	Andaime fachadeiro Multidirecional	Andaime Fachadeiro Modular / Quadros	Redes U e V com Proteção Periférica Metálica
Critérios			
Vida útil Maior vida útil é melhor	Indeterminada. Vida útil indeterminada, não necessita de ensaios e controle de validade.	Indeterminada. Vida útil indeterminada, não necessita de ensaios e controle de validade.	Redes = 1 ano + 1 ano (com revalidação); PPM e forcas = indeterminada.
	10	10	
Flexibilidade para atender obras posteriores Poder reaproveitar é melhor	Peças são alugadas.	Peças são alugadas.	PPM e forcas são alugadas. Redes podem ser reaproveitadas durante a vida útil. As redes poderiam ser reaproveitadas em mais uma obra.
			50

Fatores	Andaime fachadeiro Multidirecional	Andaime Fachadeiro Modular / Quadros	Redes U e V com Proteção Periférica Metálica
Critérios			
Empreendimento			
Trânsito pela periferia da obra Se for possível é melhor pois facilita diferentes tarefas	<p>Permite transitar por fora da edificação e assoalho fica nivelado com a laje.</p> <p>Facilita principalmente a montagem das armaduras e formas da periferia.</p>	<p>Permite transitar por fora da edificação e tem assoalho a cada 2m.</p> <p>Facilita principalmente a execução do reboco externo.</p>	<p>Não permite transitar por fora da edificação.</p>
	90	50	
Antecipação de atividades Antecipar tarefas é melhor	<p>Permite antecipar reboco externo e acabamentos internos (torre vedada contra umidade).</p> <p>Permite antecipar reboco externo e acabamentos internos.</p>	<p>Permite antecipar reboco externo e acabamentos internos (torre vedada contra umidade).</p> <p>Permite antecipar reboco externo e acabamentos internos.</p>	<p>Reboco ext. depende da finalização da alvenaria externa de toda a torre. E acabamentos internos dependem das esquadrias.</p>
	100	100	

Fatores Critérios	Andaime fachadeiro Multidirecional	Andaime Fachadeiro Modular / Quadros	Redes U e V com Proteção Periférica Metálica
Postergação de atividades Não postergar atividades é melhor	O andaime em balanço atrasa o pavimento em que ficam os trilhos (vigas).	O andaime em balanço atrasa o pavimento em que ficam os trilhos (vigas).	<p>Não posterga atividades por interferência com a fachada .</p> <p>Não posterga atividades por interferência com a fachada.</p>
Dependência entre equipes Menor dependência é melhor	Desmontagem depende de pedreiro e pintor para arremate das ancoragens.	Desmontagem depende de pedreiro e pintor para arremate das ancoragens.	<p>A equipe que retira as redes U é a própria equipe do reboco ext., a qual não depende de outras equipes.</p> <p>Não depende de outras equipes na desmontagem.</p>
			90
			50

<p>Fatores</p> <hr/> <p>Critérios</p>	<p>Andaime fachadeiro Multidirecional</p>	<p>Andaime Fachadeiro Modular / Quadros</p>	<p>Redes U e V com Proteção Periférica Metálica</p>
<p>Possíveis danos ao acabamento/ esquadrias na desmontagem</p> <hr/> <p>Menos risco de danos é melhor</p>	<p>Há risco de danos.</p> <p>Há menos risco de danos que com o Quadros.</p>	<p>Há mais risco de danos pois as peças são maiores.</p>	<p>Não há risco de danos.</p> <p>Não há risco de danos ao acabamento na desmontagem.</p>
	<p style="text-align: right;">10</p>		<p style="text-align: right;">80</p>
<p>Adaptação com a fachada</p> <hr/> <p>Mais adaptação é melhor</p>	<p>Se adapta melhor a toda obra, inclusive entre as lajes técnicas da floreira.</p> <p>Facilita a execução do reboco externo entre as lajes técnicas da floreira.</p>	<p>Não casa bem com a fachada e precisa de mais complementações em madeira por ter modulação fixa.</p>	<p>O sistema se adapta a toda obra, mas o balancim não se adapta entre as lajes técnicas da floreira, dificultando a execução do reboco externo.</p>
	<p style="text-align: right;">70</p>		

Fatores <hr/> Critérios	Andaime fachadeiro Multidirecional	Andaime Fachadeiro Modular / Quadros	Redes U e V com Proteção Periférica Metálica
Frequência de entrega e retirada de materiais na obra <hr/> Menor frequência é melhor	Entregas semanais na montagem e retiradas semanais na desmontagem.	Entregas semanais na montagem e retiradas semanais na desmontagem.	O material é entregue e retirado em poucas vezes (1 a 4x). Menos entrega de materiais na obra deixando a entrada mais livre. <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; text-align: right;">95</div>
Estoque <hr/> Menos espaço ocupado na obra é melhor	Ocupa muito espaço na obra. Ocupa um pouco menos de espaço que o Quadros. <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; text-align: right;">30</div>	Ocupa muito espaço na obra.	Ocupa pouco espaço na obra. Ocupa bem menos espaço na obra. <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; text-align: right;">70</div>

Fatores Critérios	Andaime fachadeiro Multidirecional	Andaime Fachadeiro Modular / Quadros	Redes U e V com Proteção Periférica Metálica
Necessidade de equipamento de transporte vertical Menos uso é melhor	Mini grua é usada toda semana para subir as peças durante a montagem, enquanto a cremalheira é usada toda semana durante a desmontagem.	Mini grua é usada toda semana para subir as peças durante a montagem, enquanto a cremalheira é usada toda semana durante a desmontagem.	As redes podem ser carregadas manualmente. A mini grua é utilizada para descer as forcas e PPM na desmontagem e 1ª montagem. Ocupa bem menos a mini grua e não ocupa o cremalheira.
			80
Experiência da empresa Mais obras com boa experiência é melhor	7 satisfatórias. 7 experiências satisfatórias.	3 insatisfatórias.	Nenhuma obra.
	40		

<p>Fatores</p> <hr/> <p>Critérios</p>	<p>Andaime fachadeiro Multidirecional</p>	<p>Andaime Fachadeiro Modular / Quadros</p>	<p>Redes U e V com Proteção Periférica Metálica</p>
<p>Segurança das equipes da obra após a instalação</p> <hr/> <p>Deve ser seguro</p>	<p>Baixo risco de queda de pessoas pela periferia; médio risco de queda de materiais ou tombamento do sistema.</p>	<p>Baixo risco de queda de pessoas pela periferia; médio risco de queda de materiais ou tombamento do sistema.</p>	<p>Baixo risco de queda de pessoas pela periferia; médio risco de queda de materiais ou tombamento do sistema.</p>
<p>Necessidade de proteção adicional</p> <hr/> <p>Menos uso de EPI é melhor</p>	<p>Cinto de segurança durante toda a montagem e desmontagem.</p> <p>Não necessita de complementos pois se adapta melhor a fachada.</p>	<p>Cinto de segurança durante toda a montagem e desmontagem; complementos para fechar os vãos quando o quadro não casa com a fachada.</p>	<p>Cinto de segurança para montagem do primeiro pavimento; dispensa uso de cinto na ascensão do sistema.</p> <p>Menos uso de EPI.</p>
	<p style="text-align: right;">15</p>		<p style="text-align: right;">15</p>

Fatores Critérios	Andaime fachadeiro Multidirecional	Andaime Fachadeiro Modular / Quadros	Redes U e V com Proteção Periférica Metálica
Fatores externos à obra e à empresa			
Disponibilidade de fornecedores Mais disponibilidade é melhor	<p>Fornecedor atende a obra rapidamente.</p> <p>Mais disponibilidade para atender a obra rapidamente.</p>	<p>Fornecedor atende a obra rapidamente.</p> <p>Mais disponibilidade para atender a obra rapidamente.</p>	<p>Redes demoram a chegar na obra pois são importadas, há risco de haver problemas no transporte.</p>
	85	85	
Foco de problemas por embargo Bem visto pela fiscalização é melhor	<p>Muito bem visto pela fiscalização.</p> <p>Mais bem visto pela fiscalização que o modular.</p>	<p>Muito bem visto pela fiscalização.</p> <p>Muito bem visto pela fiscalização.</p>	<p>Não é bem visto pela fiscalização local.</p>
	60	50	

Fatores Critérios	Andaime fachadeiro Multidirecional	Andaime Fachadeiro Modular / Quadros	Redes U e V com Proteção Periférica Metálica
Falta ou divergência de regulamentação Menos divergência ou falta é melhor	Legislação brasileira antiga e breve (NBR 6494:1990) Menos divergência	Legislação brasileira antiga e breve (NBR 6494:1990) Menos divergência	Divergência sobre a rede V ser apenas para substituir as plataformas de proteção secundárias (NR-18) ou para captura de pessoas (EN 1263- 1); falta de regulamentação brasileira e certificação para a PPM.
	5	5	

Somatório:	555	350	621	681
-------------------	------------	------------	------------	------------

Andaime fachadeiro Multidirecional Fornecedores i e j	Andaime fachadeiro Quadros Fornecedor k	Redes U e V com Proteção Periférica Metálica Fornecedor l	Redes U e V com Proteção Periférica Metálica Fornecedor m
---	--	---	---

Fonte: elaborado pela autora

De maneira geral, a explicação da avaliação com os fatores propostos, ou seja, das características de cada SPCQA, foi apresentada na seção 4.2 (referente aos resultados dos estudos empíricos 1 e 2). O conteúdo dos atributos exibidos nesta tabela é muito semelhante ao daquela seção, pois os resultados desta tabela fazem referência aos mesmos SPCQA e aos mesmos fatores de avaliação. Porém, como os resultados apresentados na Figura 49 são referentes à aplicação dos fatores para os SPCQA em uma obra em particular, alguns atributos apresentados na tabela carecem de análise mais específica.

Por exemplo, para o fator “Adaptação com a fachada” foi levantada a questão de qual alternativa se adaptaria a floreira vertical (ver Figura 44 e Figura 45) do empreendimento. A equipe avaliou que o andaime fachadeiro multidirecional se ajusta melhor. Conforme demonstrado na Figura 32 da seção 4.2.1, este tipo de andaime possui um ampliador de plataforma, também chamado de avanço tubular. Com este ampliador é possível a execução do reboco externo entre as lajes técnicas da floreira. Essa tarefa não poderia ser realizada com andaime suspenso do tipo balancim.

