

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *EM ENGENHARIA CIVIL*

**PROCEDIMENTOS E PROJETO DE DEMOLIÇÕES PARA
EDIFICAÇÕES EM CONCRETO ARMADO**

Pedro Henrique Santos Martins

São Carlos
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *EM ENGENHARIA CIVIL*

**PROCEDIMENTOS E PROJETO DE DEMOLIÇÕES PARA
EDIFICAÇÕES EM CONCRETO ARMADO**

Pedro Henrique Santos Martins

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Área de Concentração: Construção Civil, Estruturas e Geotecnia

Orientador: Fernando Menezes de Almeida Filho

São Carlos
2019

MARTINS, Pedro Henrique Santos

PROCEDIMENTOS E PROJETO DE DEMOLIÇÕES PARA
EDIFICAÇÕES EM CONCRETO ARMADO Pedro / Pedro Henrique Santos
MARTINS. -- 2019.

129 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus São
Carlos, São Carlos

Orientador: FERNANDO MENEZES DE ALMEIDA FILHO

Banca examinadora: FERNANDO MENEZES DE ALMEIDA FILHO,
JOSÉ CARLOS PALIARI, GERSON MOACYR SISNEGAS

Bibliografia

1. demolição. 2. projeto de demolição. 3. técnicas de demolição. I.
Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Ronildo Santos Prado – CRB/8 7325

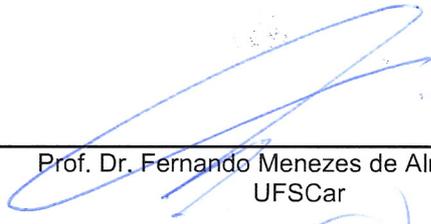


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

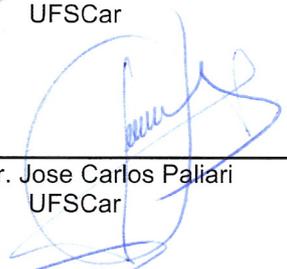
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Pedro Henrique Santos Martins, realizada em 17/04/2019:



Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho
UFSCar



Prof. Dr. Jose Carlos Paliari
UFSCar



Prof. Dr. Gerson Moacyr Sisniegas Alva
UFU

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Gerson Moacyr Sisniegas Alva e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ao) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.



Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho

Dedico esse trabalho a minha família
pelo apoio em todas as conquistas.

Agradecimentos

A Deus por dirigir meus caminhos, a Ele seja a honra e glória.

À minha família por serem sempre tão zelosos ao apoiar os meus sonhos e à minha esposa Gabriela por me acompanhar e encorajar em meus planos.

Ao meu orientador Professor Fernando Menezes por não medir esforços e demonstrar sempre disponível, instruindo não somente neste trabalho, mas também oferecendo conselhos preciosos para a vida.

A Demolidora Roma na pessoa do Engenheiro Mauricio Minari pela contribuição com dados para a pesquisa.

A todos os amigos de Jataí, Goiânia, Uberaba e São Carlos que torceram por mim e me incentivaram a continuar.

A Aliança Bíblica Universitária esse movimento cristão estudantil que me trouxeram amigos de alma. Agradeço pelos ensinamentos compartilhados, pela amizade e as orações. Tenham a certeza que os levarei para vida.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil da UFSCar que foram acessíveis e que ampliaram minha admiração pela profissão.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação que compartilharam dos momentos de incertezas, estudos e boas conversas.

Resumo

MARTINS, Pedro Henrique Santos. **Procedimentos e projeto de demolições para edificações em concreto armado**. 2019. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

A demolição é o processo de fragmentação planejada de elementos da construção que pode ser total, representando a completa ruína da edificação, ou parcial, ocorrida em reformas e alterações estruturais. Contudo, é considerada como atividade de risco, pois afeta na maioria das vezes elementos estruturais e, conseqüentemente, o comportamento estático da edificação, sendo que a consideração do projeto de demolição e a do colapso controlado, é deixado sem critério específico. Assim, a pesquisa fez um estudo das normas, cartilhas e instruções técnicas nacionais e internacionais que abordam o projeto e os procedimentos adequados para serviços de demolição de estruturas em concreto armado. No Brasil, os serviços de demolição são executados por meio de métodos empíricos e, muitas vezes, sem o adequado resguardo técnico, uma vez que a norma brasileira que regulamentava a contratação e oferecia diretrizes para execução dos serviços de demolição, foi cancelada. Portanto, foi apresentado um estudo comparativo da norma brasileira cancelada e as normas estrangeiras, mostrando suas diferenças e procedimentos, bem como as principais técnicas correntes, tais como: a demolição manual, mecânica, por cabos puxadores, por explosivos, por bola de demolição, por métodos químicos e térmicos e, por hidro demolição com jato de pressão. Portanto, foram apresentadas as diferentes técnicas, as considerações para projeto e execução de demolições e exemplos de aplicações de projeto, em que foram apresentados e discutidos os critérios de planejamento. A decisão do método mais adequado deveria ser feita avaliando os fatores de restrição, custo, disponibilidade de equipamentos e acesso, distância de edificações vizinhas, o estado da estrutura e condições meteorológicas. Assim, de acordo com o que foi observado, concluiu-se que é importante uma adequação preliminar da edificação a ser demolida, para se levar em consideração o método mais eficiente e eficaz no seu correto desmantelamento e descarte dos resíduos gerados.

Palavras chave: demolição, colapso controlado, projeto de demolição, técnicas de demolição, normas.

Abstract

MARTINS, P. H. S. [2019]. **Procedures and Project of Demolitions for Buildings in Reinforced Concrete**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

Demolition is the process of planned fragmentation of elements of construction that can be total, representing the ruin of the building, or partial, occurred in reforms and structural changes. However, it is considered as a risk activity, as it is often affected structural elements, and consequently, the static behavior of the building, and the study of the demolition project and controlled collapse is left without specific criteria. This research features a study of national and international standards, guidelines and code of practices that discuss the project and the useful techniques for demolition of reinforced concrete structures. In Brazil, the demolition is executed through empirical methods and often without technical safeguard, since the Brazilian norm that regulated the contracting and offered guidelines for the execution of demolition services was canceled. Therefore, were presented a study of the Brazilian norm canceled and standards of other countries, showing their differences and procedures, as well as the main current techniques, such as: manual, mechanical, wire rope pulling demolition, by explosives, wrecking ball, chemical demolition, thermal procedures and by hydro-demolition with pressure jet. Therefore, the different techniques are presented, the considerations for project and execution of demolitions and examples of projects applications, which is presented and discussed the planning criteria. The decision of the most appropriate method should be made by evaluating the factors of restriction, cost, availability of equipment and access, distance of neighboring buildings, the state of the structure and meteorological conditions. Thus, according to what was observed, it was concluded that a preliminary adequacy of the building to be demolished is important, to consider the most efficient and effective method in its correct dismantling and disposal of the waste generated.

Keywords: demolition, controlled collapse, demolition design, demolition techniques, standards.

Lista de Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEM	Applied Element Method (Método do Elemento Aplicado)
ANSI	American National Standards Institute
ASSE	American Society of Safety Engineers
BSI	British Standard Institute (Instituto de Normas Britânicas)
FEM	Finite Element Method (Método de Elementos Finitos)
H	Altura do Edifício a ser demolido
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NISTIR	National Institute of Standard and Technology
NZDAA	New Zealand Demolition and Asbestos Association
MCA	Método dos Caminhos Alternativos
MEA	Método do Elemento Aplicado
MEF	Método de Elementos Finitos
OSHA	Occupational Safety and Health Administration

Lista de Figuras

Figura 1.1: Maiores edifícios demolidos	16
Figura 2.1: Demolição Manual.....	29
Figura 2.2: Detalhamento do Projeto – Demolição Mecânica	31
Figura 2.3: Demolição de um edifício 6 andares.....	32
Figura 2.4: Demolição por rompedor hidráulico de grande altura	32
Figura 2.5: Demolição por máquinas	33
Figura 2.6: Rampa para o transporte de máquinas ao andar inferior.....	33
Figura 2.7: Demolição de pilares com uso máquinas.....	34
Figura 2.8: Demolição por cabos puxadores	35
Figura 2.9: Demolição por Bola de Demolição.....	36
Figura 2.10: Sistema de proteção do lançamento de projeteis com arame zincado e manta geotêxtil	37
Figura 2.11: Mecanismo tipo telescópio.....	39
Figura 2.12: Mecanismo tipo derrube.....	39
Figura 2.13: Hotel em Las Vegas Demolido por implosão	40
Figura 2.14: Planta com a área de influência da demolição por explosivos.....	42
Figura 2.15: Perspectiva com a área de influência da demolição por explosivos	42
Figura 2.16: Demolição do Hospital de Forças Armadas.....	44
Figura 2.17: Medidas de contenção e proteção para estruturas vizinhas.....	45
Figura 2.18: Demolição por argamassa expansiva	46
Figura 2.19: Demolição por jato de água	47
Figura 2.20: Técnica Taisei Corporation de Demolições	49
Figura 2.21: Demolição de Pilares	50
Figura 2.22: Detalhes da demolição de pilares.....	50

Figura 2.23: Demolição de Vigas	51
Figura 2.24: Plataforma de trabalho em Demolição de Lajes	52
Figura 2.25: Plano de demolição de lajes armadas em duas direções.	53
Figura 2.26: Tombamento de viga em balanço com a remoção de pilares	54
Figura 2.27: Tombamento por desequilíbrio devido a remoção de parte da estrutura.	54
Figura 2.28: Desenho esquemático de uma estrutura protendida.....	55
Figura 2.29: Distância mínima das chaminés às edificações vizinhas em demolições por Colapso Planejado	56
Figura 2.30: Fluxograma do Estudo de Estabilidade.....	57
Figura 2.31: Escoramento provisório do edifício vizinho	58
Figura 2.32: Galeria de proteção para edifícios com $H > \text{Espaço Livre} > H/2$	59
Figura 2.33: Estruturas de Proteção na fachada do Edifício.....	60
Figura 4.1: Fluxograma do Projeto de Demolições.....	77
Figura 4.2: Modelagem Computacional do Mecanismo de Demolição	79
Figura 4.3: Modelagem 3D da demolição da arquibancada - Estádio Castelão.....	81
Figura 4.4: Simulação da Demolição do Hospital Santa Mônica pelo software Extreme Loading®.....	82
Figura 4.5: Comportamento estrutural de balanço e membrana em estrutura de concreto pré- moldado	84
Figura 4.6: Regiões de influência na retirada de pilares.....	85
Figura 4.7: Perda do apoio B e posição deformada.....	86
Figura 5.1: Planta baixa edificação unifamiliar de 2 pavimentos.....	91
Figura 5.2: Modelagem tridimensional da estrutura de uma residência unifamiliar com CYPECAD® 2017	92
Figura 5.3: Detalhamento da sequência da demolição – Etapa 1 e 2	93
Figura 5.4: Detalhamento da sequência da demolição – Etapa 3 e 4	93
Figura 5.5: Detalhamento da sequência da demolição – Etapa 5 e 6	94

Figura 5.6: Detalhe da demolição de viga	95
Figura 5.7: Detalhe para demolição de lajes.....	95
Figura 5.8: Detalhe da demolição de pilares	96
Figura 5.9: Modelagem tridimensional da estrutura de uma edificação térrea com CYPECAD® 2017	97
Figura 5.10: Planta Baixa Construção térrea de grandes dimensões.....	98
Figura 5.11: Modelagem tridimensional da estrutura de um edifício de 10 pavimentos com CYPECAD® 2017	100
Figura 5.12: Planta Baixa Edifício	100
Figura 5.13: Detalhe demolição de Lajes (armadas em 2 direções).....	102
Figura 5.14: Detalhe demolição mecânica com braço de longa altura.....	103
Figura 5.15: Detalhe para o içamento de escavadeira para demolição em edifícios.....	104
Figura 8.1: Estrutura Aranha	118
Figura 8.2: Estrutura Aranha	119

Lista de Tabelas

Quadro 3.1: Recomendações da NBR 5682:1977 em diversas condições	62
Quadro 3.2: Comparativo entre Normas, Cartilhas e Códigos de Boas Práticas de Demolição	73
Quadro 4.1: Comparação entre o MEF E MEA	80
Quadro 5.1: Classificação de técnicas	90

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	Principal.....	19
1.1.2	Específicos.....	19
1.2	JUSTIFICATIVA	19
1.3	RESUMO DA METODOLOGIA	21
1.4	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	21
1.5	ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO.....	22
2	DEMOLIÇÕES DE EDIFICAÇÕES.....	24
2.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	24
2.1.1	Sequência das Atividades	25
2.2	FASES DA DEMOLIÇÃO.....	26
2.2.1	Pré-Demolição	26
2.2.2	Demolição.....	27
2.2.3	Pós-Demolição	28
2.3	TÉCNICAS DE DEMOLIÇÃO.....	28
2.3.1	Demolição Manual	29
2.3.2	Demolição Mecânica	30
2.3.3	Demolição por tração de cabos puxadores	34
2.3.4	Bola de Demolição	35
2.3.5	Demolição por explosivos	36
2.3.6	Métodos Químicos.....	45
2.3.7	Métodos Térmicos	46
2.3.8	Hidro demolição por jato de pressão	47

2.3.9	Sistema Ecológico <i>Taisei Corporation</i> de demolição	48
2.4	DEMOLIÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS	49
2.4.1	Pilares	49
2.4.2	Vigas	51
2.4.3	Lajes	51
2.4.4	Marquises e Balanços	53
2.4.5	Estruturas Protendidas	55
2.4.6	Chaminés	56
2.5	ESTRUTURAS TEMPORÁRIAS	56
2.5.1	Estudo de Estabilidade	56
2.5.2	Escoras	58
2.5.3	Galerias de Proteção	59
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
3	NORMAS E CARTILHAS TÉCNICAS	61
3.1	NORMAS BRASILEIRAS	61
3.1.1	ABNT NBR 5682: 1977 – Contratação e Execução e Supervisão de Demolições – Cancelada em 2008	61
3.1.2	NR 18: 2011 – Norma Regulamentadora – Condições e Meio Ambiente de Trabalho – Demolições	65
3.1.3	ABNT NBR 16280: 2014 – Reforma em Edificações – Sistema de Gestão de Reformas – Requisitos	65
3.2	BS 6187:2011 – <i>Code of Practices for Demolition</i> (Inglaterra)	66
3.3	AS 2601:2001 - <i>The Demolition of Structures</i> - Australia	67
3.4	<i>Demolition Work – Code of Practices: 2016 – Safe Work</i> (Austrália)	68
3.5	<i>Code of Practices for Demolitions of Buildings: 2004 (China)</i>	69
3.6	<i>29 CFR 1926 Subpart T: 2016</i> (Estados Unidos)	70

3.7	<i>Demolition - Best Practice Guidelines for Demolition in New Zealand: 2013</i> (Nova Zelândia).....	71
3.8	Comparativo entre as Normas, Cartilhas e Códigos de Boas Práticas.....	72
4	PROJETO DE DEMOLIÇÕES.....	75
4.1	Métodos de Análise de Estabilidade.....	78
4.1.1	Método do Elemento Aplicado.....	78
4.1.2	Método dos Caminhos Alternativos de Cargas (MCA).....	83
4.1.3	Método da Força de Amarração	85
4.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
5	EXEMPLOS DE APLICAÇÕES E QUESTIONÁRIOS	88
5.1	Questionários	88
5.2	Recomendações Gerais	89
5.3	Escolha da técnica.....	89
5.4	Exemplos de Aplicações.....	91
5.4.1	Residência Unifamiliar dois andares	91
5.4.2	Edificação Térrea Grandes dimensões	97
5.4.3	Edifício Múltiplos Pavimentos – 10 andares.....	99
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
6	CONCLUSÕES.....	107
6.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	109
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
8	APÊNDICE A	114
9	APÊNDICE B	123
10	APÊNDICE C.....	128

1 INTRODUÇÃO

A demolição é processo de fragmentação planejada de elementos da construção, reduzindo-os em frações transportáveis. Em geral, quando se fala em demolições, imagina-se que seja a completa ruína de uma estrutura, mas o termo também se designa para demolições parciais, condicionadas a algum trecho ou peça específica.

O desmantelamento de elementos é uma atividade presente desde os primórdios da humanidade, sendo que Santos (2013) afirmou que as primeiras ferramentas criadas pelo homem também eram utilizadas para demolir rochas e remover árvores para ampliação de habitações e acampamentos.

Na maioria das vezes, o desenvolvimento das cidades conta com a construção a partir de um terreno vazio, porém, com a modernização e novos empreendimentos em áreas valorizadas, era necessário que houvesse a substituição de estruturas existentes para que se construíssem as novas aplicações de projeto.

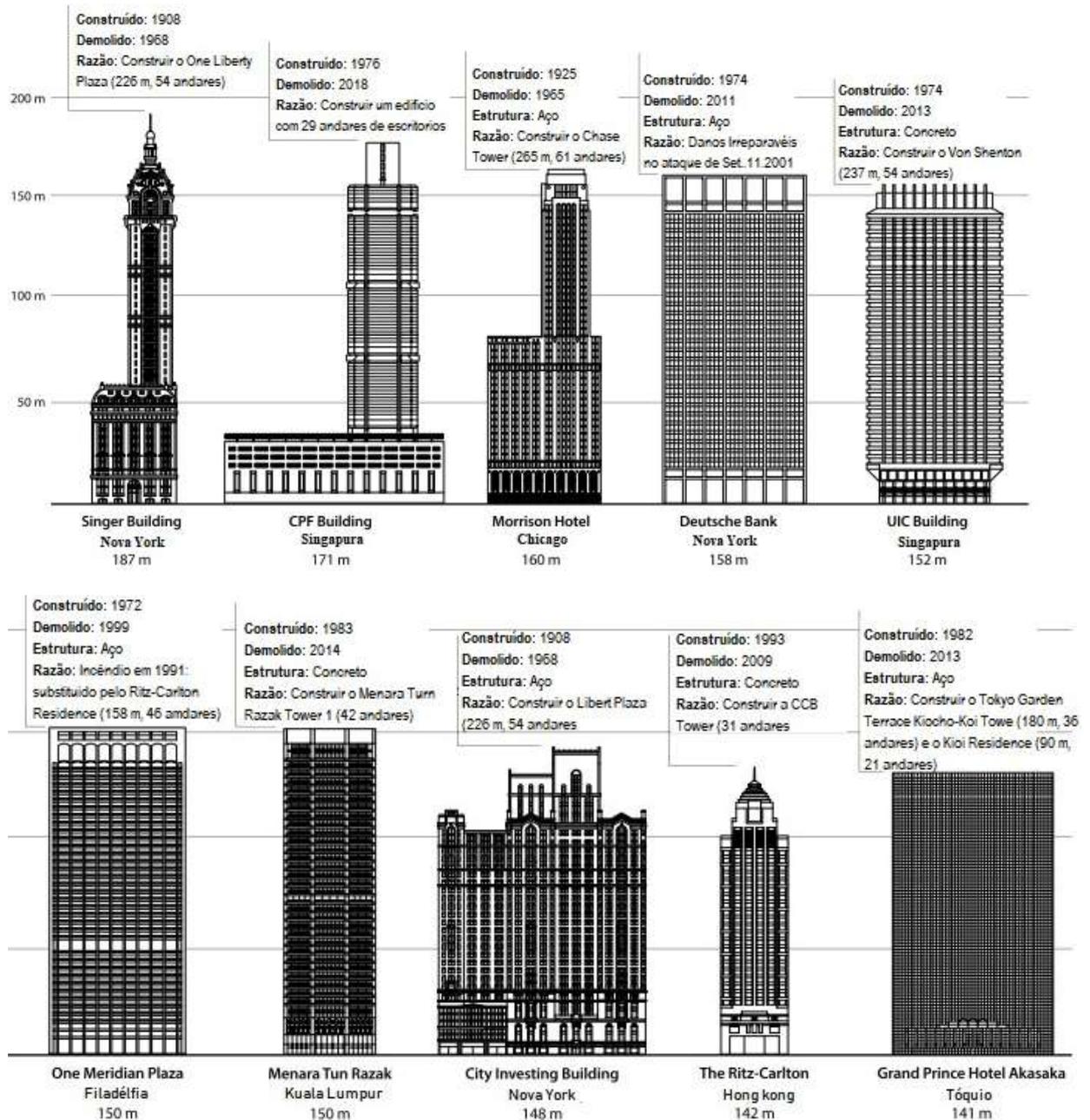
As demolições podem ocorrer por diversos motivos, entre estes estão: a modernização de edifícios, inconformidade da construção às leis vigentes, alteração quanto a utilidade da edificação, aumento do número de pavimentos, reformas, comprometimento geral da estrutura, anomalias de durabilidade, inviabilidade de reparo e reforço de estruturas danificadas e aquelas que propiciam alto risco de colapso (BRITO, 1999; GOMES, 2010).

Nas situações que envolvem catástrofes naturais (sismos, tempestades) ou mesmo acidentes e atentados provocados por humanos (explosões, impacto estrutural) pode haver danos que comprometam a segurança estrutural. Portanto, em alguns casos, é necessário a remoção e substituição de elementos componentes da edificação.

A atividade de demolição não se restringe somente a edifícios antigos. Segundo Brito (1999), edifícios recém construídos podem apresentar alterações no projeto, incompatibilidade de sistemas ou haver erros de execução que requerem a demolição de alguns elementos.

A CTBUH JOURNAL (2018) fez um retrospecto dos cem maiores edifícios demolidos, sendo que, a maioria desses está localizado na América do Norte (54%), seguido por Ásia (23%) e Europa (15%). Na Figura 1.1 estão descritos os dez maiores edifícios demolidos e suas respectivas motivações.

Figura 1.1: Maiores edifícios demolidos



Fonte: adaptado de CTBUH JOURNAL, 2018.

Apesar de apresentar uma aparente simplicidade, a execução da demolição propicia vários riscos, sendo indispensável seu estudo quanto ao impacto da vizinhança, destinação dos resíduos, avaliação do projeto estrutural, consonância entre as ligações e segurança dos envolvidos. Costa (2009) enfatizou que a atividade de demolição deve ser semelhante a construção no sentido de que é necessário que seja projetada, planejada e dimensionada por especialistas na área, de forma que possa ser realizada com máximo de controle possível.

Gomes (2010) afirmou que o conceito que as atividades de demolição não mereciam grandes preocupações, modificou-se ao longo do tempo principalmente por causa da segurança dos trabalhadores, estabilidade do edifício a se demolir e das estruturas vizinhas e, também, as alterações e inconvenientes provocados no local da demolição.

De Sá (2013) ressaltou que a demolição é uma atividade de grande risco, complexa e única, no qual é necessário o conhecimento técnico, tomada de precauções, respeito a regulamentação e que se definisse medidas de segurança adequadas, a fim de evitar riscos às vidas humanas e danos ao meio ambiente.

Segundo Santos (2013), nas últimas décadas ressaltou-se a necessidade de se ampliar o conhecimento dos processos de demolição, de modo que, a sensibilização da necessidade de planejamento, organização, gestão da obra e a segurança de todas operações foram as que mais evoluíram neste tempo. Entretanto, a atividade não possuía diretrizes técnicas bem consolidadas no Brasil, contando apenas com a experiência de profissionais que executaram anteriormente outros serviços semelhantes.

Em 2008 a ABNT cancelou a NBR 5682:1977, norma que regulamentava o contrato e oferecia diretrizes para licenciamento e execução de demolições, com a justificativa que esta não era mais utilizada pelo setor. Mas, até a presente data, não foram lançadas instruções semelhantes que oferecessem resguardo técnico aos profissionais, enquanto, em outros países é possível encontrar manuais de boas práticas e normas que regem os serviços de demolição, sendo que, as principais referências internacionais sobre demolições são: dos Estados Unidos (ANSI/ASSE A10.6-2006 e 29 CFR 1926 *Subpart T*), da Inglaterra (BS 6187:2011), da Austrália (AS 2601:2001 e *Code of Practice*, 2016), da Nova Zelândia (*Best Practice of Guidelines for Demolition*, 2013), de Portugal (Lei 41821/58 – Título IV), da China (*Code of Practices for Demolition of Buildings*, 2004) e do Canadá (CSA, 1980).

Com o avanço tecnológico os processos de demolição também se desenvolveram. No princípio a demolição contava apenas com esforço braçal e o auxílio de ferramentas como picaretas e marretas. Porém, com aprimoramento mecânico de máquinas agrícolas e de movimentação de terra, foram adaptados os mecanismos para a aplicação aos trabalhos de demolição (BRITO, 1999; COSTA, 2009; FERREIRA, 2012).

Baldasso (2005) afirmou que em meados do século XX não existiam técnicas de demolição específicas, pois, as exigências de execução eram baixas ou nulas e que o surgimento de novos

métodos mais rápidos e eficazes estavam ligados com a origem das necessidades básicas de demolição como: alterar a modelagem estrutural substituindo vigas e lajes por novos arranjos de volumes, retirar peças para criar espaços livres e a demolição total de edificações para modernização e valorização da malha urbana.

A robustez dos materiais utilizados na construção e a necessidade de precisão, rapidez e segurança fizeram com que houvesse avanços nas técnicas empregadas. Ferreira (2012) concluiu que, com o aumento da resistência de materiais e exigências construtivas, as ferramentas utilizadas tiveram que ser adaptadas. As picaretas e martelos evoluíram para marteletes pneumáticos e equipamentos de grande porte, tais como as escavadeiras, foram implementadas tesouras de corte e esmagadoras de concreto.

De acordo com a literatura técnica, existem várias técnicas que podem ser aplicadas em atividades de demolições, entre elas: o método manual, mecânico, por explosivos, por bola de demolição, por implosão, métodos térmicos, processos químicos, elétricos e hidro demolição por jato de pressão.

De Sá (2013) fez um retrospecto do surgimento das técnicas de demolição, apontando o avanço tecnológico e o uso do concreto armado, a partir da década de 60, como seu principal agente. Nesse período, os japoneses começaram a aplicar os métodos químicos expansivos e térmicos para o corte do aço nas atividades de demolição e que mais tarde foram utilizadas para estruturas especiais.

O uso do método por explosivos também tem se aprimorado e desenvolvido juntamente com os estudos da engenharia de minas, tanto no seu dimensionamento e escolha do tipo de explosivos, quanto do modo de aplicação de cargas (SANTOS, 2013).

A decisão do método mais adequado deve ser feita avaliando os fatores de restrição, custo, disponibilidade de equipamentos e acesso, distância de edificações vizinhas, o estado da estrutura e condições meteorológicas.

Portanto, a presente pesquisa teve o intuito de reunir as diretrizes nacionais e internacionais para atividades de demolição, apresentar as técnicas correntes e boas práticas e, analisar os fatores preliminares para se realizar um projeto de demolição.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Principal

Este trabalho visou expor as técnicas de demolição, analisando suas causas e efeitos na concepção estrutural e recomendar os procedimentos adequados para um projeto de demolição.

1.1.2 Específicos

- Realizar um levantamento das técnicas disponíveis de demolição e as suas utilizações,
- Analisar os mecanismos de colapso de estruturas, bem como o colapso controlado, remoção de elementos estruturais em concreto armado e suas causas e efeitos em demolições parciais e totais,
- Realizar um comparativo entre as normas, leis e cartilhas nacionais e internacionais que recomendam boas práticas para atividades e projetos de demolição, e
- Indagar às empresas consolidadas as aplicações empregadas para o projeto e execução de demolições, a fim de identificar as formas correntes de demolição no Brasil, concepção de planejamento e procedimentos utilizados.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com o desenvolvimento das cidades, a modernização de edifícios, mudança da utilização dos ambientes e o fim da vida útil de elementos que não tiveram a adequada manutenção, fizeram com que as atividades de demolição se tornassem mais frequentes (COSTA, 2009).

O processo de deterioração de estruturas que não passaram por manutenções, pode se agravar de tal forma que os meios de reparo se tornam inviáveis e a melhor alternativa seria a sua demolição. O diagnóstico e a decisão de remover todo ou parte do elemento dependerá de fatores econômicos, técnicos e de segurança, que avaliarão se o custo-benefício de se reparar ou reforçar a estrutura é superior a substituição dos componentes estruturais (SOUZA e RIPPER, 1998).

Gomes (2010) concluiu que os motivos principais para que se demolir seriam a especulação imobiliária e alta densidade populacional das cidades, em que as edificações tendem a se aglomerar nos grandes centros econômicos e, conseqüentemente, ocorreria a substituição por construções verticalizadas de grande porte, mais modernas e arrojadas.

Segundo Martins (2013), quando se trata de grandes obras, ainda há uma certa insegurança por causa da falta de resguardo técnico para atividade, sendo que, os mecanismos de demolição utilizados no Brasil são básicos e limitados e que, a demolição é realizada por meio de métodos intuitivos, baseadas na experiência dos profissionais que executaram atividades semelhantes. Com isso, é necessário que se implantem métodos apropriados que garantam a previsibilidade das ações, economia de custos, menor impacto ambiental e de vizinhança e a segurança.

A atividade de demolição, seja total ou parcial, é considerada de risco, pois afetam na maioria das vezes elementos estruturais, tal como o grau dos vínculos e conseqüentemente o comportamento estático da edificação (SOUZA e RIPPER, 1998).

Um acidente fatal ocorreu durante a execução de trabalhos de demolição em março de 2018 em São Roque, interior de São Paulo. O edifício de dois andares foi construído na década de 70 e seria reformado para construção de um galpão comercial. O acidente ocorreu durante a demolição de uma parede e laje, que resultaram no desabamento do edifício, na qual oito pessoas trabalhavam, contudo apenas duas foram feridas e uma a óbito. Os bombeiros só puderam retirar os corpos após escorar as vigas pendentes, que corriam risco de novos desabamentos¹.

Vários outros acidentes ocorreram durante a demolição de estruturas, portanto é fundamental a elaboração do projeto de demolição para definir o procedimento adequado e uma execução segura. Costa (2009) ressaltou a importância do projeto de demolição com o intuito de se evitar o colapso prematuro da edificação com efeitos não planejados, além de colaborar para uma gestão sistêmica dos resíduos produzidos.

No Brasil, a norma ABNT NBR 5682:1977 regulamentava os serviços de demolição, porém, esta foi cancelada com a justificativa de não ser utilizada pelos profissionais da área. No entanto, observa-se a necessidade de diretrizes que estabeleçam tal atividade. Assim, é necessário reunir recomendações preventivas de projeto, de planejamento e instruções técnicas para que os profissionais do ramo se resguardam tecnicamente.

¹ Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sorocaba-jundiai/noticia/predio-que-desabou-em-sao-roque-estava-em-processo-de-demolicao.ghtml>. Acesso em jan. de 2019

1.3 RESUMO DA METODOLOGIA

A presente pesquisa contou, inicialmente, com a revisão bibliográfica acerca das técnicas e projetos de demolição, tais como: trabalhos acadêmicos, leis brasileiras (vigentes ou não), normas internacionais, cartilhas de recomendações, estudos de casos e perícias técnicas.

Além disso, foi averiguada a situação atual dos serviços de demolição no Brasil por meio de questionários enviados a empresas especializadas no ramo de demolição e especialistas da atividade. O intuito era o de mapear as técnicas correntes, as normas utilizadas, as análises feitas para projetos de demolição e os critérios de decisão.

Após o levantamento das informações na literatura técnica, fez-se um estudo comparativo entre as normas e recomendações vigentes para se determinar o estado da arte aplicado nas obras de demolição, mostrando o grau de importância dessa atividade.

Também, realizaram-se exemplos de aplicações de projeto com três tipos de edificações em concreto armado, uma casa unifamiliar de dois andares, uma edificação térrea de grande porte e um edifício de múltiplos pavimentos, observando as particularidades e fatores importantes para decisão das técnicas, as considerações do projeto de demolição e etapas necessárias e por fim, analisar se haveria uma técnica que fosse mais adequada para a situação observada.

1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Diante da extensão do tema e a quantidade reduzida de pesquisas sobre o assunto, esta pesquisa limitou-se a abordar os conceitos iniciais para considerar nos projetos de demolições, considerando os efeitos estruturais de instabilidade em demolições parciais (reformas) e totais conferindo os procedimentos mais adequados.

Também, vale ressaltar que o foco principal foi o de analisar fatores gerais para o planejamento de uma demolição e, por isso, não se deu ênfase a questão ambiental, de destinação e reciclagem de resíduos, ou detalhamento de procedimentos de segurança e de custos, fatores considerados pelo autor de total importância, mas que poderão ser abordadas em pesquisas futuras.

Na pesquisa de campo foram investigadas as principais técnicas de demolição, por meio de entrevistas com empresas nacionais que se disponibilizaram para a pesquisa. Contudo, como o mercado brasileiro conta com poucas empresas especializadas, não há uma norma nacional

regulamentadora, para algumas empresas, o procedimento de demolição é encarado como um segredo industrial e, por isso, não foi possível um contato maior com as empresas em prol da pesquisa.

A pesquisa teve como principal objetivo abordar o tema de demolições de edificações em concreto armado, o qual pode contribuir para em pesquisas futuras com outros sistemas construtivos, tais como: obras de arte, alvenaria estrutural, estruturas metálicas, estruturas de madeira, pontes etc.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

O presente trabalho foi dividido em seis capítulos, constando no primeiro uma introdução ao assunto deste trabalho, os conceitos iniciais, o contexto histórico e ainda são listadas as principais normas sobre o assunto, bem como os objetivos da pesquisa, a justificativa, descrição da metodologia, as limitações e a descrição dos capítulos.

No Capítulo 2 foram apresentados os conceitos da demolição de Edificações e técnicas empregadas, as considerações iniciais, definições, fases de demolição, a sequência das atividades, as técnicas correntes, recomendações específicas para cada método e para elementos estruturais e os sistemas provisórios de proteção.

No Capítulo 3 foram apresentadas as principais normas, códigos e cartilhas nacionais e internacionais, e descritos os principais tópicos enfatizados por elas, as recomendações de projeto e sua aplicabilidade.

No Capítulo 4 foram listadas as etapas sequenciais para se realizar o projeto de demolições observados nas cartilhas e reunidas em trabalhos acadêmicos. E apresentado os métodos para o estudo de estabilidade.

No Capítulo 5 foram apresentados as considerações da entrevista com duas empresas especializadas em demolição e exemplos de aplicações da demolição de três modelos de construção, uma casa unifamiliar de dois andares, uma edificação térrea de grandes dimensões e um edifício de múltiplos pavimentos e então são discutidas as particularidades, aspectos sobre os critérios de decisão para escolha da técnica, sequência e procedimentos de preparação e por fim sugerir um modelo de projeto de demolição.

No Capítulo 6 foram feitas as considerações finais e conclusões das diretrizes apresentadas para se realizar o projeto de demolições e as aplicações das técnicas e o argumento a favor de uma possível norma para regulamentar as atividades de demolições.