Além disso, para os fatores relacionados à segurança, tanto dos montadores como das demais equipes, a análise de risco foi feita considerando as condições da empresa Y, caracterizada por controles rigorosos por parte da engenharia e segurança do trabalho durante a montagem dos SPCQA, bem como acompanhamento do fornecedor na obra. Desta forma, ao analisar a segurança dos montadores, alguns perigos – como falta de leitura e interpretação errada do projeto, resultando em montagem inadequada; erro na separação de materiais que compõe a proteção; e mesmo a realização de atividade sem EPI – foram avaliados pela equipe como sendo de baixa probabilidade, mas somente devido a essas boas condições que a empresa trabalha. Assim, a avaliação das alternativas feitas neste estudo é válida somente para a obra e para a construtora em questão.

4.3.5 Etapa 5: escolher a melhor alternativa

Para escolher a melhor alternativa, o primeiro passo foi identificar as vantagens de cada SPCQA para cada fator analisado, ou seja, identificar a diferença entre as alternativas. O passo seguinte foi estabelecer as pontuações de cada vantagem. Este passo foi feito de forma colaborativa entre os participantes. A pesquisadora não opinou a respeito. Para pontuar as vantagens, os participantes elegeram a maior vantagem, que no caso foi “permite antecipar reboco externo e acabamentos internos” referente aos dois tipos de andaimes fachadeiros. A essa, deram 100

pontos. Para as demais, foram feitas comparações com a de 100 pontos. As pontuações dadas para cada vantagem encontram-se na Figura 49, apresentada no item 4.3.4. Sempre há uma alternativa que não possui pontuação, pois a pontuação representa a importância da vantagem. Assim, para cada fator analisado, o SPCQA sem vantagem não recebe pontos.

A seguir, foi comparado o total de vantagens de cada alternativa com o custo das mesmas. Referente aos custos, todas as propostas comerciais foram pedidas aos fornecedores diretamente pelo setor de suprimentos da empresa e repassadas à pesquisadora. Para os andaimes fachadeiros, de acordo com os participantes do estudo, a empresa pede a proposta comercial para os fornecedores como se o equipamento estivesse apoiado no solo, desde o térreo. Porém, caso o andaime fique em balanço em uma parte, é gerado um custo adicional das vigas de apoio e um aumento da mão de obra. A empresa Y relatou não ter condições no momento do estudo de calcular este custo. Por isso as cotações de preço foram feitas como se o fachadeiro estivesse apoiado no solo. De acordo com os participantes, esses custos adicionais, não contabilizados neste estudo, são compensados pelo custo que seria referente as peças de andaime fachadeiro nos primeiros pavimentos. As propostas comerciais dos fornecedores das redes também foram feitas para a obra toda. Porém, na prática, para o estudo de custo só foram consideradas as peças ou redes do pavimento tipo, multiplicado pelo número de pavimentos, conforme limitação do escopo explicada na etapa 2.

Para os andaimes fachadeiros foram considerados os seguintes custos: locação das peças para os pavimentos tipos e fretes para entrega das mesmas na obra; compra de chumbadores e olhais para fixação do andaime; compra de tela fachadeira e fitas para fixar a tela; além de contratação de mão de obra para montagem e desmontagem. Foi considerado também o custo de andaime suspenso para colocação de molduras (detalhes arquitetônicos) na fachada da edificação. O custo do andaime suspenso para pintura externa da torre entra no escopo do empreiteiro da pintura e não foi considerado neste estudo. Não foi considerado também o custo de indenização por perda ou danos nas peças, pois a empresa já considera um custo para imprevistos no orçamento total da obra.

A respeito do custo de locação das peças para o andaime fachadeiro, os fornecedores passam este custo por dia. Para saber quantos dias o equipamento ficará na obra, é feito um planejamento, por pavimento, de quanto tempo durarão as etapas de estrutura, alvenaria, reboco e esquadrias, durante as quais o andaime fachadeiro é utilizado. Como o andaime fachadeiro é

montado de baixo para cima conforme o andamento da obra durante a etapa de estrutura, e, posteriormente, é desmontado de cima para baixo conforme as esquadrias são instaladas, o número de dias em cada pavimento não é o mesmo. No primeiro pavimento em que é instalado, o mesmo fica o número total de dias necessários para execução das etapas anteriormente mencionadas. Porém, nos demais, quanto mais alto for o pavimento, menos dias são necessários.

Para as redes e PPMs foram considerados os seguintes custos: sistema V (compra das redes para um pavimento e locação de jogo de forcas), sistema U (compra de redes para os 10 pavimentos tipos), locação da PPM durante a execução da estrutura, mão de obra para montagem e ascensão do sistema V, montagem do sistema U para 10 pavimentos e montagem e ascensão da PPM. Andaime suspenso para execução do reboco e instalação de molduras, tela para execução do reboco e plataforma de proteção primária escorada. Considerou-se que as redes seriam utilizadas apenas para esta obra, ou seja, o custo de compra das redes não seria dividido com obras futuras.

Além das propostas comerciais dos fornecedores, para estimar o custo dos SPCQA foi utilizado o planejamento inicial da obra, que contém os prazos para as tarefas de estrutura, alvenaria, reboco e esquadrias. Cuidados a serem tomados durante essa etapa do estudo contemplam verificar se o escopo para todos os fornecedores é o mesmo e se a proposta contempla compra ou aluguel dos materiais, especialmente das forcas e proteções metálicas.

A comparação do somatório da pontuação das importâncias das vantagens de cada alternativa com o custo das mesmas é apresentada na Figura 50, em formato de tabela, e na Figura 51, como gráfico. O SPCQA mais caro foi o andaime fachadeiro modular, do fornecedor k. Este foi também o que ficou com menor pontuação para a importância de suas vantagens, sendo, portanto, a pior opção. Além disso, como indicado no item 4.3.3, a empresa não teve boas experiências com este sistema (principalmente porque os módulos dificultam a adaptação com a fachada e as plataformas de trabalho não ficam niveladas com as lajes) e, antes mesmo de aplicar o método, já não pretendia utilizá-lo novamente.

Os dois fornecedores de andaime fachadeiro modular, i e j, ficaram com a mesma pontuação, porém o produto do fornecedor j é mais caro do que do i, não sendo, também a melhor opção. Além disso, o fornecedor de redes l, não foi bem avaliado no fator segurança dos usuários

temporários, pois a montagem de sua PPM foi classificada como de alto risco. Deste modo, os SPCQA dos fornecedores j, k e l não pareceram boas escolhas para a equipe.

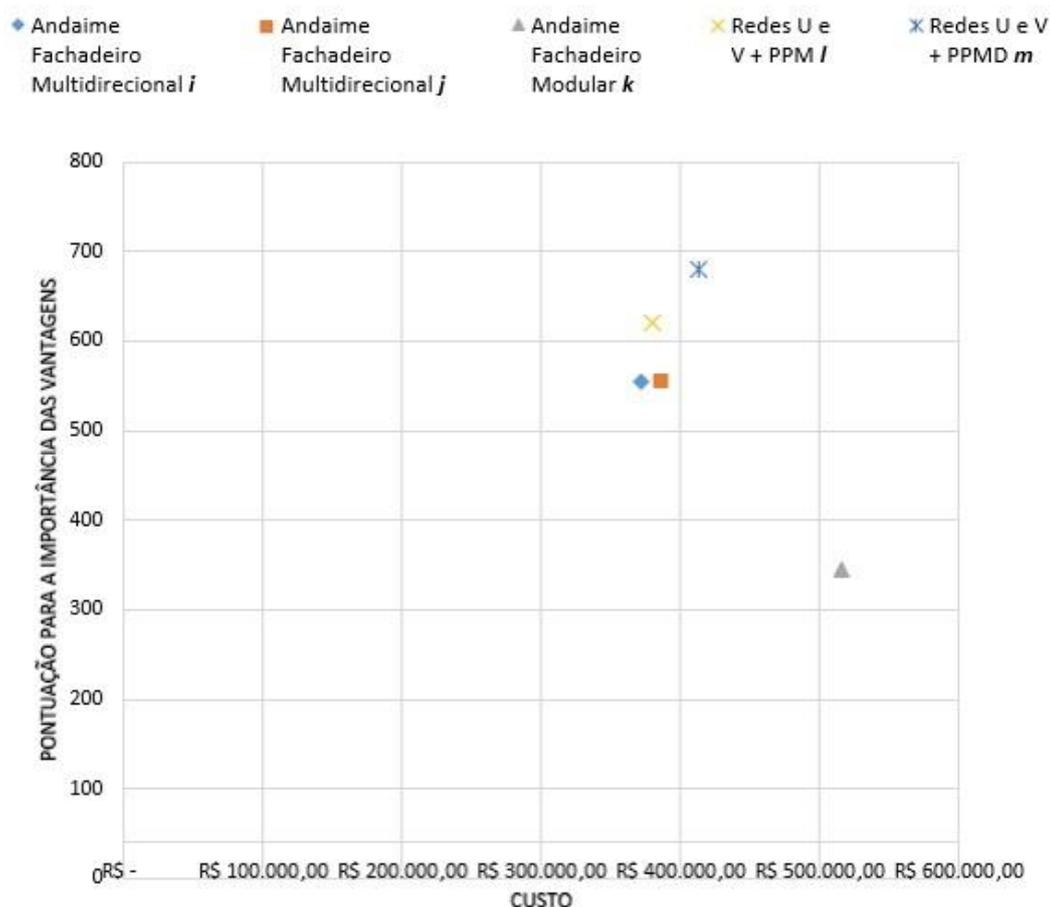
A escolha da melhor alternativa ficou entre o fornecedor i, de andaime fachadeiro multidirecional, e o fornecedor m, de redes com a PPMD. O fornecedor m apresentou a melhor pontuação para a importância de suas vantagens, ao passo que o fornecedor i foi o que ofereceu o menor custo. A equipe da empresa Y disse que optaria pela solução de menor custo.