2 DEMOLIÇÕES DE EDIFICAÇÕES

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A demolição pode ser definida como o conjunto de trabalhos para o desmantelamento de elementos da construção a fim de eliminar totalmente a construção ou realizar um novo arranjo de volumes.

Atualmente, devido a conscientização ambiental e reaproveitamento dos elementos da construção, o conceito de demolição é subdividido. Gomes (2010) o separa em três categorias:

Demolição parcial (Remoção de elementos) – consiste na remoção planejada de alguns elementos, comumente realizado em reformas e que deve ser altamente controlado a fim de que não comprometa a estrutura remanescente.

Demolição Progressiva (sequencial) – a demolição progressiva, ou também chamado sistema *Top Down*, é o desmonte sequencial de cima a baixo dos elementos da edificação, realizando a forma inversa da construção.

Além disso, dentro desse sistema há ainda outro conceito moderno denominado “Desconstrução”, que preza pelo cuidado com os materiais desmontados peça a peça, a fim de reutilizá-los em futuras edificações.

Também foi encontrado o termo “Demolição Seletiva” que localiza e seleciona os materiais de valor comercial e de reutilização enquanto os demais são apenas fragmentados deliberadamente, somente com a finalidade de se transportar a locais próprios de descarte (GOMES, 2010; FERREIRA, 2012; MARTINS, 2017)

Segundo a norma BS 6187:2011 (BSI, 2011), é aconselhável que a demolição progressiva seja realizada na maioria das situações que houver áreas confinadas e restritas.

Colapso Induzido (Mecanismo de colapso) – Consiste na remoção ou enfraquecimento de elementos que provocarão grande impacto na estabilidade global da estrutura, a fim de provocar o colapso controlado e desmantelamento pelo impacto gravitacional. Neste caso a quantidade de energia empregado é menor, porém os riscos são maiores e aplicáveis somente em edifícios razoavelmente isolados. Abdullah (2003) ressalta que este modo de colapso é utilizado apenas em construções isoladas e com uma distância segura de afastamento.

Alguns termos são usados frequentemente para atividades de demolição:

Caminho alternativo de carga – análise dos caminhos de redistribuição dos esforços gerados pela reorganização das cargas após a retirada de algum elemento de apoio.

Colapso planejado – é definido pela demolição de estruturas ou elementos de forma controlada de modo que os detritos se amontoem em local predeterminado.

Continuidade - refere-se à adequada conexão entre os membros da estrutura que possibilita a transmissão de esforços.

Elemento chave – elemento estrutural cuja retirada aumenta as chances de ocorrência de colapso progressivo.

Plano de Rigging – Plano de Movimentação de Carga, consiste no planejamento para o içamento seguro com guindastes fixos ou moveis, visando a otimização dos recursos para evitar acidentes e perdas de tempo. Ele indica o estudo da carga a ser içada, máquinas disponíveis, acessórios, condições do solo e efeitos do vento.

Robustez – característica associada à influência da ação de carregamentos externos nas deformações da estrutura.

Rótula plástica – ponto ou trecho estrutural submetido ao esforço superior ao momento de plastificação da seção, simulando impacto e/ou explosão.

Zona de exclusão – área de proteção em que todas as pessoas são proibidas de transitar durante o trabalho de demolição.

2.1.1 Sequência das Atividades

A sequência das atividades deve ser prevista em um cronograma definido e especificados em projeto. Na demolição no sistema *Top Down* os processos geralmente seguem o caminho inverso da construção. Deve-se observar atentamente as peças que afetarão a estabilidade do edifício, que possuem continuidade e que alterarão os vínculos nos apoios.

Na norma ABNT NBR 5682:1977 é indicado que se realize primeiramente a remoção de paredes não portantes enquanto a demolição de escadas e locais de evacuação deva ser por último, uma vez que estas se apresentam diversas vezes como núcleo rígido do edifício e colaboram para evacuação de emergência. Já o Código de Práticas Chinesa (BUILDINGS DEPARTMENT, 2004) complementa e orienta que quanto aos elementos estruturais

primeiramente se comece pelas estruturas em balanço, lajes, em seguida as vigas de borda, vigas secundárias e depois as vigas principais e por fim os pilares.

Gomes (2010) concluiu que a ordem deve ser dos pisos superiores para pisos inferiores, mas deve-se retirar as cargas das lajes de formas simétricas, escorar e contraventar elementos que sejam necessários, e demolir primeiramente estruturas hiperestáticas de modo que implique em menores flechas, rotações e deslocamentos.

O Código de Práticas da Austrália (*SAFE WORK OF AUSTRÁLIA*, 2016) também orienta que a sequência da demolição deve ser realizada de forma uniforme. Em edifícios de múltiplos pavimentos a demolição deve ser realizada andar por andar de modo estável e segura.

Brito (1999) afirmou que a sequência de demolição elemento a elemento deve ser realizada conforme as seguintes etapas:

1. Retirar os equipamentos industriais (elevadores, bombas de água, aparelhos de ar condicionado) e elementos frágeis (vidros, louças sanitárias);
2. Demolição de chaminés e claraboias;
3. Remoção do telhamento e estruturas de coberturas;
4. Escoramento de arcos e objetos que ameacem entrar em colapso;
5. Demolição de revestimentos e elementos não estruturais;
6. Demolição de lajes de piso;
7. Demolição de vigas;
8. Demolição de pilares ou suportes verticais;
9. Demolição do último tramo de escada;
10. Demolição de muros e fundação.

2.2 FASES DA DEMOLIÇÃO

O projeto de demolições deve contemplar as atividades tanto nos trabalhos preparatórios da demolição, durante a execução e, também, após o desmantelamento completo da estrutura. As etapas são subdivididas em:

2.2.1 Pré-Demolição

A pré-demolição consiste nos trabalhos preparatórios para uma demolição segura e com previsão dos resultados. Anteriormente a execução das atividades de desmantelamento é

necessário levantar dados, documentar, tomar medidas preventivas, descrever as etapas e analisar riscos. Abaixo são listadas sequencialmente as etapas da pré-demolição:

- 1) Reconhecer o espaço a ser demolido, levantar e reunir o maior número de informações dos projetos, identificando o sistema estrutural empregado, estruturas de apoio, materiais utilizados, detalhes topográficos e a distância das edificações adjacentes.
- 2) Realizar o registro fotográfico tanto da edificação a se demolir quanto das construções vizinhas.
- 3) Tomar medidas preliminares referentes a desativação dos serviços de gás, energia e água e isolar substâncias tóxicas e inflamáveis.
- 4) Comunicar aos órgãos e autoridades devidos, para resguardo legal e amparo para evacuação e segurança.
- 5) Descrever o método e sequência das atividades, considerando a movimentação de máquinas e armazenagem e destinação de resíduos.
- 6) Identificar riscos e prever a instalação de medidas de proteção ao público e trabalhadores envolvidos.
- 7) Contratação de Seguros que amparem acidentes e danos pessoais.
- 8) Projetar medidas de estabilidade para que se evite o colapso não planejado ou prematuro, prevendo o enfraquecimento da estrutura e a necessidade de apoios temporários.
- 9) Instalar medidas de transporte de materiais para evitar que sejam lançados em queda livre.
- 10) Mitigar os impactos ambientais que envolvem vibração, poeira e ruído.
- 11) Avaliação de riscos e fornecimento de equipamentos de segurança necessários para garantir a integridade do trabalhador.
- 12) Definir em projeto a área afetada, a área da construção, a área de destinação de detritos e de segurança e o local em que a estrutura será lançada.
- 13) Analisar as condições meteorológicas que ofertarão riscos a atividade.

2.2.2 Demolição

A demolição propriamente dita é definida pelo início das atividades, em que são aplicadas as definições obtidas no projeto, portanto durante a demolição é necessário:

- 1) Instalar andaimes, amarrações e apoios para suporte de trabalhadores conforme definido em projeto.
- 2) Instalar suportes em vigas e pilares, quando necessário.

- 3) Retirar elementos com vidros ou de comportamento explosivo.
- 4) Reduzir ou liberar a sobrecarga dos elementos carregados.
- 5) Executar a demolição propriamente dita, segundo a técnica escolhida.
- 6) Aplicar as medidas de prevenção de riscos.
- 7) Remover e transportar os componentes para o térreo.

2.2.3 Pós-Demolição

A pós-demolição é a etapa em que se realizam as atividades para concluir os trabalhos. Nesta etapa são verificados se os objetivos foram atingidos, realizados reparos e proteções, garantir que não há riscos remanescentes e deixar o canteiro devidamente limpo. Portanto, na pós-demolição é necessário:

- 1) Enviar para reciclagem, reutilização ou destinação correta dos resíduos da construção, se atentando para substâncias tóxicas ou contaminadas.
- 2) Limpar a área, certificar que as atividades foram concluídas com sucesso e retomar as atividades do meio envolvente.
- 3) Reparar as edificações vizinhas que sofreram danos.
- 4) Se não houver início imediato de outra obra, cercar e proteger o perímetro.

2.3 TÉCNICAS DE DEMOLIÇÃO

A escolha do método de demolição é uma das partes mais importantes do projeto de demolição, mas é também bastante complexa, tendo em vista a variedade de fatores que podem influenciar e a singularidade de cada projeto (FERREIRA, 2012). De modo geral são analisados o grau de precisão requerido de corte, custo, tempo disponível, materiais de construção, tipo da edificação, equipamentos disponíveis, escala a se demolir, se há edifícios vizinhos, nível permitido de incomodo (se há hospitais ou escolas próximos), regulamentação municipal e se necessitará uma separação ágil dos detritos de reciclagem.

“A boa escolha do método de demolição irá traduzir-se na execução de um processo seguro, rápido e que ao mesmo tempo permita um melhor aproveitamento dos resíduos de demolição, fazendo com que os danos provocados no meio ambiente sejam mais reduzidos” (FERREIRA, 2012).

Para que a técnica cumpra seu objetivo sem causar riscos é necessário que a sequência das atividades e a ordem definida em projeto seja cumprida. Nos itens a seguir são apresentadas as principais técnicas correntes de demolições:

2.3.1 Demolição Manual

A demolição manual é técnica mais antiga e ainda, nos dias de hoje, é o método mais utilizado, pois possui aplicações para quase todas as circunstâncias.

Essa técnica é caracterizada pelo uso de esforço braçal com auxílio de algumas ferramentas tais como: marreta, picareta, martelos, pé-de-cabra, discos de serra, maçaricos para o corte de aço e marteletes pneumáticos. Normalmente a sequência das atividades são executadas elemento a elemento, de cima a baixo, do telhado ao chão, dando prioridade para a demolição de elementos não portantes antes dos elementos estruturais e por último os elementos que possuem maiores restrições entre os vínculos. (BUILDINGS DEPARTMENT, 2004).

Abdullah (2013) esclarece que quando é necessário alta precisão é recomendado se utilizar discos diamantados para o corte das peças.

A Figura 2.1 mostra a demolição manual de uma peça de concreto com auxílio de um martelete pneumático. O uso de equipamentos de segurança é primordial, pois o trabalhador está constantemente em contato com ruídos e poeira.

Figura 2.1: Demolição Manual



Fonte: Atlas COPCO, 2007

Brito (1999) ressalta que, apesar de ser aplicável a diversas situações e ser uma técnica precisa e altamente controlável, existem desvantagens devido a produção de ruídos e vibrações. Além disso o trabalho é cansativo, lento, de baixa rentabilidade, repetitivo e exige muito do trabalhador.

As normas ABNT NBR 5682:1977 no item 7.1.11, e a BS 6187:2011, no item 17.2.4, ressaltam que a demolição deve ser feita progressivamente, na ordem inversa da construção e é necessário verificar a estabilidade da estrutura remanescente e monitorá-la frequentemente durante a realização dos serviços.

Brito (1999) descreve que na demolição manual normalmente é realizado de acordo com a seguinte sequência:

- Dos pisos superiores aos inferiores;
- Retira-se as cargas das lajes de forma simétrica;
- Retira-se as cargas que solicitam os elementos antes de os demolirem;
- Realiza-se o contraventamento ou anulação de forças horizontais em arcos ou de vento;
- Escorar os elementos necessários;
- Demolir as estruturas hiperestáticas na sequência que implique menores flechas, rotações e deslocamentos.

2.3.2 Demolição Mecânica

A demolição mecânica é aplicada a estruturas de grandes dimensões em que os trabalhos exigem maior rapidez e eficácia. De acordo com Gomes, o uso de equipamentos de elevada potência permite o aumento do rendimento e rapidez do trabalho, diminuindo o esforço físico e garantindo a integridade do trabalhador (GOMES, 2010).

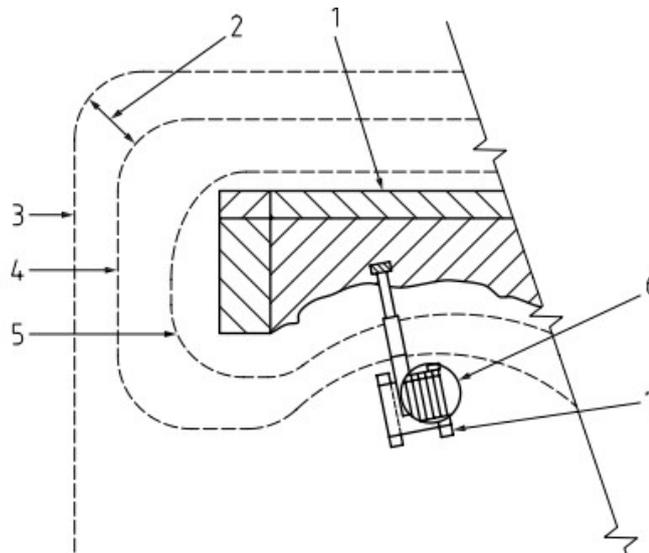
Para essas atividades são utilizados equipamentos de grande porte tais como escavadeiras que, no lugar da caçamba, podem ser implementadas tesouras de corte, pulverizadores, garras (*power grabs*), pinças e martelos hidráulicos.

Os esforços são aplicados horizontalmente de fora para dentro ou de alto impacto na estrutura. Portanto, se a estrutura for encostada a edificação vizinha deve-se primeiramente, separá-la por métodos manuais e de alta precisão.

Para o uso de equipamentos de grande porte é necessário identificar o acesso as áreas e definir a sequência das atividades. A norma BS 6187:2011 exemplifica o detalhamento do projeto de

demolição, mostrado na Figura 2.2, quando se utiliza equipamentos mecânicos. Neste desenho são definidas as áreas de isolamento (3), limite de projeção de detritos (4) e queda da estrutura demolida (5). Também é definido o local em que a máquina se posicionará (7) e o espaço de proteção para cabine do operador (6).

Figura 2.2: Detalhamento do Projeto – Demolição Mecânica



Fonte: BSI BS 6187, 2011.

Legenda:

1- Estrutura a ser demolida

2- Área de amortecimento (segurança)

3- Limite da Zona de Exclusão

4- Limite da Área de Detritos

5- Limite da Área Projetada de Queda

6- Espaço seguro de proteção para a cabine do operador da máquina

7- Máquina de demolir

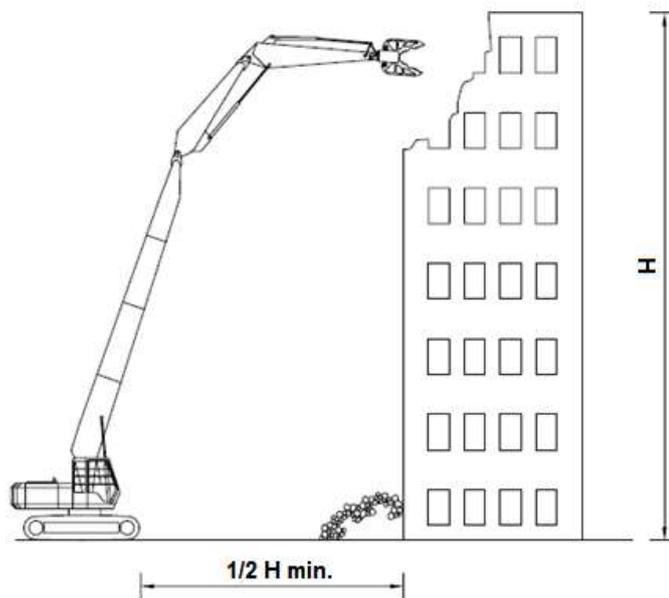
Quando o edifício possui grande altura e a demolição for progressiva deve-se utilizar o rompedor hidráulico de longo alcance, com lanças que podem variar de 19 a 50 metros (Figura 2.3). Neste caso, segundo o Código de Práticas Chinesa (*BUILDINGS DEPARTMENT, 2004*) é necessária uma distância de segurança de pelo menos metade da altura do edifício, como mostrado na Figura 2.4, a fim de proteger o equipamento e os operadores da queda livre de elementos, ainda que haja estruturas de proteção.

Figura 2.3: Demolição de um edifício 6 andares



Fonte: Brito, 1999.

Figura 2.4: Demolição por rompedor hidráulico de grande altura

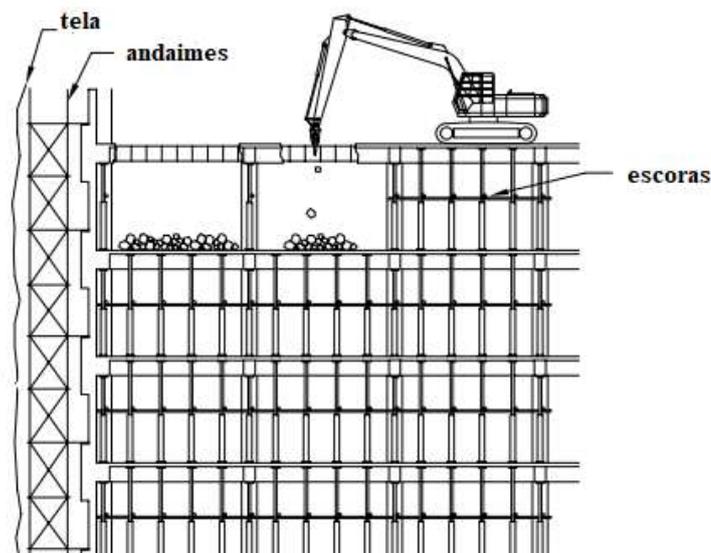


Fonte: BUILDINGS DEPARTMENT, 2004.

Outra forma também utilizada é levar a máquina com auxílio de um guindaste ao topo do edifício, que desmantelará sequencialmente andar por andar. Neste caso é necessário o Plano de *Rigging* (Movimentação de Cargas) para realizar o estudo do içamento de máquinas,

resistência do solo, ação de vento e a resistência das lajes que os equipamentos irão se apoiar. Na Figura 2.5, é apresentado o detalhe de projeto que prevê os sistemas de proteção provisório, como as escoras e telas de proteção, bem como a instalação de andaimes para auxílio nas atividades próximas a fachada.

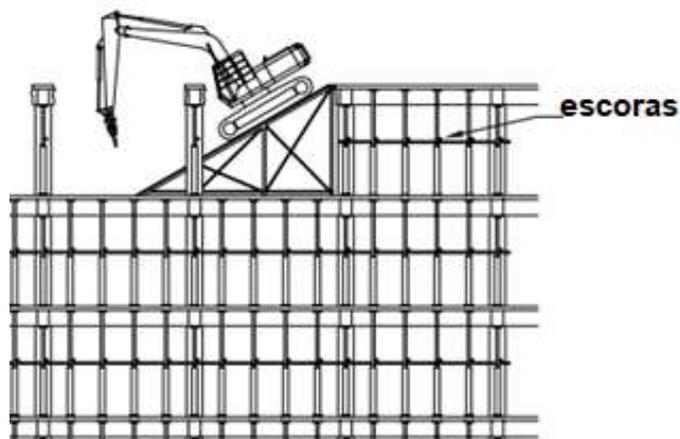
Figura 2.5: Demolição por máquinas



Fonte: *BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004 (adaptado)

Para descer o equipamento aos andares inferiores não é necessário que novamente se utilize o guindaste. Uma alternativa econômica é a execução de rampas, como mostrado na Figura 2.6, que suportem o transporte do equipamento.

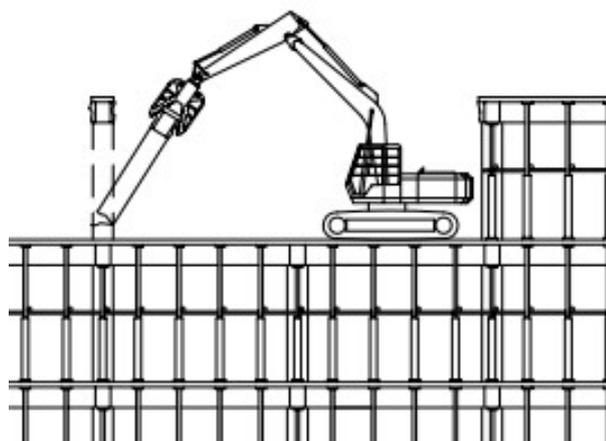
Figura 2.6: Rampa para o transporte de máquinas ao andar inferior.



Fonte: *BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004 (adaptado)

Os pilares podem ser removidos com auxílio de pulverizadores ou pinças acopladas as máquinas (Figura 2.7), contudo, é necessário realizar primeiramente o pré-enfraquecimento por meio da redução de seção da base.

Figura 2.7: Demolição de pilares com uso máquinas



Fonte: *BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004 (adaptado)

2.3.3 Demolição por tração de cabos puxadores

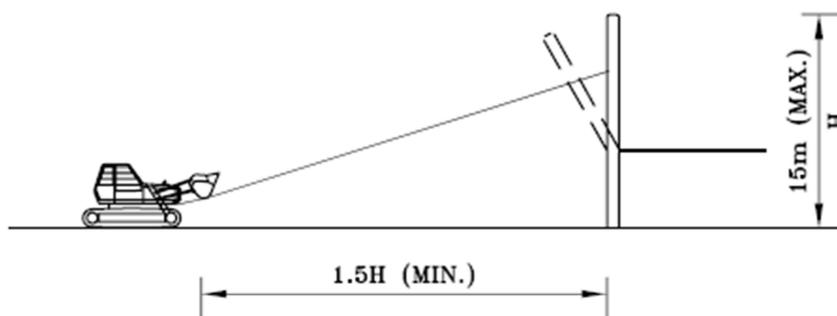
A demolição por tração de cabos consiste em enlaçar a estrutura a ser demolida com cabos de aço e acionar uma força de tração horizontal no componente estrutural ou edifício. Para Brito (1999) a técnica pode oferecer riscos caso o cabo não resista e ricocheteie. Contudo é uma técnica rápida e de baixo custo (BRITO, 1999).

A norma ABNT NBR 5682:1977 recomendava que esta técnica não fosse utilizada em estruturas acima de 20 metros de altura. Além disso orientava o uso de cabos com comprimento maior que duas vezes a altura da edificação a se demolir e diâmetro superior a 12 milímetros. As cargas de tração devem ser aplicadas de forma lenta e gradual. Já o Código de Práticas da Nova Zelândia (*NEW ZEALAND AND ASBESTOS ASSOCIATION*, 2013) é mais rigoroso, e define que o diâmetro deve ser no mínimo 16 milímetros.

Os cabos devem ser inspecionados diariamente com intuito de identificar qualquer tipo de danos provocadas por fadiga, abrasão ou outro fator ocasional. A norma ABNT NBR 5682:1977 também estabelecia que a área com raio de $\frac{3}{4}$ do comprimento da linha de projeção dos cabos deveria ser evacuada, para segurança de trabalhadores.

O Código de Práticas Chinesa (BUILDINGS DEPARTMENT, 2004) se apresenta de forma mais conservadora e apresenta o limite de 15 metros de altura para a demolição por cabos puxadores, sendo que a distância da máquina e a estrutura deve ser 1,5 vezes a altura do edifício, tal como mostrada na Figura 2.8.

Figura 2.8: Demolição por cabos puxadores



Fonte: *BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004 (adaptado).

2.3.4 Bola de Demolição

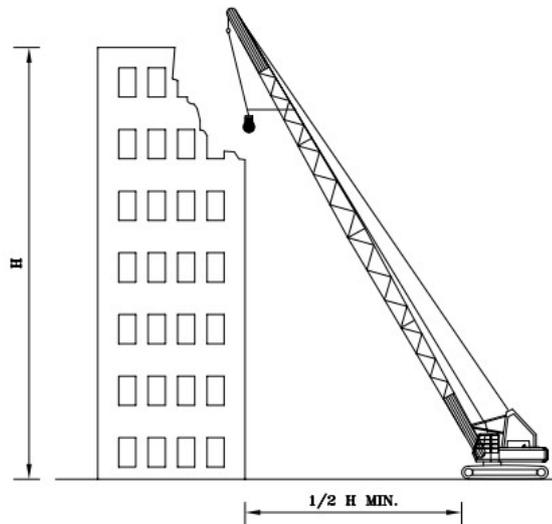
Este tipo de demolição utiliza um guindaste que suporta uma bola metálica de grande massa (500 a 4000 kg) que realiza movimentos pendulares e de queda livre. Brito (1999) ressalta que essa técnica é econômica e rápida, entretanto possui desvantagens tais como a possibilidade de prejuízos as infraestruturas subterrâneas, a baixa fragmentação dos elementos, alta produção de ruídos, a limitação de uso em edifícios de até 30 metros de altura e movimentos em ângulos de até 60° (em relação a horizontal).

Tal técnica também é potencialmente perigosa e exige uma área de afastamento de pelo menos 6 metros ou de metade da altura do edifício demolido (ABNT NBR 5682, 1977).

De acordo com o Código de Práticas da Nova Zelândia, apesar dessa técnica ter se apresentado eficiente para estruturas danificadas, produz excessiva vibração, barulho, poeira, lançamento de detritos e a fragmentação dos resíduos é limitada (*NEW ZEALAND AND ASBESTOS ASSOCIATION*, 2013).

O Código de Práticas Chinesa recomenda, como mostrado na Figura 2.9, que o guindaste da bola de demolição esteja a uma distância de pelo menos metade da altura do edifício (*BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004).

Figura 2.9: Demolição por Bola de Demolição



Fonte: *BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004 (adaptado)

O uso de bola de demolição pode ser feito em três formas, por queda vertical, por movimento pendular na direção da lança e por rotação da lança. Contudo devem possuir suportes que restrinjam a rotação da bola e controle dos movimentos pendulares. Também é indicado que a lança esteja pelo menos três metros acima da estrutura demolida (ABNT NBR 5682, 1977).

É importante que os cabos de suspensão da bola e dispositivos que reduzam ou eliminem a rotação da bola sejam supervisionados frequentemente, identificando o seu perfeito estado.

Ainda deve-se tomar cuidados para que a bola não fique presa a estrutura, principalmente na demolição de arcos de alvenaria e lajes de pisos, pois poderá ocorrer tensões excessivas nos cabos do equipamento (ABNT NBR 5682, 1977).

2.3.5 Demolição por explosivos

A demolição por explosivos é utilizada quando é necessário que haja a fragmentação de toda a estrutura em amontoados de fácil transporte. Segundo Gomes (2000) essa técnica visa utilizar o mínimo de energia de forma concentrada em elementos chave para que haja a descontinuidade e colapso de toda estrutura de forma segura.

Os explosivos têm a utilidade de romper os principais vínculos estruturais (na maioria das vezes nos apoios) que transformarão os pórticos em hipostáticos, provocando uma rotação e instabilidade da estrutura. Então, por meio da queda livre dos elementos, estes são fragmentados em partes transportáveis.

Neste caso o projeto também é imprescindível para que haja o colapso eficiente e controlado, com as devidas proteções de poeira, ruído e ocorra a máxima fragmentação possível (GOMES, 2000; BRITO, 1999).

O Código de Práticas da Nova Zelândia (*NEW ZEALAND AND ASBESTOS ASSOCIATION*, 2013) afirma que a demolição com uso de explosivos é o método mais utilizado nos Estados Unidos, pois diminui o número de trabalhadores no local e pode reduzir em até 80% o tempo total da atividade, com a maior parte destinado às atividades preparatórias e limpeza do local após a demolição.

Portanto, essa é uma técnica rápida e econômica comparada as demais, sendo principalmente utilizado em edifícios de grande altura, silos, chaminés e obras de arte.

A ABNT NBR 5682:1977 orientava que fosse realizado um estudo de propagação de ondas de choque e calcular a potência dos explosivos, com intuito de controlar a área de impacto. A precaução e controle são feitos utilizando telas de explosão e dispositivos de amortecimento, como mostrado na Figura 2.10. Além disso é recomendado o umedecimento das faces do concreto a ser demolido e estabelecer um plano de evacuação para que a população saia de zonas de risco.

Figura 2.10: Sistema de proteção do lançamento de projeteis com arame zincado e manta geotêxtil



Fonte: RODRIGUES, 2014.

O Código de Práticas da Austrália (*SAFE WORK OF AUSTRALIA*, 2016) estabeleceu que, toda posse, armazenamento e manuseio de explosivos, deve ser realizado conforme a legislação vigente para substâncias perigosas.

Essa técnica, por lidar com procedimentos de alto risco, requer que a empresa contratada seja especializada e habilitada a manusear explosivos. Também é necessário realizar o registro dos riscos envolvidos, analisar os efeitos quanto ao ambiente vizinho e licenciar segundo as exigências pelos órgãos responsáveis. No Brasil, o Decreto 3.665 de 2000 e a NR 19 de 2011 estabelecem as normativas para a manipulação de artefatos explosivos e designa ao Exército Brasileiro sua fiscalização.

O projeto de demolição deve contemplar o pré-enfraquecimento da estrutura, a estratégia de demolição, o tempo de *delay* (atraso) entre o acionamento e o colapso e a sequência segura de acionamento. O pré-enfraquecimento da estrutura consiste no corte de algumas partes estruturais e que temporariamente não comprometerá a estabilidade do edifício (*BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004).

Segundo Rodrigues (2014), o engenheiro responsável por definir o plano de detonação dos explosivos, deve levar em conta os fatores que influenciam a quantidade de carga para a demolição efetiva da estrutura, sendo que, os fatores que influenciam na quantidade de explosivos seriam: as características do concreto, como a resistência, grau de deterioração, propagação de fissuras, quantidade e disposição das armaduras, bem como, a geometria da estrutura, a potência do explosivo a ser utilizado e as restrições quanto ao ruído, vibração e poeira do ambiente ao qual a estrutura se encontra.

Existem quatro tipos de mecanismos para a indução do colapso com uso da técnica por explosivos, entre eles, estão o tipo telescópio, o derrube, implosão e o colapso progressivo (BRITO, 1999).

O mecanismo tipo telescópio é semelhante ao fechar de um telescópio, pois após o acionamento de explosivos a estrutura cai em torno de seu eixo de forma proporcional, como mostrado na Figura 2.11, utilizado geralmente para estruturas ocas, como chaminés e obras industriais. O plano de detonação, para que haja o efeito desejado, deve contar com o acionamento dos explosivos de modo sucessivo com intervalos curtos (de 25 a 100 milissegundos) (RODRIGUES, 2014).

Figura 2.11: Mecanismo tipo telescópio



Fonte: RODRIGUES, 2014.

O mecanismo tipo derrube é utilizado em obras com grande relação entre a altura e base e quando há um grande espaço livre para direcionar a queda. Geralmente, esse mecanismo se utiliza menor quantidade de explosivos, há menos trabalhos preparatórios e possui maior fragmentação após o colapso, porém também gera vibrações com maior intensidade (GOMES, 2010; RODRIGUES, 2014).

Este mecanismo é similar ao corte de uma árvore, com aplicação das cargas explosivas concentradas em apenas um dos lados do edifício, direcionando o sentido de derrube, como mostrado na Figura 2.12.

Figura 2.12: Mecanismo tipo derrube

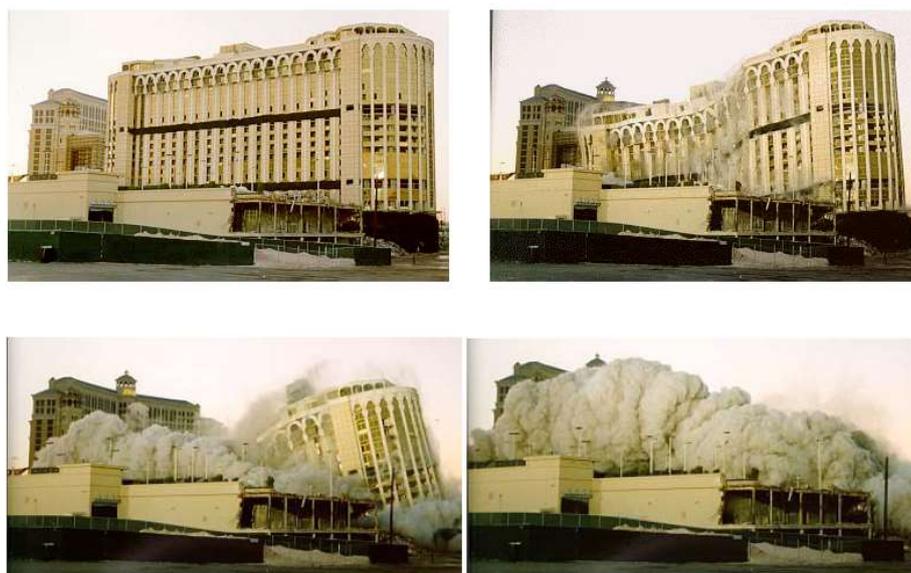


Fonte: GOMES, 2010.

O mecanismo de implosão é o mais conhecido e utilizado na demolição de edifícios e, seu plano de detonação tem início no centro do edifício em direção as periferias, induzindo a queda para

o seu centro de gravidade, como mostrado na Figura 2.13. Neste caso a tendência é que os fragmentos ocupem o mesmo espaço que o edifício foi construído. Este mecanismo oferece um comportamento semelhante ao tipo telescópio, contudo se aplicam a estruturas complexas, não-ocas e as cargas explosivas são inicialmente aplicadas nos elementos centrais do edifício.

Figura 2.13: Hotel em Las Vegas Demolido por implosão



Fonte: BRITO, 1999.

E, por fim, o método por colapso progressivo, que é ocasionado de forma intencional para se demolir um conjunto de edifícios com pequenas distâncias entre eles ou contíguos com grandes dimensões em seu comprimento, formando um impacto sequencial por meio do “efeito dominó”. Laranjeiras (2011) definiu que o colapso progressivo era a “propagação de uma ruptura inicial, localizada, de modo semelhante a reação em cadeia que conduz à ruptura parcial ou total de um edifício”, portanto o efeito em cadeia produz vibrações sucessivas em diferentes intervalos de tempo e consequentemente com menor intensidade.

As principais vantagens da demolição por explosivos são: a possibilidade de execução da demolição em locais de difícil acesso, a redução do tempo de realização dos serviços, do custo efetivo e da quantidade de trabalhadores no local, e consequentemente a diminuição do número de acidentes.