Figura 50 - Tabela do custo vs. importância das vantagens por fornecedor

SPCQA	Fornecedores	Pontuação	Custo para os 11 pavimentos tipo sem reaproveitamento de redes em outra obra
Andaime fachadeiro multidirecional	i	555	R\$ 371.288,79
Andaime fachadeiro multidirecional	j	555	R\$ 386.151,13
Andaime fachadeiro modular	k	350	R\$ 515.485,89
Redes + PPM	l	621	R\$ 379.528,00
Redes + PPMD	m	681	R\$ 413.291,14

Fonte: elaborado pela autora

Figura 51 - gráfico do custo vs. importância das vantagens por fornecedor



Fonte: elaborado pela autora

Porém no longo prazo, considerando que as redes poderiam ser reaproveitadas em mais uma obra e dividindo o custo das redes (apenas o material da U e da V com frete internacional) pelas duas obras, o custo do sistema de redes com PPMD, do fornecedor *m*, para o empreendimento C, ficaria R\$ 372.711,30. O que é muito semelhante ao do fornecedor *i* de andaime fachadeiro multidirecional. Assim, considerando o reaproveitamento das redes em mais uma obra, ambos os sistemas tendem a custos muito próximos, de tal forma que a melhor escolha seria pelo sistema de redes e PPMD do fornecedor *m*, por ter mais pontuação de importância de vantagens.

Além disso, o escopo do estudo não envolveu os primeiros pavimentos, apenas os pavimentos tipo. Desta forma, o custo das vigas de sustentação, caso o andaime fachadeiro seja instalado em balanço, e o consequente reforço da armadura da laje e mão de obra para tal, não foram

considerados. Isso provavelmente encareceria os sistemas de andaimes fachadeiros, dando ainda mais margem para a escolha pelas redes.

4.3.6 Etapa 6: listar aprendizados

A equipe reconheceu a relevância do método para avaliar outras questões que não a econômica, porém manteve seu foco maior no custo dos SPCQA para a tomada de decisão. Os participantes esclareceram que o preço do fornecedor i para a empresa Y, na verdade, já é um preço abaixo da média do mercado, fruto de negociações e boas relações entre ambas as empresas, especialmente diante de uma época de crise na construção civil em que havia poucas obras na cidade do estudo. A equipe salientou que entende que, como o mercado está mudando, os preços tendem a mudar também. Com um maior número de obras utilizando andaimes fachadeiros, o preço do aluguel deste SPCQA pode aumentar. Por isso é importante para a equipe conhecer outras vantagens que não o preço.

Neste estudo, a etapa de listar aprendizados se sobrepôs à avaliação do artefato, descrita a seguir na seção 4.4. Os principais aprendizados da equipe foram em relação à forma como a seleção de SPCQA foi feita. De acordo com o coordenador de obras, sobre como utilizariam o método em uma próxima escolha:

“A gente provavelmente não começaria pelos fatores, a gente começaria pelo custo. Se o custo de dois sistemas for igual, empatar, daí teriam que entrar outras variáveis para tomada de decisão [...], mas iríamos analisar muito menos fatores. [...] Nesse estudo aqui, a gente analisou uns 25 ou 30 fatores. Se a gente fizesse por conta própria, lá pelo 5º fator a gente já teria definido qual sistema utilizar.” (Coordenador de obras)

Este mesmo integrante da equipe ainda fez uma colocação sobre utilizar todos os fatores propostos:

“Só se a gente fixar todos dos fatores, com os pesos que a gente definiu hoje e a gente só vai trocar as variáveis mercadológicas daquele determinado momento que a gente analisar. [...] Tudo o que a gente definiu aqui de variáveis mais qualitativas a gente teria que travar. [...] Pois, se não, a gente vai ter muita dificuldade de usar para todo novo empreendimento pela velocidade e dinamismo do dia a dia de trabalho.” (Coordenador de obras)

Desta forma, os principais aprendizados da equipe foram: avaliar primeiramente o custo, e depois, em caso de empate, ou (a) utilizar apenas os fatores com as maiores importâncias das vantagens, ou (b) fixar as características, vantagens e pontuação estabelecidas, reduzindo o tempo de aplicação do método. A discussão sobre os aprendizados com a equipe limitou-se ao método em si, não sendo investigados os principais aprendizados a respeito do conteúdo da escolha, ou seja, dos próprios SPCQA.

4.4 AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

O método para escolha de SPCQA proposto foi avaliado em duas dimensões: sua utilidade e facilidade de uso. A avaliação foi feita conforme critérios apresentados na Figura 27 da seção 3.4.3.

4.4.1 Utilidade

O constructo utilidade compreende os critérios: (a) contribuição dos fatores propostos para tomada de decisão na avaliação dos SPCQA; (b) contribuição a um ambiente mais colaborativo, com perspectiva de diferentes profissionais; e (c) contribuição à transparência da decisão, com visibilidade do processo de escolha e dos resultados.

Em relação à contribuição dos fatores propostos para tomada de decisão na avaliação de SPCQA, a equipe concordou que os fatores são úteis para mostrar as características e vantagens de cada SPCQA. Porém não são mais importantes do que o custo, que é a principal preocupação da empresa Y na escolha. O relato a seguir apresenta a opinião do responsável pela segurança das obras:

“Os fatores fazem a gente refletir sobre os possíveis ganhos, principalmente na parte de segurança e produção. A gente consegue enxergar de uma forma mais abrangente. Algo que não é uma coisa usual aqui na empresa, pois a gente é muito focado em custo e prazo.” (Engenheiro de Segurança da Empresa Y)

Desta forma, percebe-se que os fatores propostos contrastam com a forma usual de tomada de decisão da empresa. Além disso, a reflexão gerada a partir do uso dos fatores pode ser complementar ao custo no momento da escolha. Portanto, entende-se que os fatores propostos contribuem positivamente para tomada de decisão na avaliação dos SPCQA.

Salienta-se também que estes fatores foram desenvolvidos pensando-se na comparação entre os sistemas de andaime fachadeiro e redes de segurança. Por isso, para confirmar sua utilidade, se faz importante utilizá-los na avaliação de outros SPCQA, diferentes aos aqui comparados. Por serem amplos, os fatores provavelmente são úteis para avaliar soluções diversas.

O método proposto também foi bem avaliado quanto sua contribuição para um ambiente mais colaborativo pela equipe. Nos relatos a seguir, o engenheiro de segurança compara como geralmente são feitas as decisões e como foi com o método proposto, bem como o engenheiro responsável pelos setores de projetos, planejamento e orçamento completa com sua opinião:

“Às vezes fica muito segmentado: a produção olhando para a produção, a segurança indicando o que acha mais seguro... E aqui não, ficamos com a marreta do custo na mão, mas conseguimos trocar ideias [...]. Contribuiu para um ambiente mais colaborativo sem dúvidas.” (Engenheiro de segurança da empresa Y)

“O método nos permite discutir com as diferentes áreas que aqui estão, ver quais os prós e contras de cada sistema, organizar as ideias e dizer o que é mais importante ou não, chegando ao consenso do grupo.” (Responsável pelos setores de projetos, planejamento e orçamento)

Todos os participantes também concordaram a respeito da contribuição do método para a organização e transparência da decisão, com visibilidade do processo de escolha e dos resultados. A equipe relatou que o método trouxe clareza ao processo de decisão especialmente por deixar explícito o que está sendo levado em conta na comparação. O coordenador de obras relatou que sem o método eles até pensavam em vantagens isoladas de um SPCQA baseado no que foi proposto nos fatores, porém acabavam não avaliando os mesmos pontos para diferentes alternativas. Ao passo que, com o método foi possível fazer um comparativo organizado olhando cada fator para cada alternativa. Ele ainda complementa:

“O método tem todo potencial para trazer transparência e organização. [...] Se a gente dominar a ferramenta que está sendo proposta aqui, sem dúvida ajuda muito para a tomada de decisão.” (Coordenador de obras da Empresa Y)

4.4.2 Facilidade de uso

O constructo facilidade de uso compreende os critérios: (a) compreensão do método proposto e do CBA; (b) conhecimento necessário sobre as alternativas de SPCQA, características do empreendimento, legislação e contexto local; (c) tempo despendido; e (d) possibilidade de utilização do método sem participação da pesquisadora.

Em relação a compreensão do método proposto, a equipe entendeu-o adequadamente, bem como os fatores de avaliação de SPCQA utilizados no mesmo. Em relação a compreensão do CBA, a equipe também o assimilou bem, a partir do exemplo da canoa, explicado na seção 2.2 deste trabalho. Porém, na primeira tentativa de listar os atributos de cada SPCQA com os fatores propostos, a equipe reconheceu que não era tão simples como o exemplo da canoa, principalmente em comparações qualitativas. Por isso, a pesquisadora, nas reuniões seguintes, levou os critérios, atributos e vantagens previamente preparados.

O coordenador de obras fez os seguintes apontamentos na reunião de avaliação do artefato:

“Acho só que: como a gente teve as nossas reuniões de forma mais espaçada; quem domina exatamente o método é tu; e a gente, ao mesmo tempo que está tendo que definir critérios e notas para cada item, a gente está também aprendendo o método, eu

acho que isso prejudicou um pouquinho para gente obter uma pontuação um pouco mais coerente.” (Coordenador de obras da Empresa Y)

A respeito do conhecimento necessário sobre as alternativas de SPCQA, características do empreendimento, legislação e contexto local, todos os participantes concordaram que é fundamental entender do assunto que está sendo discutido. Quem teve mais dificuldade em utilizar o método por não conhecer tão bem os SPCQA avaliados foi o responsável pelo setor de suprimentos, conforme demonstrado no relato a seguir:

“Vou te dar meu exemplo, vou ser bem sincero. [...] Eu entrei muito mais cru, eu sei do conceito, mas algumas questões técnicas do sistema eu não conheço. Então, por vezes fiquei meio que “boiando” nas discussões. Acredito que é fundamental o conhecimento das alternativas para participar da discussão e para que ela seja mais rica.” (Responsável pelo setor de suprimentos da Empresa Y)

Outro ponto avaliado foi o tempo despendido para utilizar o método. Durante o estudo, os participantes até comentaram que alguns fatores poderiam ser mais estratificados, para capturar melhor as lacunas de cada SPCQA, especialmente no que se refere a segurança. Porém, ao fim do estudo, todos chegaram ao consenso que o método demandava muito tempo pela grande quantidade de fatores propostos. Foram feitas cinco reuniões com a equipe de cinco pessoas da empresa, que, no total, duraram 4 horas e 45 minutos. A resposta a seguir do coordenador de obras, quando perguntado sobre o tempo despendido, foi ratificada pelos demais participantes:

“Olha, partindo do viés da necessidade da ferramenta e do estudo, foi pouco tempo. Olhando sobre o nosso viés de disponibilidade de tempo, foi muito.” (Coordenador de obras da Empresa Y)

Por fim foi avaliada a possibilidade de utilização do método sem participação da pesquisadora. Os participantes do estudo disseram que usariam novamente, mas conforme aprendizados que foram discutidos na seção 4.3.6.