Contudo, Brito (1999) e Rodrigues (2014) enumeraram algumas desvantagens, tais como: a restrição para áreas sensíveis ou de grande densidade populacional, por causa dos efeitos das vibrações, ruídos e ondas de choque que podem danificar às edificações vizinhas, e também

que este não é um processo totalmente controlável. Na norma ABNT NBR 5682:1977 orientava que realizasse o estudo da propagação de vibrações para evitar os danos nas edificações vizinhas.

Segundo Phillip et al. (2006), para dimensionar a carga de explosivos é necessário atender os limites de sobrepressão de ar e vibração das ondas de choque gerada pela demolição de explosivos. Para quantificar a sobrepressão de ar gerada é necessário utilizar a equação (2.1).

$$P_s = \frac{30d^{-1/2}}{Q^{-1/3}} \quad \text{Eq. (2.1)}$$

Em que:

P_s = Força de sobrepressão em kPa

Q = massa de explosivos em kg

d = distância em metros

A sobrepressão de ar pode ocasionar problemas as edificações vizinhas quando a força for:

- 14 kPa – todas as janelas se quebram
- 5 kPa – as janelas que possuem algum defeito de montagem se quebram
- 1 kPa – os vidros se quebram
- 0,2 kPa – os vidros e placas vibram

Já a vibração, ocasionada pela onda de choque e calculada pela velocidade das partículas pela equação (2.2).

$$V = k\left(\frac{d}{Q^{1/3}}\right)^{-1,8} \quad \text{Eq. (2.2)}$$

Em que:

V = velocidade da partícula em mm/s

d = distância em metros

k = constante de terreno

Q = massa de explosivos em kg

Para cada tipo de edifício a velocidade das partículas não podem ser excedidas:

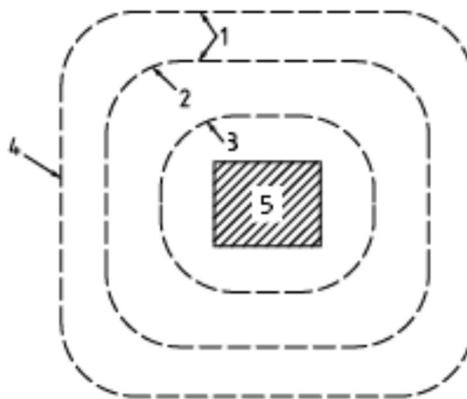
- 8 mm/s – para edifícios residenciais, escritórios, construídos com técnicas usuais;
- 30 mm/s – para edifícios rígidos com armações pesadas e em bom estado de conservação;
- 4 mm/s – para outros edifícios classificados como monumentos históricos.

De acordo com Rodrigues (2014), após as simulações numéricas, são verificados que os limites de vibração e ondas de choque são excedidos é necessário rever o plano de detonação, quantidade de explosivos ou o mecanismo de colapso.

Portanto, principalmente em atividades que envolvam explosivos, é necessário dimensionar e especificar no projeto as áreas afetadas. Durante o licenciamento, devem ser apresentadas as áreas de exclusão para que a polícia, órgãos militares e públicos garantam a completa evacuação e proteção da área.

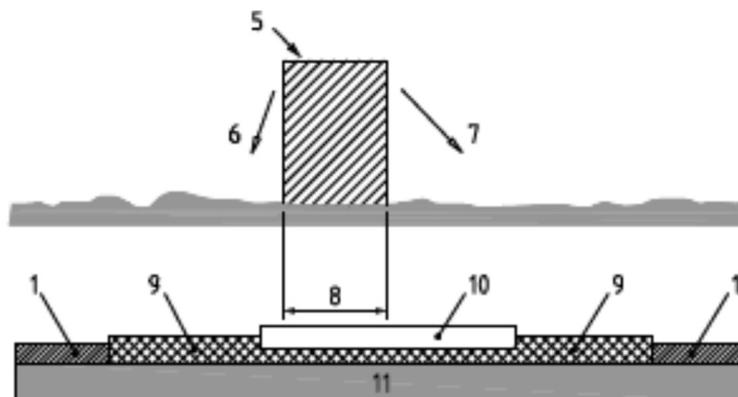
O Código de Práticas da Nova Zelândia (2013) aconselha que a área de afastamento do edifício a ser demolido com o público deve ser de no mínimo 200 metros, mas que dependerá do tipo e da quantidade de explosivos utilizados. A norma britânica BS 6187: 2011 traz exemplo de detalhamento de projeto (Figuras 2.14 e 2.15) que define a área da construção, área de detritos e de segurança e a área em que a estrutura será lançada.

Figura 2.14: Planta com a área de influência da demolição por explosivos



Fonte: BSI BS 6187, 2011.

Figura 2.15: Perspectiva com a área de influência da demolição por explosivos



Fonte: BSI BS 6187, 2011.

Legenda:

- | | |
|---|--|
| 1- Área de amortecimento (segurança) | 7- Direção do colapso de parte ou da estrutura inteira |
| 2- Limite Área de Detritos | 8- Área do Plano |
| 3- Limite Área de Descarte de Projeteis | 9- Área de Detritos Prevista |
| 4- Limite da Zona de Exclusão | 10- Área de lançamento projetada |
| 5- Estrutura a ser demolida | 11- Área de Exclusão |
| 6- Direção que podem cair detritos | |

2.3.5.1 Caso do Edifício C5 – Hospital de Forças Armadas - Lisboa

A demolição por explosivos não é recomendada para áreas sensíveis a vibração e ondas de choque, como por exemplo próximo a hospitais. No entanto, Rodrigues (2014) realizou um estudo de caso da demolição de um pavilhão do Hospital de Forças Armadas em Lisboa e aponta que com o controle eficiente e a prevenção dos efeitos produzidos essa técnica pode ser uma alternativa segura e viável.

A edificação foi construída na década de 70 com uma área de aproximadamente 620 m² e optou-se pelo uso do método de demolição por explosivos, que reduziu substancialmente o tempo de execução do serviço em relação a processos mecânicos convencionais. Foram realizadas as medidas preventivas, retirada de elementos não portantes (janelas, divisórias, paredes), pré-enfraquecimento das estruturas, estudos de estabilidade, determinação da quantidade de explosivos, perfuração dos pilares para colocar os explosivos, tiros de ensaio, a detonação e ao final a remoção dos detritos. Todo processo durou cerca de 3 meses, sendo que o colapso da estrutura foi de apenas 3 segundos.

O pré-enfraquecimento da estrutura foi realizado retirando elementos de elevada rigidez como é o caso do núcleo de escadas, pois foram construídas com seções fortemente armadas. Rodrigues (2014) afirma que a remoção do núcleo rígido proporcionou a redução da quantidade de explosivos empregados e se otimizou o controle do mecanismo de colapso pretendido. Para a demolição do núcleo de escadas foi utilizado métodos mecânicos removendo faixas de 1,20 metros com serra de disco diamantado.

Rodrigues (2014) ressaltou que durante o pré-enfraquecimento da estrutura não foi comprometida a estabilidade global e local da estrutura. Também foi realizada a proteção dos pilares com duas voltas de rede de arame entrelaçada (arame zincado) e manta geotêxtil para conter o lançamento de detritos.

A Figura 2.16 mostra o antes e depois do acionamento dos explosivos na demolição do módulo do Hospital das Forças Armadas de Lisboa.

Figura 2.16: Demolição do Hospital de Forças Armadas



Fonte: RODRIGUES, 2014.

Como o edifício fazia parte de um complexo hospitalar seu meio envolvente estava cercado de construções que distavam de 10 a 15 metros e consideradas como locais sensíveis aos ruídos e vibrações. Portanto foi necessário evacuar algumas áreas e prever o local da queda dos detritos para que fossem acumulados na área em que era ocupada pelo edifício e a proteção preventiva das construções vizinhas.

Foi utilizado o software *Extreme Loading® of Structures* para analisar o comportamento do colapso da estrutura e otimizar o plano de disparos, para que a fragmentação da estrutura fosse a mais elevada possível e o processo ocorresse de forma segura.

Também devido à proximidade com as edificações vizinhas foi necessário tomar medidas preventivas de proteção a vibração e ondas de choque tanto com uma manta no edifício demolido como o envolvimento com lã mineral e painéis de fibras (platex) nas janelas dos edifícios adjacentes, mostrado na Figura 2.17. Além disso, foram utilizados sacos, semelhantes a piscinas plásticas com água (*big bag*), para que com a detonação dos explosivos houvesse o controle da poeira.

Figura 2.17: Medidas de contenção e proteção para estruturas vizinhas



Fonte: RODRIGUES, 2014.

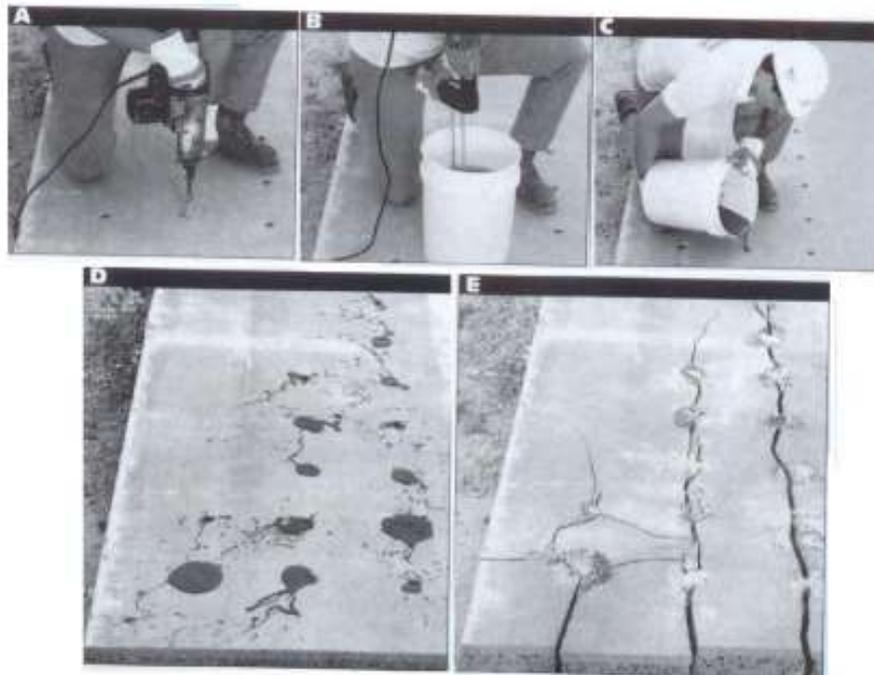
2.3.6 Métodos Químicos

Segundo Abdullah (2003) este método foi utilizado primeiramente no Japão, no qual se emprega as propriedades químicas dos materiais e suas reações para deteriorar o concreto. Gomes (2010) explica que a principal substância para a demolição por processos químicos é a argamassa com cal viva, produzida especificamente para fragmentação de rochedos, e é comum, inclusive em trabalhos marítimos.

O método basicamente consiste em realizar furos na peça a ser demolida e injetar a argamassa expansiva composta de cal viva e cimento (Figura 2.18). Brito (1999) indica que o uso de cal viva (80%), areia silicosa (10%) e um agente retardador (10%) diluído em água, aplicado em furos de diâmetro de 35 a 50 mm e espaçados entre 20 a 90 cm, podem acionar efeitos de tração a peça, que a romperão devido à baixa resistência do concreto a tração.

Essa é uma técnica caracterizada pela ausência de ruídos, utilização de mão de obra não especializada e com riscos reduzidos. No entanto, possui algumas desvantagens tais como a baixa eficácia em relação ao concreto armado, dificuldades em se aplicar em climas frios, alto custo e processo lento (cerca de 6 horas para ruptura).

Figura 2.18: Demolição por argamassa expansiva



Fonte: GOMES, 2010.

2.3.7 Métodos Térmicos

O método térmico também é denominado demolição por corte a quente e é utilizado principalmente em materiais metálicos onde não há riscos de incêndios ou presença de combustíveis. Gomes (2010) cita três fontes de calor que podem ser utilizadas no método térmico: por meio de lança térmica, maçarico (pólvora ou plasma) e laser.

A distinção das três fontes de calor está no uso de diferentes elementos para aquecimento (oxi-acetileno, hidrogênio, metano, propano, dióxido de carbono), na potência e a precisão da técnica podendo variar de 2 a 3 centímetros.

Também enquanto a lança térmica e o maçarico utilizam um jato de metal fundido a laser utiliza um feixe monocromático de luz, porém é menos eficiente. Esse método atinge temperaturas elevadas capaz de cortar facilmente o concreto, aço e rochas e, portanto, é utilizado em estruturas altamente armadas. Brito (1999) julgou que, considerando as fontes de calor, o uso de maçaricos de plasma seria a técnica mais eficaz e rápida entre os métodos térmicos.

Algumas vantagens do uso deste método podem ser citadas como:

- a possibilidade de cortar estruturas de grande espessura e formas irregulares,

- a produção é relativamente alta com ritmo de 50 cm/min,
- cortes precisos de largura de 3 a 5 cm,
- o método é aplicável ao concreto protendido,
- há versatilidade de se trabalhar ao ar livre, em ambientes fechados ou embaixo d'água,
- e não produz ruídos ou vibrações.

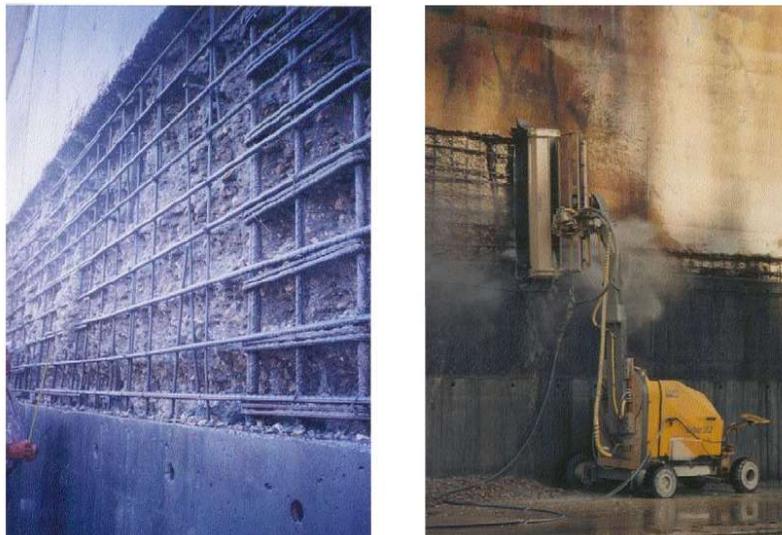
Contudo, seu custo é bastante elevado, é necessário que o ambiente de trabalho esteja arejado e há alto risco de ocorrer incêndios. Para evitar a ocorrência de incêndios, todo material inflamável (inclusive madeira) deverá estar distante pelo menos 10 metros das linhas de trabalho (GOMES, 2010; BRITO, 1999).

2.3.8 Hidro demolição por jato de pressão

A técnica de hidro demolição consiste na aplicação de jatos de água de alta pressão (cerca de 1200 bar) na superfície a ser demolida, este contato abrasivo provoca o corte dos elementos. A profundidade de corte pode ser controlada com de redutores de pressão.

Os jatos de água afetam somente a camada de concreto, preservando o aço como mostrado na Figura 2.19. Caso haja necessidade do corte do aço, o ideal é combinar a técnica com métodos térmicos de corte.

Figura 2.19: Demolição por jato de água



Fonte: Brito, 1999.

Santos (2013) cita algumas vantagens desse método como não produzir ruídos, poeira, vibrações, não provocar fissuras no concreto adjacente, não danificar a armadura metálica e a superfície já se encontra adequadamente preparada para nova concretagem. O processo é limpo, livre de poeiras, rápido e eficaz. Contudo há algumas desvantagens como o preço dos equipamentos utilizados e a necessidade de sistema de evacuação da água utilizada.

2.3.9 Sistema Ecológico *Taisei Corporation* de demolição

A técnica de origem japonesa, teve grande destaque na demolição de um edifício em Tóquio, entretanto, é apenas a combinação de técnicas manuais e mecânicas. Contudo, é inovadora principalmente quanto a seu modelo de gestão, pois desconstroem arranha-céus com baixo impacto de ruídos e visual, pois os transportes são feitos por meio de aberturas internas ao edifício.

Foi desenvolvida pela empresa TECOREP e intitulada como sistema ecológico *Taisei Corporation*. Os andares são demolidos andar por andar, contudo a laje de cobertura é mantida com auxílio de macacos hidráulicos. Quando o andar imediatamente inferior é demolido a estrutura de topo é abaixada, utilizando os macacos hidráulicos, perfeitamente sincronizada, com auxílio de controladores precisos, dando a impressão que o edifício está encolhendo.

A opção por manter a cobertura contribui para se reduzir os ruídos e emissão de poeira, além de proteger e evitar a interrupção das atividades em casos de chuva.

Com a utilização deste método, a demolição do edifício *Grand Prince Hotel Akasaka* em Tóquio, foi realizada com sucesso. O edifício construído em 1983 possuía 40 andares e 140 metros de altura, mostrado na Figura 2.20, e foi demolido em 2013 para dar lugar a construção de um edifício maior, de 180 metros de altura.

Figura 2.20: Técnica Taisei Corporation de Demolições



Fonte: FARIA, 2013.