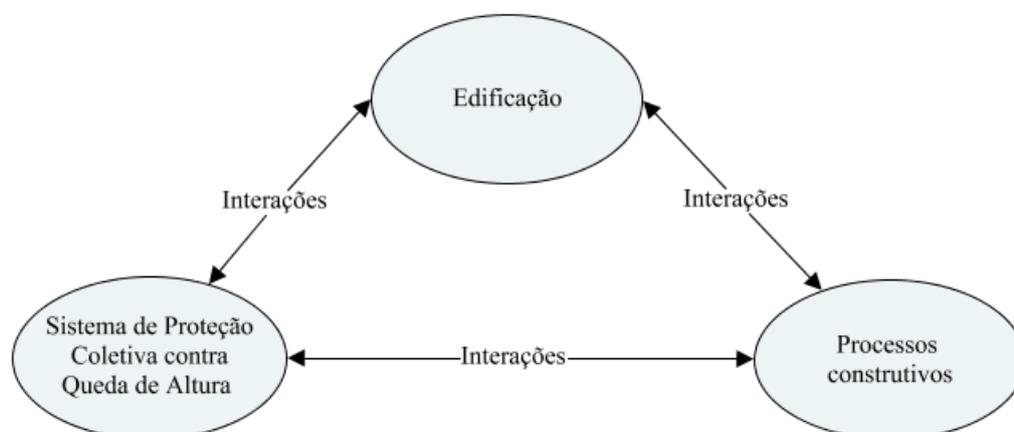
5 DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta a etapa da *Design Science Research* de análise e reflexão dos resultados da pesquisa. Primeiramente é feita uma discussão sobre a perspectiva da complexidade aplicada aos SPCQA, sendo apresentado (i) um modelo das interações entre a edificação, o SPCQA e os processos construtivos e (ii) as relações entre os fatores propostos na seção 3.3.1.2. Em seguida, é apresentado como o CBA pode ajudar a escolher SPCQA em canteiros de obras sob o ponto de vista da complexidade, e como o método proposto atende as diretrizes para gestão de sistemas complexos propostas por Saurin, Rooke e Koskela (2013). Por fim, são identificadas as condições favoráveis e desfavoráveis ao uso de redes de segurança U e V e de andaimes fachadeiros, em forma de resumo.

5.1 PERSPECTIVA DA COMPLEXIDADE APLICADA AOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO COLETIVA CONTRA QUEDA DE ALTURA

Neste trabalho, os empreendimentos da construção civil foram compreendidos como sistemas sócio técnicos complexos. As principais interações existentes neste sistema que envolvem o SPCQA são entre o mesmo, a edificação e o processos construtivos (Figura 52). Os processos construtivos e a edificação também estão relacionados, porém estas interações não foram diretamente objeto de estudo deste trabalho.

Figura 52 - Modelo das principais interações envolvendo o SPCQA e o empreendimento



Fonte: elaborado pela autora

O projeto do SPCQA define, dentre outros aspectos, a diversidade de peças, o volume de peças estocado na obra, a vida útil do SPCQA, se o mesmo é composto ou não por plataformas de trabalho, bem como a forma de fixação das proteções à edificação, como ganchos ou ancoragens. O projeto da edificação, no que diz respeito às interações com os SPCQA refere-se principalmente à configuração arquitetônica e estrutural. O projeto dos processos construtivos trata da sequência de execução da obra, cronograma, plano de ataque, layout e logística do canteiro, dimensionamento das equipes e recursos como os equipamentos de transporte e movimentação de materiais.

As interações entre o SPCQA e a edificação são referentes à interface entre as proteções e a o prédio em si, especialmente nas áreas periféricas junto a fachadas e coberturas. Características como o formato da edificação, revestimentos utilizados na fachada, tipos de esquadrias, pé-direito e juntas construtivas podem impedir ou favorecer a utilização de determinado SPCQA. Isso ocorre, pois, a forma como as proteções são presas a fachada, o formato e materiais das proteções podem ou não ser compatíveis com o projeto da edificação.

O SPCQA e os processos construtivos interagem de diferentes formas. A combinação entre um determinado SPCQA e um determinado sistema construtivo pode alterar o cronograma ou a sequência de execução da obra, antecipando ou postergando tarefas. Por exemplo, com o andaime fachadeiro é possível antecipar a execução do *drywall*, instalando-o antes das esquadrias. Além disso, o SPCQA pode facilitar a execução de algumas tarefas da obra. Por exemplo, o andaime fachadeiro facilita a execução e verificação da qualidade do reboco externo, montagem das armaduras e formas de periferia. Ademais, o layout do canteiro de obras e a utilização dos equipamentos de transporte vertical também possuem interações com o SPCQA adotado e podem ser limitadores ao uso de determinada proteção, principalmente pelo volume de material do SPCQA na obra.

Como é natural em sistemas complexos, uma interação pode desencadear outra. Algumas interações técnicas entre o SPCQA e a fachada geram como consequência interações sociais entre tarefas ou equipes, e vice-versa. Por exemplo, colocar o andaime fachadeiro em balanço permite que haja mais espaço no canteiro de obras e que setores adjacentes à torre - como a garagem ou outras áreas condominiais - sejam construídos antes que o andaime fachadeiro seja desmontado. Porém, as vigas que sustentam o equipamento em balanço impedem que as tarefas no pavimento em que estão apoiadas sejam executadas.

Outro exemplo interessante do desencadeamento de uma interação como consequência de outra se dá no uso de andaimes fachadeiro em obras com pele de vidro, como discutido na seção 4.2.11. Neste caso, analisando a interação entre o SPCQA e a edificação, verifica-se que é necessário um espaço suficiente entre a estrutura do prédio e o andaime para instalação da pele de vidro. Este vão reduz a segurança dos usuários durante a obra ou amplia a necessidade de proteções adicionais, por exemplo, um guarda-corpo interno.

Ainda neste exemplo, uma interação técnica entre o andaime fachadeiro e a edificação são os pontos de ancoragem, os quais impedem que alguns módulos da pele de vidro sejam instalados enquanto o SPCQA está em uso. Isso gera dependência entre a equipe que monta a pele de vidro e a equipe que desmonta o andaime fachadeiro, já que alguns módulos só podem ser instalados após a retirada da ancoragem. De modo similar, a desmontagem do andaime fachadeiro depois que a pele de vidro está instalada deve ser feita com extremo cuidado para não danificar o acabamento.

Ressalta-se, também, que existem interações entre os fatores para avaliação de SPCQA propostos na seção 3.3.1.2. As principais são:

- a. A grande *diversidade de peças e conexões* do SPCQA pode facilitar a *adaptação com a fachada da edificação*. Por exemplo, o andaime fachadeiro multidirecional, por ter peças de diferentes tamanhos e diversas possibilidades de encaixe entre as peças, geralmente se adapta melhor a fachada do que o andaime fachadeiro modular, o qual é formado por módulos (quadros) de tamanho padronizado. Isso está de acordo com um princípio da complexidade proposto por Ashby (1958): a lei da variedade necessária, o que significa que em sistemas complexos variedade se combate com variedade.
- b. A flexibilidade para atender outras obras depende da *vida útil* do SPCQA. Por exemplo, as redes utilizadas em uma obra podem ser reaproveitadas em outra obra, desde que dentro de sua vida útil conforme recomenda a legislação.
- c. A dependência entre equipes tende a afetar o *ritmo de montagem ou desmontagem*. Por exemplo, a equipe especializada em segurança que desmonta o andaime fachadeiro depende de um pedreiro e um pintor para fazer os arremates nos pontos de ancoragem com a fachada, podendo gerar esperas entre tais tarefas. Por outro lado, para as redes, a própria equipe que faz o reboco externo pode retirá-las.

- d. *A necessidade de equipamentos de transporte vertical*, como a mini grua ou elevador cremalheira, reduz o esforço físico para movimentar os componentes do SPCQA, reduzindo, portanto, o risco nessa tarefa, no que diz respeito ao perigo citado. Assim influencia a *segurança das equipes de montagem e desmontagem*.
- e. *A necessidade dos equipamentos de transporte vertical* para movimentar as peças do SPCQA impacta na logística da obra. Uma vez que esses são também utilizados para a transporte de demais materiais da obra, ou mesmo de pessoas (no caso do elevador cremalheira), a movimentação de peças do SPCQA gera muitas esperas para as demais tarefas (ou vice-versa), gerando *postergação de atividades*.
- f. *A divergência ou falta de regulamentação* tende a aumentar o *foco de problemas por embargo*. Embargos, por sua vez, geram *postergação de atividades* e atrasam a execução do empreendimento.
- g. *A falta de adaptação entre o SPCQA e a fachada ou outros equipamentos* da obra pode gerar *necessidade de proteções adicionais*.

Alguns fatores também se relacionam com o custo. Por exemplo, a *flexibilidade para atender obras posteriores* divide o custo do SPCQA entre as obras. Ao passo que a *necessidade de proteções adicionais* pode aumentar o custo. Assim como os *embargos*, que além do atraso, geram custos extras para a empresa.

5.2 APLICABILIDADE DO CBA PARA ESCOLHA DE SPCQA EM CANTEIRO DE OBRAS, SOB O PONTO DE VISTA DA COMPLEXIDADE

Neste trabalho, foi proposto investigar como o CBA pode ajudar a escolher SPCQA em canteiros de obras, pela perspectiva da complexidade. Para tanto, foi desenvolvido e implementado um método de escolha de SPCQA que engloba tanto o CBA como um conjunto de fatores para avaliação de SPCQA baseados na visão da complexidade. Desta forma, apresentam-se a seguir limitações e recomendações do uso do CBA nesta escolha.

Conforme já apresentado na seção 2.2, um dos passos do CBA é identificar fatores para a comparação de alternativas (ARROYO, 2014), sendo que um fator é um elemento, parte ou componente de uma decisão (SUHR, 1999). Para identificação dos fatores, considerando a

perspectiva da complexidade, buscou-se compreender as interações existentes entre os SPCQA e a obra, incluindo suas tarefas, fachada, equipamentos de movimentação e transporte, layout e logística do canteiro, bem como seu ambiente externo, como a fiscalização, legislação e fornecedores. A reflexão acerca dessas interações permitiu identificar 21 fatores.