2.4 DEMOLIÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

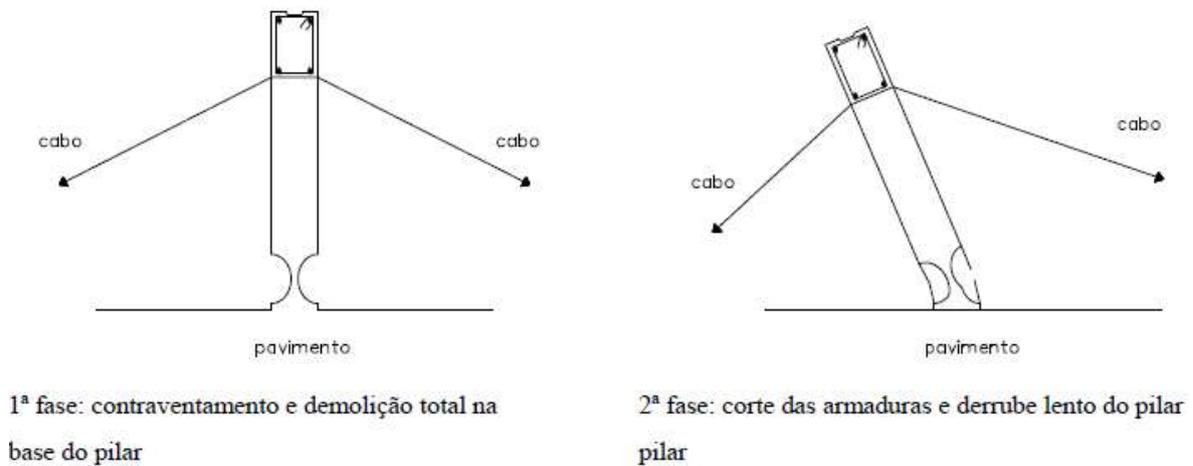
2.4.1 Pilares

Os pilares são elementos lineares de eixo reto, em que as forças normais são preponderantes. Por isso os pilares e as paredes de concreto armado são demolidos similarmente. As paredes, no entanto, são separadas em faixas de aproximadamente um metro (ABNT NBR 5687, 1977).

Para a demolição de pilares são colocados cabos em seu topo para controlar o derrube e o impacto nas estruturas inferiores. Os cabos são dispostos em uma direção para exercer tração e direcionar o sentido da queda e outro na direção contrária para suporte e controle. Ninguém deve estar na área em que foi designado o sentido de projeção da queda.

Inicialmente são verificadas se as sobrecargas aplicadas no pilar foram removidas e, como mostrado na Figura 2.21, se realiza a redução da área da seção do pilar na extremidade inferior com uso de métodos manuais para que se forme uma espécie de rótula e, conseqüentemente, o enfraquecimento prévio do elemento. Em seguida são cortadas parte das barras de aço do pilar e liberado, aos poucos, o cabo suporte.

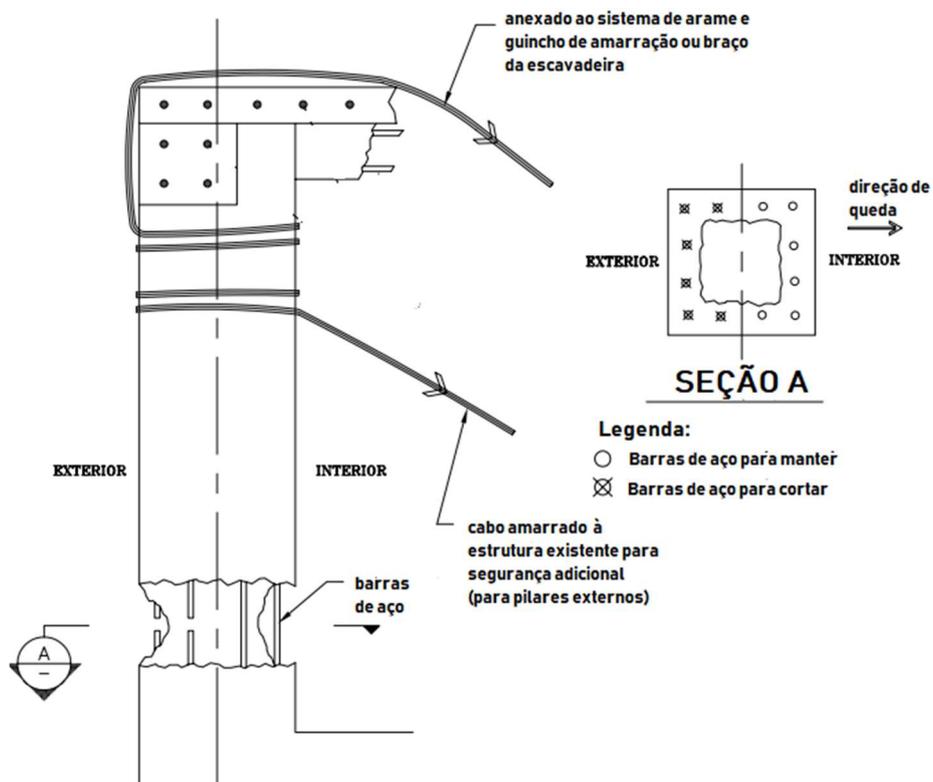
Figura 2.21: Demolição de Pilares



Fonte: BRITO, 1999.

Na Figura 2.22 é demonstrado o detalhamento da amarração dos cabos suportes e do enfraquecimento das armaduras na base do pilar. Observa-se que o corte das barras de aço é realizado apenas na parcela da seção contrária à direção de queda, com o objetivo de manter a estabilidade do pilar e controle na demolição.

Figura 2.22: Detalhes da demolição de pilares



Fonte: BUILDINGS DEPARTMENT, 2004 (adaptado).

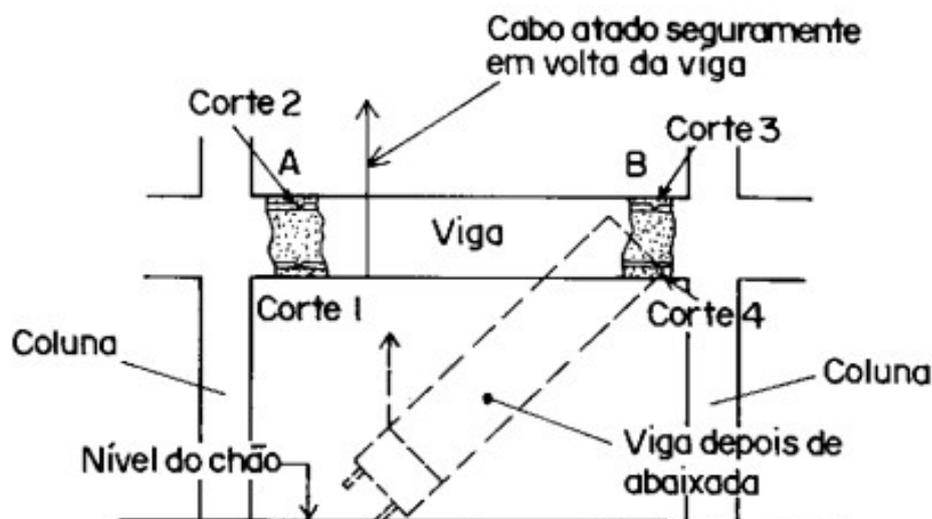
2.4.2 Vigas

Na Figura 2.23 são descritas as etapas da demolição de vigas de concreto armado, quando se usa o método sequencial elemento a elemento, e que, portanto, são realizadas as seguintes etapas:

- certificar que não existem cargas sobre a viga (incluindo lajes e platibandas)
- atar a viga por meio de cabos suportes nas extremidades A,
- cortar o concreto expondo as armaduras nas extremidades A e B,
- cortar as armaduras com procedimentos mecânicos ou térmicos na sequência conforme a Figura 2.23 (cortes 1, 2, 3),
- abaixar lentamente a extremidade A até o chão,
- Atar o cabo na extremidade B e realizar o corte 4
- abaixar lentamente os cabos suportes para reduzir o impacto ao solo ou piso inferior.

A sequência de demolição é definida geralmente a partir de elementos não portantes até os elementos estruturais com maiores restrições entre os vínculos. É recomendado que ao demolir vigas se comece pelas vigas de borda, logo após as vigas secundárias e então as vigas principais (*BUILDINGS DEPARTMENT, 2004*).

Figura 2.23: Demolição de Vigas



Fonte: ABNT NBR 5682, 1977.

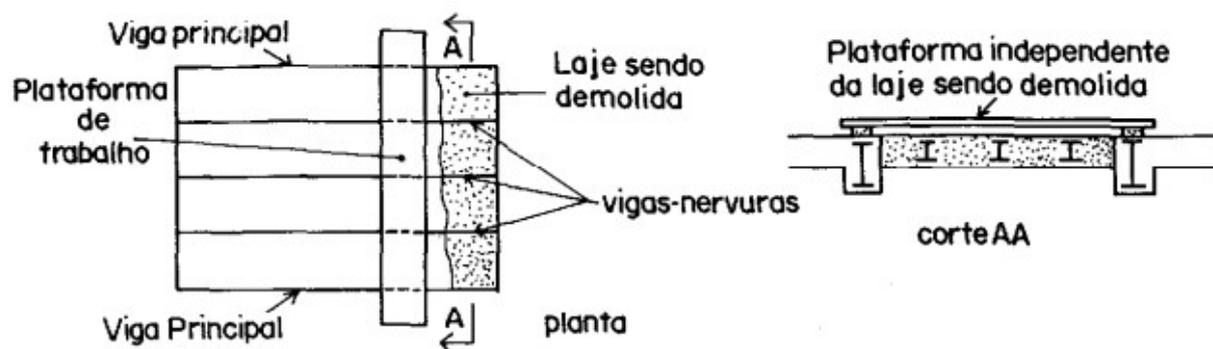
2.4.3 Lajes

Para a demolição de lajes é necessário, primeiramente, mapear quais são os elementos de suporte das lajes, a direção principal da armadura e se esta é armada em uma ou duas direções.

Para lajes armadas em somente uma direção o início das atividades deve ser próximo aos membros que não suportam a laje e prosseguir de forma perpendicular ao plano dos membros de apoio.

Definido o sentido e a sequência das atividades o operário deve estar sobre uma plataforma apoiada independente da superfície a ser fragmentada, conforme mostrado na Figura 2.24, e devem ser demolidas em faixas paralelas a armação principal.

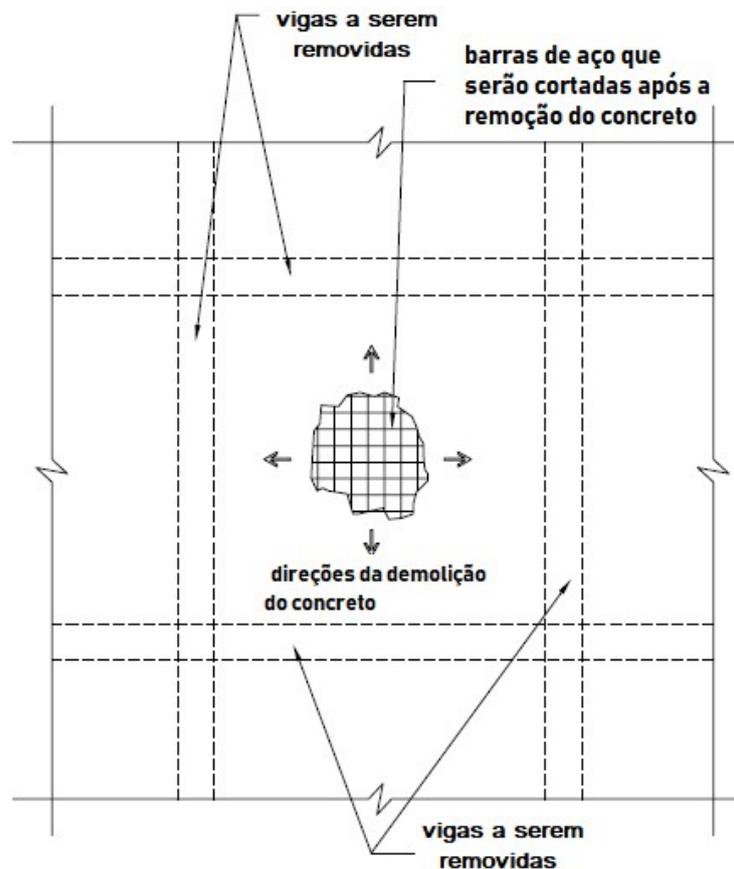
Figura 2.24: Plataforma de trabalho em Demolição de Lajes



Fonte: ABNT NBR 5682, 1977.

Já para lajes armadas em duas direções o Código de Práticas Chinesa (*BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004) recomenda que a demolição deve se iniciar do meio em direção as bordas, como mostrado na Figura 2.25, de modo simétrico.

Figura 2.25: Plano de demolição de lajes armadas em duas direções.



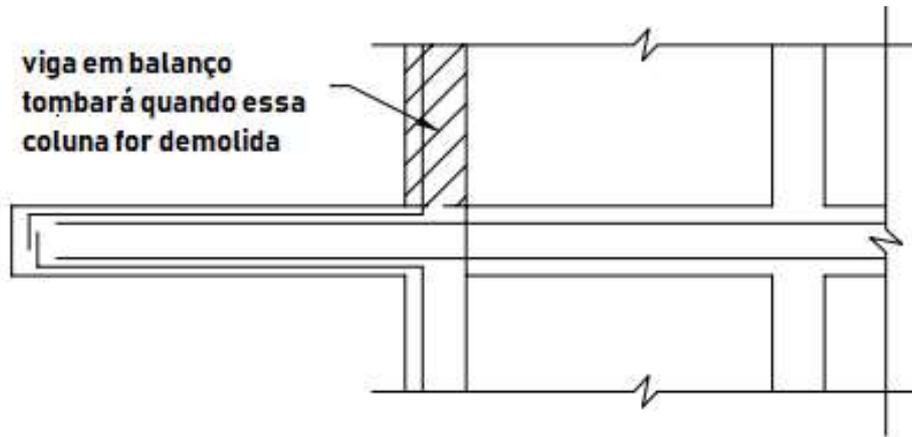
Fonte: *BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004 (adaptado).

2.4.4 Marquises e Balanços

É recomendável que as marquises, toldos e balanços sejam demolidos primeiramente que os demais elementos estruturais, isso se deve ao fato destes elementos possuírem vinculações em apenas uma extremidade e não apresentarem outras condições de contorno a fim de oferecer a redundância estrutural no caso da retirada do apoio e portanto é mais suscetível a instabilidade (*NEW ZEALAND DEMOLITION AND ASBESTOS ASSOCIATION*, 2013). A ABNT NBR 5682:1977 recomendava que inicialmente se fizesse o levantamento da natureza dos suportes, engastamentos e ancoragem das peças em balanço.

O Código de Práticas Chinesa (*BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004) relata alguns exemplos de complicações que podem ocorrer ao se demolir este tipo de estrutura. Um desses problemas é a possibilidade da simultaneidade de eventos, como mostrado na Figura 2.26, em que a estrutura em balanço irá entrar em colapso prematuro caso o pilar acima dela for demolida.

Figura 2.26: Tombamento de viga em balanço com a remoção de pilares

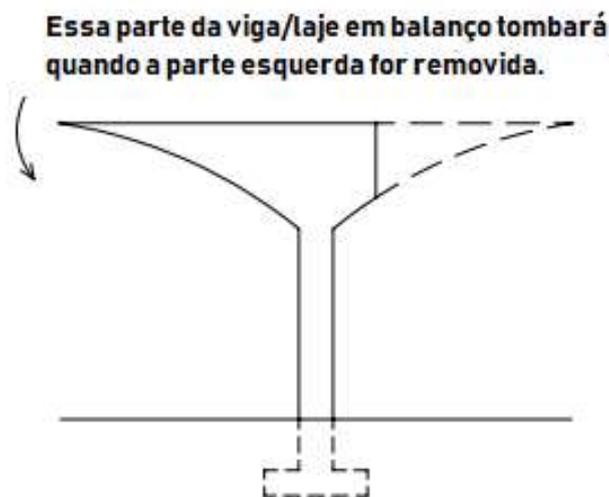


Fonte: *BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004.

De acordo com Brito (1999) para evitar a ocorrência de efeitos em cadeia, as lajes em balanço devem ser demolidas primeiro, mas que a princípio devem ser escoradas, e a demolição deve-se iniciar próximo ao ponto de apoio.

Já na Figura 2.27 o tombamento é devido ao desequilíbrio de forças, provocando o giro da estrutura, caso a demolição seja realizada de forma desproporcional. Neste caso, o Código de Práticas da Nova Zelândia (2013) recomenda que se faça a instalação de um pórtico para suporte temporário, até que haja a simetria dos esforços novamente.

Figura 2.27: Tombamento por desequilíbrio devido a remoção de parte da estrutura.



Fonte: *BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004

2.4.5 Estruturas Protendidas

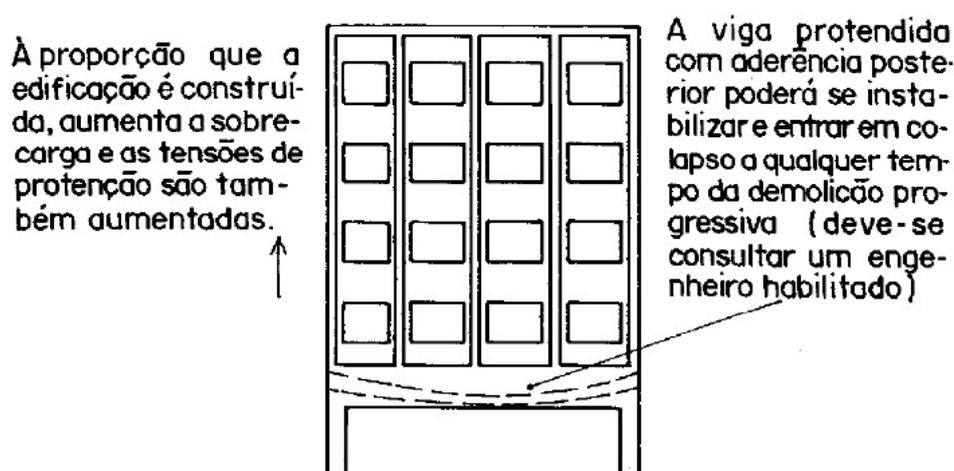
Para a demolição de peças estruturais protendidas devem ser tomados cuidados especiais em consequência de sua ruptura explosiva e ao risco à segurança. A norma ABNT NBR 5682:1977 estabelecia que o projetista reunisse o maior número de informações do projeto original e detalhes de execução e posteriormente definir o local deve ser feito o corte. Contudo, não estabelece instruções para esta decisão.

Também é recomendado o uso de injeção de argamassa para minimizar os efeitos da liberação de protensão. “É extremamente perigoso cortar um cabo sem argamassa injetada porque a energia armazenada neste é muito grande e a ancoragem se converterá em um projétil” (ABNT NBR 5682, 1977).

O Código de Práticas da Austrália (2016) adverte que anteriormente a demolição de peças protendidas deve-se revisar os projetos do edifício, bem como o tipo de protensão utilizada, as cargas de tensionamento, os pontos de ancoragem e o número de tendões.

A norma ABNT NBR 5682:1977, descreve no desenho esquemático, demonstrado na Figura 2.28, que a medida que crescem as ações de sobrecarga da edificação, as tensões de protensão também são aumentadas. Portanto é importante estabilizar as vigas protendidas com aderência posterior, pois com a diminuição progressiva da sobrecarga em demolições sequenciais, as tensões atuantes podem ser excessivas e entrar em colapso prévio.

Figura 2.28: Desenho esquemático de uma estrutura protendida



Fonte: ABNT NBR 5682, 1977.

Para os casos que não é possível a injeção de argamassa a norma britânica BS 6187:2011 recomenda que a quebra da estrutura protendida se faça em local adequado. Portanto,

primariamente a peça deve ser separada da estrutura com alta precisão por meio de jato de pressão de água, lança térmica ou com uso de disco diamantado. Então as peças são movidas até um local seguro onde haja proteções para o ricochete dos cabos.

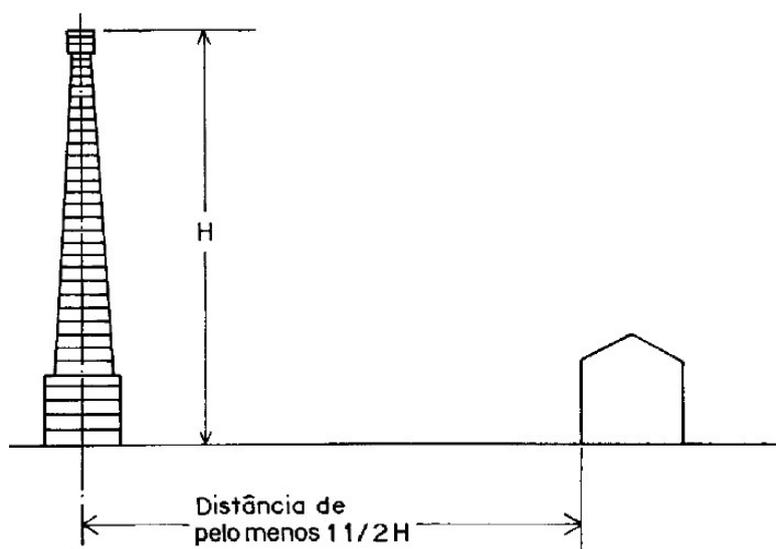
2.4.6 Chaminés

As chaminés são estruturas de altura muito superior à sua largura, portanto, neste caso é recomendado a demolição por explosivos (telescópio e derrube), bola de demolição quando a altura não ultrapassa 30 metros) ou a demolição mecânica por colapso planejado.

No colapso planejado é realizado o enfraquecimento da extremidade inferior da chaminé, com intuito de induzir o efeito de instabilidade e a estrutura tombe. O maquinário deve ser posicionado em paralelo e a uma distância segura pois os elementos se desmantelarão pelo impacto da queda livre dos materiais.

A norma ABNT NBR 5682:1977 e o Código de Práticas da Austrália (2016) ressaltam que a distância mínima livre deve ser de 1,5 vezes a altura da chaminé em relação as edificações vizinhas, como descrito na Figura 2.29.

Figura 2.29: Distância mínima das chaminés às edificações vizinhas em demolições por Colapso Planejado



Fonte: ABNT NBR 5682, 1977.

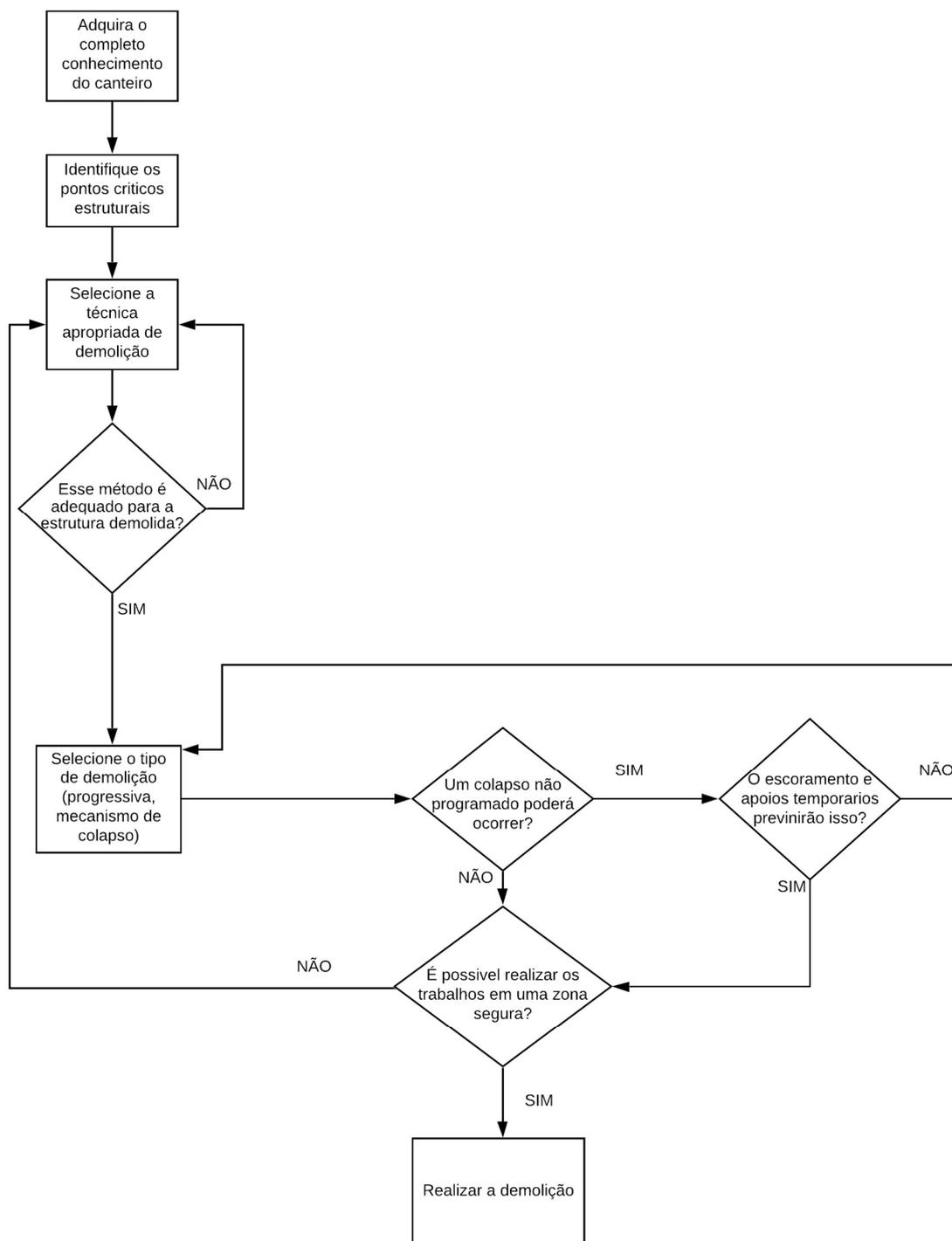
2.5 ESTRUTURAS TEMPORÁRIAS

2.5.1 Estudo de Estabilidade

Durante a execução das atividades é necessário garantir que ao se remover uma parcela da estrutura as demais permaneçam estáveis, em um período seguro. Na Figura 2.30 é

apresentado um fluxograma com as etapas do estudo de estabilidade, para estabelecer a necessidade de estruturas provisórias de suporte.

Figura 2.30: Fluxograma do Estudo de Estabilidade



Fonte: BSI BS:6187, 2011 (adaptado).

2.5.2 Escoras

Em diversas situações é necessário dimensionar estruturas temporárias para que, durante a execução das atividades de demolição, evite-se que ocorram desmoronamentos ou deslocamentos prejudiciais a evacuação da área.

Segundo a norma ABNT NBR 5682:1977, o escoramento provisório em atividades de demolição tem intuito de prevenir o colapso fora de controle, já que a remoção de alguns elementos pode ocasionar instabilidade nos demais. Portanto deve-se analisar se os vínculos internos e externos, se removidos ou alterados, comprometem a estabilidade do conjunto.

Já o Código de Práticas da Nova Zelândia (2013) recomenda que os suportes temporários devem ser utilizados caso:

- Toda ou qualquer parte da estrutura esteja sujeita a cargas excessivas;
- Quando qualquer parte da estrutura não é autossustentável;
- Ou quando a estabilidade temporária pode ser prejudicada com as atividades de demolição.

A Figura 2.31 mostra a situação em que o escoramento foi utilizado para garantir que não houvesse instabilidade nas construções vizinhas devido a possíveis movimentações das estruturas adjacentes ocorridas após a demolição do edifício central. Este caso é recomendado para casos em que as estruturas outrora eram coladas, ou seja, quando não havia distância entre as linhas de divisa e as edificações vizinhas.

Figura 2.31: Escoramento provisório do edifício vizinho



Fonte: Brito, 1999.

2.5.3 Galerias de Proteção

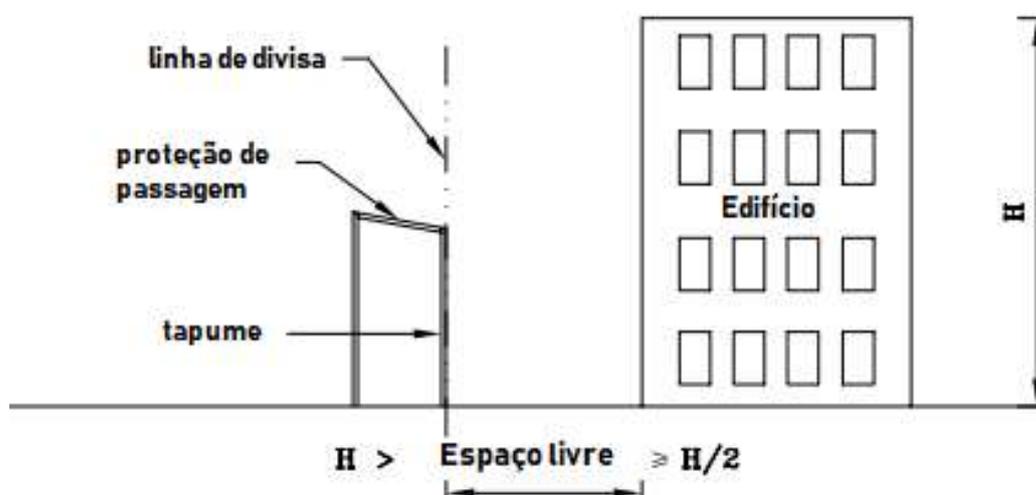
As galerias de proteção são constituídas por uma estrutura de tapumes sob o passeio e telas de proteção na edificação para se evitar que caiam detritos no público externo ao canteiro. O Código de Práticas da Nova Zelândia (2013) adverte que os trabalhadores e a população em geral devem ser protegidos contra a queda de objetos, projeções, poeira e solda.

A norma ABNT NBR 5682:1977 previa que deveria se executar galerias de proteção em demolições com edifícios acima de dois pavimentos ou que possuam altura equivalente.

Já o Código de Práticas Chinesa (*BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004) recomenda que se executem galerias de proteção de acordo com a altura do edifício a ser demolido e a distância das vias de pedestres.

- Para espaços livres com distância de comprimento acima da altura do edifício não é necessário galerias;
- Para $H > \text{Espaço Livre} \geq H/2$ é necessário que se execute a galeria de proteção, como mostrado na Figura 2.32, em que H é a altura total do edifício a ser demolido;
- Quando o Espaço Livre $< H/2$ é necessário realizar proteções extras como bandejas (*catch platforms*) sobre a galeria de proteção para evitar que detritos alcancem os pedestres.

Figura 2.32: Galeria de proteção para edifícios com $H > \text{Espaço Livre} > H/2$



Fonte: *BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004

Na Figura 2.33 mostra-se de forma completa, as estruturas de proteção próximo a calçada, com a utilização de tela, estrutura de contenção na fachada do edifício, a galeria de proteção e as bandejas de segurança abaixo da estrutura em demolição.

Figura 2.33: Estruturas de Proteção na fachada do Edifício



Fonte: Brito, 1999.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A demolição de elementos estruturais é um procedimento de risco, portanto necessita de uma metodologia adequada a ser empregada de acordo com o tipo de elemento estrutural, condições do ambiente e restrições de projeto.

A demolição por realizar o desmantelamento de elementos, por vezes necessitam de suportes temporários, tanto para garantir a estabilidade estrutural quanto para segurança do entorno. É importante constar no projeto de demolição as estruturas temporárias, pois prevenirá acidentes e por vezes o colapso prematuro.

A escolha da técnica é uma das fases mais importantes, que definirá a eficiência e a eficácia de uma demolição.

3 NORMAS E CARTILHAS TÉCNICAS

A demolição de edifícios requer uma avaliação e planejamento cuidadoso para prever situações perigosas e efeitos indesejáveis. Neste capítulo foram apontadas as principais normas e cartilhas técnicas que apresentam diretrizes para realizar o planejamento e escolha da técnica de demolição.

3.1 NORMAS BRASILEIRAS

3.1.1 ABNT NBR 5682: 1977 – Contratação e Execução e Supervisão de Demolições – Cancelada em 2008

No Brasil a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) lançou a norma NBR 5682 em 1977, e que depois foi cancelada em novembro de 2008 com a justificativa de que não é mais utilizada pelo setor. A norma apresentava diretrizes para a contratação e licenciamento dos serviços de demolição, providências e precauções necessárias antes, durante e após a execução da atividade.

Também dispunha de alguns métodos de demolição existentes e estabelecia condições para decisão da técnica a ser utilizada. As técnicas abordadas pela norma eram: demolição manual, por empurrador mecânico, por colapso planejado, por bola de demolição e com uso de explosivos.

Primeiramente são apresentados alguns conceitos preliminares, entre eles, o de colapso planejado, que condiz com o que deve ser a demolição: uma ruptura programada de elementos que se reúnam em um local pré-determinado. As atividades de demolição devem ser planejadas, analisando as particularidades de cada empreendimento para aplicação da técnica correta, prevenção de efeitos indesejáveis e correta destinação dos materiais retirados.

As edificações eram divididas nesta norma em três categorias: construção confinada, construção isolada e construção colada. O afastamento com as edificações vizinhas determinava a técnica escolhida para demolição. Eram consideradas isoladas edificações que possuem um afastamento da edificação vizinha maior ou igual que duas vezes a altura do imóvel a ser demolido, confinadas quando se encontra edificações com distâncias intermediárias e coladas quando não há espaço livre algum entre elas.

Além disso são avaliadas as variáveis considerando o tipo da estrutura (pequeno e grande porte, torres, pontes, marquises, arcos e chaminés), tipo da edificação (concreto armado,

concreto protendido, estruturas mistas de aço e concreto e paredes autoportantes) e indicadas os tipos de demolições para cada situação. A Quadro 3.1 mostra os tipos de demolição recomendados pela ABNT NBR 5682:1977 para os casos específicos.

Quadro 3.1: Recomendações da NBR 5682:1977 em diversas condições

TIPO DA ESTR.	TIPO DA EDIF.	Localização no Terreno			
		1	2	3	4
		Const. isolada	Const. confinada	Const. Colada e isolada	Const. Col. e confinada
Const. Pequenas de 2 Pav.	Paredes que servem de suporte (portantes)	ABCD	ABD	ABD	AD
Const. Altas de mais de 2 Pav	Paredes portantes	ABDE	ABDE	ABDE	AD
	Paredes portantes com reforço estrutural	AE	AE	AE	AE
Estruturas Lineares (vigas, lajes, pilares)	Estrutura de aço	ACE	AE	AE	A
	Concreto armado pré-moldado.	ADE	ADE	ADE	AE
	Concreto protendido	ADE	ADE	ADE	AE
	Estruturas Mistas de aço e concreto	ADE	ADE	ADE	A
	Estruturas de madeira	A	A	A	A
Balanços (marquises, varandas e sacadas)	Independentes da estrutura linear principal	ADE	ADE	ADE	ADE

Pontes (item 8.7)		ACE	ACE	A	A
Arcos de Alvenaria (item 8.6)		ACDE	ACDE	ACDE	ACDE
Chaminés (item 8.7)	Alvenaria de tijolos ou concreto	ACDE	A	AE	A
	Aço	ACE	A		A
	Concreto armado in situ ou pré-moldado	ADE	A	ADE	A
	Plástico Armado	A	A	A	A
Torreões de igrejas, de edifícios de torres (geralmente com espigões e/ou para-raios item 8.8)		ACDE	A	A	A
Torres de linhas de transmissão e postes (item 8.9) Tanques de combustível		ACE	A	A	A

Fonte: ABNT NBR 5682, 1977.