Constatou-se, no entanto, que a grande quantidade de fatores dificultou a aplicação do CBA. No estudo de Arroyo, Tommelein e Ballard (2015), por exemplo, no qual foram comparadas placas para forro considerando a perspectiva da sustentabilidade, os pesquisadores identificaram 16 fatores que poderiam ser levados em conta na decisão. Porém, no referido estudo, para a comparação entre as alternativas com o CBA foram escolhidos apenas os 8 fatores que mais diferenciavam as alternativas. Este fato vai ao encontro da avaliação do artefato, feita ao fim do estudo empírico 3, em que um entrevistado apontou que, pela falta de tempo, provavelmente usaria um número menor de fatores, mesmo que todos sejam relevantes de alguma forma.

Contudo, o grande número de fatores no presente trabalho é consequência de usar a perspectiva da complexidade. Porém, caso a equipe decida não usar todos os fatores apresentados, recomenda-se que sejam escolhidos os que possivelmente apresentem as maiores diferenças entre as proteções, com base nos resultados dessa dissertação. Por exemplo, apesar da segurança das equipes da obra ser a função de um SPCQA, este fator acabou não gerando vantagem entre as alternativas no estudo empírico 3 e, portanto, não tendo pontuação de importância de vantagens. Isso não significa que não seja algo importante a ser considerado em qualquer decisão, apenas que todas as alternativas podem ser similarmente seguras depois de instaladas.

Salienta-se que os fatores estabelecidos neste trabalho foram definidos com a intenção de comparar redes de segurança com andaimes fachadeiros. Para novas comparações, no caso de serem outras as alternativas de SPCQA, os fatores podem precisar de adaptação. Além disso, se a equipe quiser comparar o mesmo produto, por exemplo dois andaimes fachadeiros multidirecionais, apenas de fornecedores diferentes, pode necessitar se aprofundar ou gerar novos fatores para capturar as principais diferenças entre os mesmos.

Ademais, uma das características dos sistemas sociotécnicos complexos é a variabilidade não antecipada e a incerteza (SAURIN; SOSA, 2013). Diante disso, foram considerados na aplicação do método pontos como (i) o risco de as redes não chegarem a tempo na obra por problemas na importação e (ii) a maior tendência das redes seguirem o cronograma durante a

desmontagem, pois há menos variáveis. Por outro lado, podem existir situações não antecipadas no momento da aplicação do método, como mudanças na legislação, na relação com os fornecedores ou no próprio projeto do empreendimento. Também pode ocorrer da equipe escolher com o CBA um SPCQA o qual possui, visivelmente, a melhor relação custo-benefício, mas por imposição implícita da fiscalização, por exemplo, acabar utilizando outra.

Além disso, uma das diretrizes propostas por Saurin, Rooke e Koskela (2013) para gestão de sistemas sócio técnicos complexos é incentivar a diversidade de perspectivas na tomada de decisão. Isto é coerente com a proposta do CBA, o qual é capaz de integrar múltiplas perspectivas (ARROYO et al., 2016). Os participantes do estudo empírico 3 concordaram com essa função do CBA, avaliando positivamente a capacidade do método em gerar um ambiente mais colaborativo. Desta forma, recomenda-se que os participantes tenham conhecimento sobre o tema a partir de diferentes perspectivas e áreas da empresa, contribuindo para a riqueza da discussão.

Outra diretriz para gestão de sistemas sócio técnicos complexos, proposta por Saurin, Rooke e Koskela (2013), é dar visibilidades aos processos e resultados. O CBA também proporciona esta orientação, conforme demonstrado na avaliação do método pela equipe participante descrita na seção 4.4. A equipe relatou que o método trouxe clareza ao processo de decisão principalmente por deixar explícito o que está sendo levado em conta na comparação. De acordo com o coordenador de obras da equipe: “*o método traz organização à subjetividade inerente ao processo de escolha*”. Além disso, os resultados ficam documentados podendo ser facilmente acessados.

Uma limitação da aplicação do CBA, em sistemas sócio técnicos complexos, pode estar associada ao fato de os fatores estarem relacionados entre si. Situação semelhante foi apontada por Arroyo, Tommelein e Ballard (2013), os quais alegam que o CBA não apresenta uma maneira clara de gerenciar as inter-relações entre os fatores, o que os arrisca a contá-los duas vezes. Assim, uma sugestão dos mesmos autores é que, uma vez que as diferenças entre as alternativas fossem compreendidas, as vantagens poderiam ser agrupadas antes da atribuição de pontuação por suas importâncias. Por exemplo, no estudo de implementação do método, as vantagens “*não depende de outras equipes na desmontagem*” e “*na desmontagem tem mais tendência a facilitar o cronograma que as demais*” foram pontuadas para as redes, sendo que ambas se referem a um mesmo benefício. Embora esta consideração não tenha sido levada em

conta na aplicação do método, recomenda-se que, em próximos estudos, a mesma seja considerada. Desta forma, os 21 fatores propostos podem ser reagrupados em:

1. Segurança da equipe de montagem e desmontagem;
2. Segurança das equipes da obra após instalação;
3. Ritmo de montagem e desmontagem;
4. Flexibilidade para atender obras posteriores;
5. Trânsito pela periferia da obra;
6. Logística do SPCQA: transporte e estoque de componentes;
7. Interações com a fachada;
8. Impactos no cronograma da obra;
9. Experiência da empresa;
10. Disponibilidade e confiabilidade de fornecedores;
11. Foco de problemas por embargo.

Ressalta-se também a questão do tempo despendido para aplicação do método. No uso do CBA para escolha de SPCQA em canteiro de obras, sob o ponto de vista da complexidade, há um *trade-off* da qualidade da tomada de decisão versus tempo da tomada de decisão:

- Quanto mais fatores e detalhamento das alternativas for feito, mais diferenças entre elas tendem a aparecer. Contudo, maior é o tempo despendido para tomar a decisão.
- Quanto mais participantes, quanto maior o conhecimento dos participantes e quanto maior a diversidade de áreas da empresa de cada um deles (diferentes perspectivas), mais rica se torna a discussão. Isso também pode aumentar o tempo despendido para utilizar o método.

Outra observação da equipe que avaliou o método foi que o CBA só considera o custo no final, depois de avaliar todas as alternativas. A equipe julgou que, em próximas aplicações, iria

primeiramente estimar o custo e depois, em casos de custos muito semelhantes entre os SPCQA, decidir os benefícios das alternativas. Além disso, avaliar o custo apenas no final do estudo pode levar a empresa a avaliar SPCQA que são inviáveis financeiramente. Desta forma, recomenda-se que o custo seja estudado inicialmente, a fim de eliminar alternativas pelas quais não se pode pagar.

5.3 O MÉTODO PROPOSTO E AS DIRETRIZES PARA GESTÃO DA COMPLEXIDADE

O método proposto na seção 3.3.1.1 desta dissertação tem por função auxiliar a escolha de SPCQA em canteiros de obras pela perspectiva da complexidade. Considerando este ponto de vista, Saurin, Rooke e Koskela (2013) propõe seis diretrizes para gestão de sistemas sócio técnicos complexos: (1) dar visibilidade aos processos e resultados; (2) incentivar a diversidade de perspectivas na tomada de decisão; (3) monitorar o impacto de pequenas mudanças; (4) projetar folgas; (5) monitorar e compreender a diferença entre o trabalho prescrito e o realizado; e (6) criar um ambiente que favoreça a resiliência. O método contempla todas as diretrizes, sendo que a primeira e a segunda foram discutidas na seção 5.2, pois, através do CBA, o método traz transparência e múltiplas perspectivas à tomada de decisão. A forma como o método proposto atende as demais diretrizes é discutida a seguir.

A terceira diretriz sugere monitorar o impacto de pequenas mudanças. Esta prescrição visa compreender as consequências de melhorias ou alterações no sistema complexo decorre da não-linearidade e alta conectividade entre seus elementos (SAURIN; ROOKE; KOSKELA, 2013). O método contempla-a ao utilizar vários fatores aliados a possíveis efeitos colaterais, desejados ou indesejados, de escolher um SPCQA ou outro. Por exemplo, um dos fatores considerados foi a frequência de entrega de materiais na obra, o qual tem como consequência o tempo que a entrada de caminhões da obra fica ocupada para descarregamento e carregamento de componentes do SPCQA, afetando a logística do canteiro. Além disso, também foram consideradas, por exemplo, a antecipação ou postergação de atividades na obra.

A quarta diretriz propõe projetar folgas (do termo em inglês *slack*). Folgas são mecanismos para reduzir a interdependência e diminuir ou eliminar a propagação da variabilidade (SAFAYENI; PURDY, 1991), e podem ser obtidos por recursos humanos ou técnicos os quais são utilizados quando necessário (NOHRIA; GULATI, 1996). As folgas podem ser assumidas,

por exemplo, na forma de espaço, tempo ou equipamentos a mais, além de trabalhadores que desempenhem diferentes funções (SAURIN; ROOKE; KOSKELA, 2013). Esta diretriz foi contemplada nos fatores propostos ao serem consideradas: (I) as folgas no cronograma da obra que cada sistema cria, quando um sistema permite antecipar uma atividade; (II) folgas de espaço na obra devido a necessidade de estoque para cada SPCQA, bem como do espaço da própria entrada da obra, devido a frequência de entrega de materiais; e (III) folgas dos equipamentos de transporte da obra, os quais podem ser mais ou menos requisitados para transporte dos componentes do SPCQA dependendo da alternativa analisada.

A quinta diretriz, monitorar e compreender a diferença entre o trabalho prescrito e o realizado, foi considerada tanto nos fatores como na forma com que o método foi concebido. Nos fatores, esta diretriz foi contemplada, por exemplo, ao ser considerado o trânsito pela periferia da obra, pois um SPCQA como o andaime fachadeiro pode permitir o monitoramento da qualidade dos serviços externos, como o reboco, pelo engenheiro da obra. Além disso, esta diretriz também foi contemplada na elaboração da pesquisa, através dos estudos exploratórios. Nestes estudos a pesquisadora acompanhou em detalhes o trabalho real e o prescrito associado ao uso de cada sistema estudado

Por fim, a sexta diretriz sugere criar um ambiente que favoreça a resiliência. Hollnagel (2009) propôs quatro potenciais para alcançar-se a resiliência: responder, monitorar, aprender e antecipar. O método proposto, por auxiliar uma tomada de decisão com transparência e diferentes pontos de vista, está intrinsecamente relacionado ao potencial de *responder*. Além disso também está relacionado ao potencial de *antecipar*, uma vez que é utilizado antes do início da obra, considera as consequências da escolha de um SPCQA ou outro em diversas questões, e avalia fatores externos à empresa, como fiscalização, legislação e fornecedores. Já capacidade de *monitorar* decorre em grande parte da diretriz “monitorar e compreender a diferença entre o trabalho prescrito e o realizado”, conforme discutido no parágrafo anterior. Ao passo que, o potencial para *aprender* está relacionado, por exemplo, ao último passo do método - “listar aprendizados”, e também é contemplado ao considerar-se a experiência da empresa nos fatores de comparação dos SPCQA.

5.4 RESUMO DAS CONDIÇÕES CONTEXTUAIS FAVORÁVEIS AO USO DE REDES DE SEGURANÇA E ANDAIMES FACHADEIROS

Alguns empreendimentos são mais propícios ao uso de redes de segurança enquanto outros são ao andaime fachadeiro. A partir dos resultados da pesquisa, destacam-se resumidamente, nos itens a seguir, as principais condições favoráveis ao uso dos SPCQA estudados neste trabalho. Esta discussão pode ser útil como um guia genérico para apoiar a escolha entre SPCQA, sendo, portanto, uma contribuição prática desta pesquisa.

- a. Empreendimentos com várias torres iguais, construídos em fases, favorecem o uso das redes pela possibilidade de reutilização. As mesmas redes utilizadas na primeira fase, na construção das primeiras torres, podem ser reaproveitadas na segunda fase, e assim por diante, desde que dentro de sua vida útil.
- b. Empreendimentos que já estão em construção e precisam de instalação imediata do SPCQA favorecem o uso do andaime fachadeiro, uma vez que as redes vêm da Espanha e demoram até quatro meses para chegar ao Brasil.
- c. Edificações muito altas favorecem o uso das redes, pois o aluguel do andaime fachadeiro se tornaria muito caro. De forma análoga, para edificações baixas pode não compensar financeiramente a compra das forcas e da rede V, sendo melhor optar pelo andaime fachadeiro.
- d. Obras em que a execução da estrutura é lenta favorecem o uso das redes, pois o andaime fachadeiro é alugado por dia.
- e. Canteiros de obras pequenos, sem espaço para estocar as peças do andaime fachadeiro, favorecem o uso das redes pois essas ocupam menos espaço na obra.
- f. Canteiros de obras com apenas uma entrada para caminhão favorecem o uso das redes pois os andaimes fachadeiros tem grande volume de material e suas entregas pelo fornecedor são frequentes (uma vez que as peças são alugadas), de tal forma que a entrada da obra fica bloqueada durante o descarregamento ou carregamento do caminhão.

- g. Edificações com divisórias internas em *drywall* favorecem o andaime fachadeiro, o qual permite que as mesmas sejam feitas antes da instalação das esquadrias, por vedar a torre contra umidade.
- h. Fachadas com fechamento em alvenaria e reboco externo favorecem o andaime fachadeiro, pois este serve como plataforma de trabalho ajudando na execução das tarefas externas.
- i. Fachadas com pele de vidro favorecem o uso das redes, as quais permitem que a execução da pele seja realizada mais facilmente, com mais segurança e sem interferência com outras equipes.
- j. Fachadas muito recortadas favorecem o uso das redes U, pois são maleáveis ao contrário dos andaimes fachadeiros.

6 CONCLUSÕES

6.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

Esta pesquisa teve como motivação a oportunidade de abordar um problema de natureza prática, o qual consiste na comparação entre dois SPCQA de uso recente na região do estudo: redes de segurança e andaimes fachadeiros. Esta comparação é dificultada pela complexidade do sistema que envolve as próprias proteções, a execução da edificação e fatores externos à empresa e à obra. Por isso, a perspectiva da complexidade foi adotada para modelar a tomada de decisão com apoio do *Choosing By Advantages* (CBA). Por envolver um problema prático com relevância teórica, a estratégia de pesquisa utilizada foi a *Design Science Research*.

O objetivo geral desta pesquisa foi a proposição de um método de escolha de SPCQA pela perspectiva da complexidade. Este objetivo foi atingido através do método proposto na Figura 18 da seção 3.3.1.1, o qual contempla um conjunto de fatores de avaliação de SPCQA, os quais foram apresentados na seção 3.3.1.2. Estes fatores foram desenvolvidos a partir de um estudo exploratório e revisão bibliográfica, e refinados com base em dois estudos empíricos, nos quais os fatores foram implementados - um para redes de segurança e outro para andaimes fachadeiros.

Além disso, o método proposto utiliza o CBA para auxílio na tomada de decisão. A implementação completa do método foi realizada em um terceiro estudo empírico. A partir dos resultados desse terceiro estudo, gerou-se uma discussão atingindo o segundo objetivo específico da pesquisa, que era “apresentar recomendações e limitações do uso do CBA para escolher sistemas de proteção coletiva contra quedas de altura em canteiros de obras, sob o ponto de vista da complexidade”. Os resultados dos estudos empíricos também contribuíram para: (a) uma análise a respeito da perspectiva da complexidade aplicada aos SPCQA; (b) uma discussão sobre como o método proposto atende as diretrizes para a gestão da complexidade propostas por Saurin, Rooke e Koskela (2013); bem como (c) a identificação das condições contextuais favoráveis ao uso de redes de segurança e andaimes fachadeiros.

Destaca-se que esta pesquisa apresentou três dos quatro produtos da *Design Science Research* de acordo com o exposto por March e Smith (1995): modelo, método e instanciação. O modelo (Figura 52) emergiu a partir da discussão apresentada na seção 5.1 e representa as principais

interações no sistema sócio técnico complexo estudado. O método é o principal artefato desta pesquisa – o método para escolha de SPCQA pela perspectiva da complexidade. Por fim, as instâncias foram desenvolvidas nos estudos empíricos 1 e 2 (seção 4.2), com a implementação dos fatores propostos na avaliação das redes de segurança e andaimes fachadeiros, bem como no estudo empírico 3 (seção 4.3), com a implementação do método para um novo empreendimento.

6.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisadora não pode se aprofundar nas Proteções Periféricas Metálicas (PPM). No estudo empírico 3, os dois fornecedores de redes utilizavam diferentes tipos de PPM. Uma delas foi discutida brevemente no trabalho, nas seções 2.1 e 4.2.1, porém a outra a pesquisadora não pode conhecer. Isso ocorreu pois essas proteções surgiram no mercado durante o desenvolvimento do estudo. Como esta proteção era conhecida pelo engenheiro de segurança que participou da equipe de implementação do método no estudo empírico 3, a mesma foi considerada no estudo. A pesquisadora também não fez um estudo empírico para avaliação do andaime fachadeiro modular com os fatores propostos.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugerem-se os seguintes trabalhos futuros:

- 1) Explorar a aplicação do método proposto em outros contextos.

Como todos os estudos desta dissertação foram feitos em obras com concreto armado e alvenaria de vedação na região sul do Brasil comparando redes de segurança e andaimes fachadeiros, sugere-se a implementação do método: para obras com outros sistemas construtivos; em outras regiões do Brasil; em empreendimentos de interesse social em que a margem para investimento em segurança é muito baixa; bem como para outras alternativas de SPCQA. Observando o seu comportamento em diferentes contextos, poder-se-á melhor avaliar o constructo utilidade, por meio do critério de abrangência de utilização.

- 2) Aplicar o método com apoio de BIM.

O desenvolvimento de modelos BIM com SPCQA pode ser útil para estudar as interferências entre as proteções, a fachada e o canteiro de obras, ou seja, interações físicas que constituem a complexidade estrutural do sistema. Além disso, a modelagem 4D pode ajudar a entender as interações entre a execução dos SPCQA e as demais tarefas da obra, ou seja, a complexidade funcional.

- 3) Aprofundar o estudo comparativo entre redes e andaimes fachadeiros.

Podem ser feitos estudos mais detalhados dos SPCQA abordados nesta dissertação. Indica-se, por exemplo, a análise ergonômica das tarefas associadas à montagem e desmontagem de cada sistema, bem como a medição do ritmo de montagem e desmontagem no canteiro de obras.

- 4) Explorar a aplicabilidade do CBA em outros sistemas sócio técnicos complexos.

Por fim, sugere-se que o CBA seja testado para tomada de decisão em ambientes como os do setor hospitalar ou aviação. A investigação do seu comportamento em diferentes contextos sócio técnico complexos poderá contribuir na discussão a respeito de sua aplicabilidade pela perspectiva da complexidade.

REFERÊNCIAS

- ABOURIZK, S. M.; HALPIN, D. W.; WILSON, J. R. Fitting Beta Distributions Based on Sample Data. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 120, n. 2, p. 288-305, 1994.
- ARROYO, P. **Exploring Decision Making Methods for Sustainable Design in Commercial Buildings**. Tese de doutorado. Civil and Environmental Engineering. University of California, Berkeley. 2014.
- ARROYO, P.; TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G. Comparing AHP and CBA as decision methods to resolve the choosing problem in detailed design. **Journal of construction engineering and management**, v. 141, n. 1, p. 04014063, 2014.
- ARROYO, P.; FUENZALIDA, C.; ALBERT, A.; HALLOWELL, M. R. Collaborating in decision making of sustainable building design: an experimental study comparing CBA and WRC methods. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 132–142, 2016.
- ARROYO, P.; MOLINOS-SENANTE, M. Selecting appropriate wastewater treatment technologies using a choosing-by-advantages approach. **Science of the Total Environment**, v. 625, p. 819-827, 2018.
- ARROYO, P.; TOMMELEIN, I.; BALLARD, G. Comparing multi- criteria decision-making methods to select sustainable alternatives in the AEC industry. **Int. Conf. on Sustainable Design, Engineering, and Construction 2012**, ASCE, p. 869–876. Reston, 2013
- ARROYO, P.; TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G. Selecting Globally Sustainable Materials: A Case Study Using Choosing by Advantages. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 2, p. 05015015, 2015.
- ASHBY, W.R. Requisite variety and its implications for the control of complex systems. **Cybernetica** 1, p. 83–99. 1958.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). **EN1263-1**: Equipamiento para trabajos temporales de obra. Redes de seguridad. Parte 1: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo. Madrid, 2018
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). **EN1263-2**: Equipamiento para trabajos temporales de obra. Redes de seguridad. Parte 2: Requisitos de seguridad para los límites de instalación. Madrid, 2016
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). **EN 12810-1**: Andamios de fachada de componentes prefabricados. Parte 1: Especificaciones de los productos. Madrid, 2005.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). **EN 12811**: Equipamiento para trabajos temporales de obra. Madrid, 2005.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). **EN 12810-2**: Andamios de fachada de componentes prefabricados. Parte 2: Métodos particulares de diseño estructural. Madrid, 2005.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). **EN 13374**: Sistemas provisionales de protección de borde – Especificaciones del producto, métodos

de ensayo. Madrid, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6494**: Segurança nos andaimes. Rio de Janeiro, 1990

BACCARINI, D. The concept of project complexity - A review. **International Journal of Project Management**, v. 14, n. 4, p. 201–204, 1996.

BANDEIRA, A. A.; CARVALHO, R. F.; FERREIRA E. A. M. Inovação em plataformas de proteção. In: SERRA, S. M. B.; COSTA, D. B.; SAURIN, T. A.; CARDOSO, F. F. (org.). **Tecnologias para canteiro de obras sustentável**. São Carlos: FINEP, 2017.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, Lda, 1977.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-3**: Embargo ou Interdição, 2011. Disponível em: < <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR3.pdf> >. Acesso em 03 de janeiro de 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-18**: condições e meio-ambiente de trabalho na indústria da construção, 2018. Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-18.pdf>. Acesso em: 22 de setembro de 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-35**: Trabalho em altura. 2016. Disponível em: < <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR35.pdf> >. Acesso em: 22 de setembro de 2019.

BOSCH-REKVELDT, M.; JONGKIND, Y.; MOOI, H.; BAKKER, H.; VERBRAECK, A. Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework. **International Journal of Project Management**, v. 29, n. 6, p. 728–739, 2011.

BRAHA, D.; MAIMON, O. The measurement of a design structural and functional complexity. In: **A Mathematical Theory of Design: Foundations, Algorithms and Applications**. p. 241–277. Boston: Springer, 1998.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **Guia para gestão de segurança nos canteiros de obra: orientação para prevenção dos acidentes e para o cumprimento das normas de SST**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Guia_para_gestao_seguranca_nos_canteiros_de_obras_2017.pdf>. Acesso em: 03 de setembro de 2018.

CAMERON, I.; GILLAN, G.; DUFF, A. R. Issues in the selection of fall prevention and arrest equipment. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 14, n. 4, p. 363–374, 2007.

CHECKLAND, P. Systems thinking, systems practice: includes a 30-year retrospective. **Journal-Operational Research Society**, v. 51, n. 5, p. 647–647, 2000.

CILLIERS, P. **Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems**. v. 100. London: Routledge, 1998.

CLEGG, C. Sociotechnical principles for system design. **Applied Ergonomics**, v. 31, p. 463–77, 2000.

COMITÊ PERMANENTE REGIONAL. **Recomendações referentes a utilização dos sistemas de redes de segurança.** 2017. Disponível em: <<http://cpr-rs.com.br/index.php/melhores-praticas>>. Acesso em: 03 de setembro de 2018.

ČUŠ-BABIČ, N. et al. Supply-chain transparency within industrialized construction projects. **Computers in Industry**, v. 65, n. 2, p. 345–353, 2014.

CUTLIP, R.; HSIAO, H.; GARCIA, R.; BECKER, E.; MAYEUX, B. A comparison of different postures for scaffold end-frame disassembly. **Applied Ergonomics**. v. 31, p. 507–513. 2000.

DEKKER, S. **Drift into Failure: From Hunting Broken Components to Understanding Complex Systems.** London: Ashgate, 2011.

ELMARAGHY, W.; ELMARAGHY, H.; TOMIYAMA, T.; MONOSTORI, L. Complexity in engineering design and manufacturing. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 61, n. 2, p. 793–814, 2012.

EMERY, F.E.; TRIST, E.L. Socio-technical systems. In: Churchman, C.W., Verhulst, M. (Eds.), **Management Science Models and Techniques**, v.2. Oxford: Pergamon, 1960. p. 83-97.

ESTAL. **Andaimes Estal.** 2019. Disponível em: <<https://estalandaim.com.br/produktividade/andaimefachadeirolocacao/>> Acesso em 29 de agosto de 2019.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 12810:** Façade scaffolds made of prefabricated components.2003

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 12811:**Temporary works equipments.2004

GIDADO, K. I. Project Complexity: The Focal Point of Constriction Production Planning. **Construction Management and Economics**, v. 14, p. 213-225, 1996.

GOH, Y. M.; WANG, Q. Investigating the adequacy of horizontal lifeline system design through case studies from Singapore. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 141, n. 7, p. 04015017, 2015.

GRAVITEC. **Hierarchy of fall protection.** 2019. Disponível em: <<https://gravitec.com/hierarchy-fall-protection/>> Acesso em: 29 de agosto de 2019.

GUASTELLO, S. J. Non-linear dynamics and leadership emergence. **The Leadership Quarterly**, v. 18, n. 4, p. 357-369, 2007.

HALPERIN, K.M.; MCCANN, M. An evaluation of scaffold safety at construction sites. **Journal of Safety Research**, v. 35 (2), p. 141–150, 2004

HENDRICK, H. W.; KLEINER, B. M. Macroergonomics: An introduction to work system design. **Human Factors and Ergonomics Society**, 2001.

HINZE, J.; THURMAN, S.; WEHLE, A. Leading indicators of construction safety performance. **Safety Science**, v. 51, n. 1, p. 23–28, 2013.

HOLLNAGEL, E. **Barriers Analysis and Accident Prevention.** Aldershot: Ashgate, 2004.

HOLLNAGEL, E. The four cornerstones of resilience engineering. In: Nemeth, C., Hollnagel,

E., Dekker, S. (Eds.), **Resilience Engineering Perspectives: Preparation and Restoration**, vol. 2., pp. 117–133. Burlington: Ashgate, 2009

HOLLNAGEL, E.; PARIES, J.; WOODS, D.; WREATHALL, J. **Resilience Engineering in Practice: A Guidebook**. Burlington: Ashgate, 2011.

HOLLNAGEL, E. **FRAM: the functional resonance analysis method: modelling complex socio-technical systems**. Ashgate, 2012.

HOLLNAGEL, E. Why is work-as-imagined different from work-as-done? In: *Resilient Health Care*, v 2., p. 249–265. Boca Raton: CRC Press, 2017.

HOLMSTRÖM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A.-P. Bridging Practice and Theory: A Design Science Approach. **Decision Sciences**, v. 40, n. 1, p. 65–87, 2009.

HSE. Health and Safety Executive. A Review of Criteria Concerning Design, Selection, Installation, Use, Maintenance and Training Aspects of Temporarily-Installed Horizontal Lifelines. **HSE Books**. United Kingdom, 2004.

HSE. Health and Safety Executive. **Selecting equipment for work at height**, 2012. Disponível em: <<http://www.hse.gov.uk/falls/campaign/selectingequipment.pdf>>. Acesso em: 03 de março de 2018.

HMSO. **The Work at Height Regulations**. Her Majesty's Stationery Office. London, Statutory Instrument No. 735. 2005.

HALPERIN, K.M.; MCCANN, M. An evaluation of scaffold safety at construction sites. **Journal of Safety Research**, v.35, p.141–150, 2004.

KARAKHAN, A. A.; GAMBATESE, J. A.; RAJENDRAN, S. Application of Choosing by Advantages Decision-Making System to Select Fall- Protection Measures. In: **Proc. 24th Ann. Conf. Of The Int'l. Group For Lean Construction 2016**, Boston, MA, USA. 2016.

KPAMMA, Z. E.; ADJEI-KUMI, T.; AYARKWA, J.; ADINYIRA, E. An exploration of the choosing by advantages decision system as a user engagement tool in participatory design. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 12, p. 51–66, 2015.

KAST, F. E.; ROSENZWEIG, J. E. General systems theory: Applications for organization and management. **Academy of Management Journal**, v. 15, n. 4, p. 447–465, 1972.

KPAMMA, Z. E.; ADJEI-KUMI, T.; AYARKWA, J.; ADINYIRA, E. Application of the CBA decision system to manage user preferences in the design process. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 142, n. 1, p. 05015004, 2015.

LIN, E.; YNG, F.; WENG, A. Framework for Project Managers to Manage Construction Safety, **International Journal of Project Management**, v.23, p.329-341, 2005.

LUKKA, K. The Constructive Research Approach. In: **Case study research in logistics**, v. Series B, p. 83–101, 2003.

ELMARAGHY, W. H.; URBANIC, R. Jill. Modelling of manufacturing systems complexity. **CIRP Annals**, v. 52, n. 1, p. 363-366, 2003.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, p. 251–266, 1995.

MARTINS, M. S. **Diretrizes para elaboração de medidas de prevenção contra quedas de**

- altura em edificações.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos. 2004.
- MATTOS, A. **Como alugar andaimes fachadeiros.** 2015. Disponível em: <<http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/como-alugar-andaimes-fachadeiros-340454-1.aspx>> Acesso em: 03 de setembro de 2018.
- MITROPOULOS, P.T.; CUPIDO, G. The role of production and teamwork practices in construction safety: A cognitive model and an empirical case study, **Journal of Safety Research**, v. 40, n. 4, p. 265–275, 2009.
- MURGUIA, D.; BRIOSO, X. Using “Choosing by Advantages” and 4D Models to Select the Best Construction-Flow Option in a Residential Building. **Procedia engineering**, v. 196, p. 470-477, 2017.
- NIOSH. **Hierarchy of controls.** 2015. Disponível em: <www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy>. Acesso em: 29 de agosto de 2019.
- NNAJI, C.; LEE, H. W.; KARAKHAN, A.; GAMBATESE, J. Developing a Decision-Making Framework to Select Safety Technologies for Highway Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 144, n. 4, p. 04018016, 2018.
- NOHRIA, N.; GULATI, R. Is slack good or bad for innovation?. **Academy of management Journal**, v. 39, n. 5, p. 1245-1264, 1996.
- ORFI, N.; TERPENNY, J.; SAHIN-SARIISIK, A. Harnessing product complexity: Step 1 establishing product complexity dimensions and indicators. **Engineering Economist**, v. 56, n. 1, p. 59–79, 2011.
- OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **United States Department of Labour.** 1926.501 - Duty to have fall protection. 1996a.
- OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **United States Department of Labour.** 1926.502 - Fall protection on systems criteria and practices. 1996b.
- OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **United States Department of Labour.** 3146 -Fall protection in construction. 1998.
- PEÑALOZA, G. A.; SAURIN, T. A.; FORMOSO C. T. Identification and assessment of requirements of temporary edge protection systems for buildings. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 58, p. 90-108, 2017.
- PERROW, C. **Normal Accidents: Living with high risk technologies.** New York: Basic Books, 1984.
- POLI, C. **Design for Manufacturing: A Structured Approach.** Butterworth-Heinemann, 2001.
- REIMBERG, C. Tripartismo na NR 18 completa 25 anos. Ministério do Trabalho. **FUNDACENTRO.** 2018. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/noticias/detalhe-da-noticia/2018/5/tripartismo-na-nr-1-completa-25-anos>. Acesso em 29 de dezembro de 2018.
- RIGHI, A. W. **Caracterização e análise da complexidade como recurso para gestão de sistemas sócio-técnicos.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014.
- RUBIO-ROMERO, J. C.; GÁMEZ, M. C. R.; CARRILLO-CASTRILLO, J. A.. Analysis of the safety conditions of scaffolding on construction sites. **Safety science**, v. 55, p. 160-164, 2013.
- SAFAYENI, F; PURDY, L. A behavioral case study of just-in-time implementation. **Journal**

of **Operations Management**, v. 10, n. 2, p. 213-228, 1991.

SAMPAIO, S. Quedas com diferença de nível são a segunda principal causa de acidentes fatais no trabalho. **Ministério do Trabalho**. 2018. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/noticias/5782-quedas-com-diferenca-de-nivel-sao-a-segunda-principal-causa-de-acidentes-fatais-no-trabalho>>. Acesso em: 03 de setembro de 2018.

SAMY, S. N.; ELMARAGHY, H. A model for measuring products assembly complexity. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 23, n. 11, p. 1015-1027, 2010.

SAMY, S. N.; ELMARAGHY, H. A. Complexity mapping of the product and assembly system. **Assembly Automation**, v. 32, n. 2, p. 135–151, 2012.

SAURIN, T. A. Safety inspections in construction sites: A systems thinking perspective. **Accident Analysis and Prevention**, v. 93, p. 240-250, 2016.

SAURIN, T. A.; ROOKE, J. ; KOSKELA, L. A complex systems theory perspective of lean production. **International Journal of Production Research**, v. 51, p. 5824-5838, 2013.

SAURIN, T. A.; SOSA, S. Assessing the compatibility of the management of standardized procedures with the complexity of a sociotechnical system: Case study of a control room in an oil refinery. **Applied Ergonomics**, v. 44, n. 5, p. 811–823, 2013.

SCHARF, T.; VAUGHT, C.; KIDD, P.; STEINER, L.; KOWALSKI, K.; WIEHAGEN, B.; RETHI, L.; COLE, H. Toward a typology of dynamic and hazardous work environments. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 7, n. 7, p. 1827-1841, 2001.

SCHÖTTLE, A.; ARROYO, P. Comparison of weighting-rating-calculating, best value, and choosing by advantages for bidder selection. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143(8), p. 05017015. 2017.

SIEMIENIUCH, C. E.; AND M. A. SINCLAIR. On Complexity, Process Ownership and Organizational Learning in Manufacturing Organizations, from an Ergonomics Perspective. **Applied Ergonomics**, v. 33 (5), p. 449–462, 2002.

SNOWDEN, D. J.; BOONE, M. E. A Leader’s Framework for Decision Making: Wise Executives Tailor their Approach to Fit the Complexity of the Circumstances they Face. **Harvard Business Review**, p. 69–76, 2007.

SOLIMAN, M.; SAURIN, T. A. Lean production in complex socio-technical systems: a systematic literature review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 45, p. 135-148, 2017.

STURGES, J.R.; ROBERT, H.; KILANI, M. I. Towards an integrated design for an assembly evaluation and reasoning system. **Computer-aided design**, v. 24, n. 2, p. 67-79, 1992.

SUHR, J. **The Choosing by Advantages Decisionmaking System**. Westport: Quorum Books, 1999.

TOOLE, T. M.; GAMBATESE, J. The Trajectories of Prevention through Design in Construction. **Journal of Safety Research**, v. 39, n. 2, p. 225–230, 2008.

ULMA. **O andaime para cada necessidade**. 2019. Disponível em: <https://www.ulmaconstruction.com.br/pt-br/andaimas>. Acesso em: 29 de agosto de 2019.

VAN AKEN, J. E. Management Research on the Basis of the Design Paradigm: the Quest for Field-tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219–246, 2004.

VESTERBY, V. Measuring complexity: Things that go wrong and how to get it right. **Emergence: Complexity and Organization**, v. 10, n. 2, p. 90–102, 2008.

WIJESUNDERA, D. A.; OLOMOLAIYE, P. O.; HARRIS, F. C. Dynamic Simulation Applied to Materials Handling in High-Rise Construction. **Computers & Structures**, v. 41, n. 4, p. 1133-1139, 1991.

WILLIAMS, T. M. The need for new paradigms for complex projects. **International Journal of Project Management**, International Project Management Association, Stockholm, v. 17, n. 5, p. 269-273, 1999.

WOODCOCK, K. Model of safety inspection. **Safety Science**, v. 62, p. 145–156, 2014.

WOODS, D. D.; HOLLNAGEL, E. Epilogue: Resilience engineering precepts. In: **Resilience engineering: Concepts and precepts**. p. 347–358. Aldershot: Ashgate, 2006.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. 3rd. ed. London. v. 5

ZHANG, S; LEE, J. K.; VENUGOPAL, M.; TEIZER, J.; EASTMAN, C . Integrating BIM and Safety : An Automated Rule-Based Checking System for Safety Planning and Simulation. In: **PROCEEDINGS OF CIB W099**. 2011

ZULUAGA, C. M.; ALBERT, A. Preventing falls: Choosing compatible Fall Protection Supplementary Devices (FPSD) for bridge maintenance work using virtual prototyping. **Safety science**, v. 108, p. 238-247, 2018.

APÊNDICE A - Roteiro de entrevistas estudos empíricos 1 e 2

	Fornecedores	Engenheiros	Montadores	Projetistas
Perguntas:				
COMPLEXIDADE DA PROTEÇÃO				
1. Como é o sistema de proteções coletivas em relação à quantidade de componentes?	X		X	X
2. Como é o sistema de proteções coletivas em relação à diversidade de componentes?	X		X	X
3. Como é o sistema de proteções coletivas em relação à interdependência entre componentes?		X		X
4. Qual a probabilidade e severidade de possíveis quedas?	X	X	X	X
5. Há um prazo de validade para os materiais? Quanto tempo?	X			
6. Como é feita a montagem e desmontagem?			X	
7. Quais atividades da montagem necessitam mais esforço físico?			X	
8. Como é feito o treinamento das equipes de montagem?		X		
9. Como é feita a manutenção?	X	X		
10. Como é feito o controle tecnológico dos materiais e o controle do reaproveitamento dos materiais?	X	X		
11. Em relação à produtividade, você acha que o sistema escolhido tem um bom desempenho?	X	X		
COMPLEXIDADE DO ENTORNO				
1. Em que momentos há interação entre a equipe de segurança do trabalho e outras equipes?			X	
2. Há interdependência entre tarefas, equipes ou sequência de produção envolvendo as proteções coletivas?		X		
3. Quais os conflitos entre as proteções coletivas e o ambiente? (Por exemplo o terreno da obra, vento, descargas elétricas ocasionadas por raios).		X	X	X
4. Quais os conflitos entre as proteções coletivas e o layout e logística da obra?		X		

	Fornecedores	Engenheiros	Montadores	Projetistas
Perguntas:				
COMPLEXIDADE DO ENTORNO				
5. Há necessidade de uso de guas ou elevadores na utilização deste sistema? Como é a interação com estes equipamentos?	X	X	X	
6. Como são executadas as tarefas da fachada? Instalação de esquadrias, alvenaria, reboco, revestimento (painéis, cerâmica, etc).		X		
7. Quais foram as maiores dificuldades de adequação entre a obra e o andaime fachadeiro? Ex.: formato da edificação, terreno, pé direito, equipamentos, formas		X	X	X
8. Há necessidade de uso de proteções adicionais durante montagem, desmontagem e uso das proteções coletivas? Quais? (Ex.: cinto de segurança, proteção metálica).	X	X	X	X
9. Há necessidade de balancins? Para quais atividades?		X		
RESILIÊNCIA				
1. Há possibilidade de reaproveitamento dos materiais em obras posteriores ou dentro da mesma obra (ex.: em fases diferentes ou por diferentes geometrias)?	X	X		
2. Como o sistema se adequa a obras com diferentes tipologias ou sistemas construtivos?	X			X
3. Qual a experiência da empresa no uso do sistema escolhido? Quantas obras?		X	X	
COMPLEXIDADE EXTERNA				
1. O sistema escolhido é foco de problemas por embargos nas obras? Quais as causas?	X	X		
2. Como é a legislação brasileira sobre este tipo de proteção coletiva? Há brechas para diferentes interpretações?	X	X		X
3. Como o sistema escolhido se comporta em situações de mau tempo, chuvas e temporais?	X	X	X	X
OUTRAS				

	Fornecedores	Engenheiros	Montadores	Projetistas
Perguntas:				
1. O que deve ser levado em consideração na escolha de proteções coletivas?	X	X	X	X
2. Quais as informações necessárias para elaboração do projeto de proteções coletivas?				X
3. Comente sobre a facilidade de entender o projeto. Como o projeto poderia ser melhorado?			X	
4. Como é feita a troca de informações entre quem projeta e quem monta as proteções coletivas?		X	X	X
5. Que tipo de melhorias já foram feitas ao longo da obra ou da história da empresa envolvendo proteções coletivas?		X	X	
6. Já aconteceram situações inesperadas com você ao longo do tempo que está trabalhando com este tipo de proteção coletiva?		X	X	
7. Comente sobre o custo de compra ou locação das proteções coletivas	X	X		