Legenda:

A – Demolição Manual

B – Demolição Mecânica com Empurrador

C- Demolição com colapso planejado

D- Demolição com uso de bola de demolição

E- Demolição com uso de explosivos

Portanto, inicialmente era indicado que se fizesse o levantamento detalhado da edificação a ser demolida, das estruturas vizinhas e áreas que poderiam ser afetadas, incluindo subsolos e áreas inflamáveis.

Também esta norma estabelecia o contrato de execução e os seguros necessários para garantir a cobertura de prejuízos a terceiros, efeitos dos estilhaços, vibração, enfraquecimento e aos funcionários participantes da atividade. Portanto, são citadas três categorias de seguros necessárias: seguro de acidente de trabalho, seguro de responsabilidade civil e seguro de garantia contratual.

Além disso, deveria se tomar cuidados quanto à segurança dos funcionários e envolvidos diretamente ao serviço de demolição, segurança pessoal dos envolvidos indiretamente, incluindo a população em geral, e a segurança da integridade de propriedades próximas.

O imóvel a ser demolido deveria estar licenciado nos órgãos competentes, solicitando a autorização de demolição. No caso, por exemplo, da prefeitura de São Paulo, era exigido que se preenchesse um requerimento padrão especificando o objetivo da demolição, quitação de taxas de arrecadação e impostos, cópia do título de propriedade, documentos de identificação do requerente e nos casos que a edificação possuísse o número de pavimentos superior a dois andares, deveria ser emitido e apresentado a anotação de responsabilidade técnica. Ao término das atividades a área deveria ser vistoriada para que se emitisse a certificação de averbação do imóvel.

Após os devidos cuidados preliminares deve-se analisar a técnica a ser utilizada considerando as restrições e protocolos particulares. A manipulação de explosivos, por exemplo, só poderia ser feita por empresas especializadas e com autorização do Ministério do Exército Brasileiro. Os cuidados deveriam envolver a total evacuação de pessoas e animais e calculado os efeitos de vibração das ondas de choque e protegendo as edificações vizinhas.

Definida a técnica, deveria se analisar e descrever a sequência dos procedimentos e qual ordem em que os elementos seriam removidos. Em alguns casos a remoção de elementos poderia provocar um colapso progressivo, portanto, era necessário determinar o escoramento provisório.

A fim de mitigar os efeitos da poeira e ruído, a norma recomendava que fosse aspergido água periodicamente, e que se limitasse o uso de equipamentos que produzissem ruídos ou então que se utilizasse silenciadores.

Outro fator que deveria ser levado em consideração, era a análise da modificação do bulbo de tensões do solo. Devido à proximidade com edificações vizinhas, poderiam haver recalques nas estruturas adjacentes, sendo necessário providenciar medidas de contenção.

3.1.2 NR 18: 2011 – Norma Regulamentadora – Condições e Meio Ambiente de Trabalho – Demolições

A Norma Regulamentadora NR 18 de 2011, presente no Guia Trabalhista do Ministério Público do Trabalho, estabeleceu diretrizes de ordem administrativa, de planejamento e organização e teve por objetivo implementar medidas de segurança no ambiente de trabalho.

Portanto, ela enfatizava situações que envolvessem a prevenção de acidentes e segurança de trabalhadores nos processos, nas condições e no meio ambiente na construção civil.

Em seu quinto tópico, esta aborda os cuidados necessários para os processos de demolição, tais como a interrupção dos serviços de gás, energia, esgoto e água, isolamento das áreas de substâncias tóxicas e líquidos inflamáveis, bem como cuidados a respeito do transporte de materiais aos andares inferiores. Também recomenda cuidados com os materiais retirados, no qual, deve ser feita a remoção de materiais frágeis como vidro, ripas e estuques e umedecimento com água as superfícies a serem demolidas para evitar o excesso de poeira.

A norma ressalta a importância do acompanhamento de um profissional habilitado, o devido registro fotográfico das edificações vizinhas e o planejamento do transporte de materiais desmantelados aos andares inferiores.

3.1.3 ABNT NBR 16280: 2014 – Reforma em Edificações – Sistema de Gestão de Reformas – Requisitos

A norma NBR 16280, lançada em 2014, tem ênfase nos requisitos legais referentes a reformas em geral. Foi escrita devido a relevância do seu tema frente à crescente demanda de serviços de reformas e principalmente, para orientar a gestão de síndicos em edifícios e construções multifamiliares.

Esta norma ressalta que com o envelhecimento de edifícios, é necessário que sejam realizadas modificações. Contudo é primordial que se mantenha a segurança da edificação, dos seus usuários e do seu entorno impactado (ABNT NBR 16280, 2014).

As orientações são principalmente para definir um completo planejamento da modificação, prever as perdas de desempenho dos sistemas afetados, as modificações das funções originais do edifício, segurança da edificação e seu entorno, mitigar a poluição e ruídos, garantir a segurança dos procedimentos empregados e do pós-obra e devida supervisão técnica.

Também a norma cita as responsabilidades, tanto do contratante dos serviços de reforma, do executor da reforma, quanto do síndico e responsáveis pelo condomínio. Definindo, portanto, o direito de embargar a obra caso o escopo de reforma relatado não seja seguido.

O uso desta norma é pertinente nos casos de demolição parcial pois define quais atividades necessitam de profissionais especializados ou capacitados e os aspectos legais de responsabilidade.

3.2 BS 6187:2011 – *Code of Practices for Demolition* (Inglaterra)

Esta norma britânica teve sua primeira publicação em 1982, e sua atualização mais recente foi realizada no ano de 2011. A revisão foi realizada devido aos avanços da tecnologia e equipamentos na indústria da demolição. Nela são recomendadas diretrizes para o planejamento e desenvolvimento de projetos de demolição, avaliação e prevenção de riscos, provisões ambientais, técnicas e métodos de demolição total e parcial, incluindo o reuso e reciclagem, reformas estruturais, considerando os tipos específicos de estruturas e técnicas inovadoras (BSI BS: 6187, 2011).

Apesar de oferecer diretrizes técnicas, não rege todos os termos legais necessários para realizar o contrato das atividades de demolição. É, portanto, necessário que o profissional que utilize a norma seja responsável pela sua correta aplicação.

Esta norma ressalta a importância do estudo de efeitos de instabilidade ocasionados pela demolição de elementos estruturais para garantir que não haja parcela colaborante que podem resultar em um efeito em cadeia. Desse modo, é necessário que a demolição seja realizada de forma planejada e controlada evitando o colapso não planejado e, em algumas situações, é necessário o uso de apoios temporários ou reforço estrutural.

São citadas algumas atividades que devem ser avaliadas os efeitos de estabilidade da edificação tais como a remoção de pisos, paredes, chaminés, novas aberturas, escavação ou remoção de fundações, conversões em *lofts*, ou criação de mezaninos e a mudança de utilização de edifícios.

Para a escolha do método a ser utilizado a norma recomenda que se analise questões legais, ambientais e econômicas além dos riscos da atividade e restrições quanto a localização do empreendimento.

Também são apresentadas algumas recomendações de projeto, no qual deve se constar de forma sequencial as atividades de demolição, com desenho esquemático da ordem dos elementos a serem demolidos, a técnica escolhida, cronograma das atividades, a gestão do tráfego de detritos, bem como descrever os tipos e quantidades prováveis dos materiais retirados para armazenagem destinação dos resíduos.

As técnicas apresentadas nessa norma são: demolição manual, por máquinas, máquinas automatizadas ou robóticas, grandes máquinas, máquinas compactas, por tração de cabos, por braço de alto alcance; por corte, perfuração e serragem; por agentes químicos, por explosivos, por corte térmico e hidro demolição com uso de jato de pressão.

A norma tem principal ênfase nas orientações para o projeto de demolições, apresentando diversos fluxogramas que auxiliam no escopo, planejamento e verificações das fases nos variados casos. Também leva em consideração os protocolos de tratamento dos resíduos, inclusive aqueles de alto risco de contaminação e sua correta destinação.

Os sistemas de demolição listados nesta norma são: demolição progressiva, mecanismo de colapso deliberado, remoção deliberada de elementos e demolição parcial da estrutura. É aconselhável que a demolição progressiva seja realizada na maioria das situações em que houver áreas confinadas e restritas, pois consiste na remoção dos elementos na sequência inversa da construção.

3.3 AS 2601:2001 - *The Demolition of Structures* - Australia

Essa norma foi produzida pela Comissão de Normas Australianas em 1983, com a terceira atualização em 2001, e tem como objetivo oferecer diretrizes para projetistas, engenheiros, contratantes e partes interessadas em serviços de demolições de estruturas (*STANDARTS AUSTRALIA INTERNACIONAL*, 2001).

A atualização da norma foi feita visto a crescente mecanização dos serviços de demolição e a maior preocupação com meio ambiente e segurança de trabalhadores. Na revisão de 2001 o texto foi reorganizado dando ênfase no desempenho das técnicas empregadas, se ampliou o conceito de projeto de demolição e estabeleceu as autoridades competentes para fiscalizar as empresas executoras.

A norma também tem como objetivo incentivar a consciência quanto as questões de segurança e meio ambiente. São fornecidas orientações sobre uma grande variedade de métodos de

demolição controlados que minimizam os impactos ao meio e aos trabalhadores (MARTINS, 2017).

Os principais tópicos abordados nessa norma são a respeito das documentações necessárias para o licenciamento das atividades, métodos novos ou alternativos, diretrizes para a saúde e segurança dos trabalhadores, cuidados especiais, plano de trabalho, descrição da sequência das atividades e métodos de indução do colapso, e da instalação de equipamentos.

3.4 *Demolition Work – Code of Practices: 2016 – Safe Work (Austrália)*

Este código de prática foi produzido pelo *Safe Work of Australia* dando prioridade a diretrizes referentes aos riscos de saúde e segurança para procedimentos de demolição. Nele é ressaltada a importância do planejamento cuidadoso de todas as etapas de demolição a fim de que evite riscos de acidentes.

Esse código é utilizado como guia prático para atingir os padrões de bem-estar e segurança da Lei de Saúde e Segurança do Trabalho. Foi adotado como padrão pelos sindicatos, câmaras de comércio, indústria e governos dos estados e territórios australianos.

O trabalho de demolição é definido por aquele associado ao desmantelamento da estrutura definitiva tanto parcialmente quanto totalmente, ou seja, a desmontagem de andaimes, escoras e estruturas temporárias não se aplicam a serviços de demolição (*SAFE WORK OF AUSTRALIA*, 2016).

Este código aborda as técnicas de demolição manual, mecânica, colapso controlado e por explosivos. É possível que se utilize técnicas associadas, desde que garanta a segurança do trabalhador e a estabilidade da estrutura.

O colapso controlado é definido neste documento pela remoção sequencial dos principais elementos estruturais e a aplicação de uma força que induza o sentido da queda, este método é indicado apenas em construções ou elementos que estejam isolados e que tenha espaço suficiente para a queda.

É necessário que se identifique os riscos como o colapso não planejado, a queda de objetos e detritos, exposição a produtos químicos, ruídos excessivos e a proximidade com construções vizinhas. Para uma correta avaliação de riscos o código recomenda a análise da integridade estrutural, o método de demolição e sua sequência, o *layout* do local de trabalho e proteções

para quedas de materiais, os equipamentos e a experiência requerida para seu uso, número de pessoas envolvidas e as condições climáticas.

O plano de demolição deve referenciar os códigos de saúde e segurança e constar também a localização da estrutura, a altura referente ao solo, distância dos limites vizinhos, tipo de estrutura (classe de ocupação), sistema estrutural, materiais, principais apoios, método de demolição proposto, sequência e cronograma das atividades, plano de acesso e movimentação, destinação de resíduos, localização de instalações elétricas, hidráulicas, gás e demais tubulações, plano emergencial.

Se não for possível eliminar os riscos ao trabalhador é preciso minimizá-los. A mitigação de riscos pode ser realizada com a substituição de processos manuais por mecânicos, com a proteção da área de trabalho com telas ou estruturas provisórias ou instalar sinais de alerta e estabelecer uma zona de exclusão (isolamento) em torno do edifício demolido.

Segundo o Código de Práticas da Austrália (2016) o projeto de demolição deve avaliar:

- A estabilidade e integridade da estrutura em todas as fases de demolição;
- Velocidade máxima permitida de vento para estruturas parcialmente demolidas;
- O efeito da sequência da demolição em detrimento da estabilidade;
- A proximidade com os edifícios adjacentes;
- A variação da intensidade dos carregamentos em todas as fases da demolição;
- O dimensionamento de estruturas temporárias de apoio;
- O manuseio, elevação, transporte e armazenagem dos detritos e materiais advindos da demolição.

3.5 Code of Practices for Demolitions of Buildings: 2004 (China)

Este código teve sua primeira publicação em 1998 (foi atualizado em 2004) e, tem o intuito de orientar a segurança e boas práticas de demolição. São contidas informações básicas para o planejamento e controle de trabalhos de demolição com intuito de minimizar riscos a pessoas e propriedades, oferecer condições favoráveis a saúde e segurança de trabalhadores e diminuir perigos ao ambiente vizinho (*BUILDINGS DEPARTMENT, 2004*).

Esse código é aplicável a estruturas individuais, demolição parcial e demolição total de edifícios. São estabelecidas diretrizes do planejamento, ressaltando a necessidade do

levantamento dos projetos estruturais, histórico da edificação, estado de deterioração, substâncias tóxicas e realizar o registro fotográfico.

Também, no projeto de demolição, deve constar informações preliminares, como a planta de localização do edifício, detalhes topográficos, distância das construções adjacentes, bem como o projeto de cada pavimento, com os principais materiais da construção, as sobrecargas de ocupação, as estruturas de apoio e estruturas especiais (protendidas, pré-moldadas, treliças, arcos).

Então, é preciso que se detalhe a sequência das estruturas que serão demolidas e o método adotado, incluindo as restrições dos equipamentos utilizados. Também são definidas se necessário estruturas temporárias (escoras) com o objetivo de garantir a estabilidade durante a execução das atividades. A estabilidade da edificação deve ser calculada e garantida sua segurança em todas as etapas da demolição e caso seja comprometida, é exigido o dimensionamento dos sistemas de reforços.

Além disso, foram definidas recomendações para garantir a segurança, tais como: a execução de galerias de proteção e uso de bandejas para detritos, prever medidas mitigadoras à vibração, barulho e a poluição do ar. Também, esta oferece orientações para instalação de andaimes, dimensionamento de acúmulos de cargas nos pisos relacionados a equipamentos e resíduos.

As técnicas apresentadas pelo código são demolição manual, por máquinas, por rompedor hidráulico, por bola de demolição, por implosão, lança térmica, jato hidráulico e sua escolha dependerá das condições do projeto, restrições do canteiro, avaliação do equipamento e sensibilidade das edificações vizinhas. O uso de explosivos e bola de demolição é destacado por requerer extremo cuidado e planejamento devido ao seu alto risco.

3.6 29 CFR 1926 Subpart T: 2016 (Estados Unidos)

Não foi possível obter o acesso a norma ANSI/ASSE A 10.6:2006 *Safety & Health Program Requirements for Demolition Operations* (Requisitos de Saúde e Segurança para Operações de Demolição), contudo, a norma do 29 Código Federal de Normas dos Estados Unidos elaborada pela OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) também aborda as ações preparatórias para execução da demolição.

Na norma 29 CFR 1926 Subpart T estabelece as atividades preparatórias, utilização correta das passagens de emergência, calhas de transporte de materiais, remoção de materiais dos pisos, aplicação da técnica manual, mecânica e por explosivos.

Inicialmente, a norma recomenda que se faça uma vistoria detalhada e corretamente documentada da área que será demolida, realizando o registro fotográfico, as condições de durabilidade da estrutura existente e avaliar a possibilidade do colapso precoce.

Também, ressalta que anteriormente ao início das atividades deve-se desativar os serviços elétricos, hidráulicos e de gás, bem como realizar o escoramento de elementos que proporcionem risco de colapso enquanto houver trabalhadores no local.

Quanto a sequência das atividades esta norma orienta que as paredes externas devem ser demolidas no sentido a começar pelo topo e seguir para baixo. É importante que os detritos não caiam além das paredes externas sem que a área esteja devidamente protegida. As calhas de transporte de materiais devem ser totalmente fechadas com aberturas apenas no ponto de coleta e no de acúmulo de entulhos.

Quando se faz uso de equipamentos para a demolição mecânica é necessário verificar o peso do equipamento e se a superfície em que ele será apoiado é suficientemente resistente e não ocorrerá deformações excessivas. Ao final de cada fase da sequência de demolição estabelecida deve-se inspecionar a estruturas e averiguar se há danos extraordinários, sinais de colapso ou instabilidade.

3.7 Demolition - Best Practice Guidelines for Demolition in New Zealand: 2013 (Nova Zelândia)

As diretrizes desse código foram elaboradas pela *New Zealand Demolition and Asbestos Association* (NZDAA), para informar os empregadores e funcionários sobre as precauções que devem ser seguidas quanto a saúde e segurança do trabalho em atividades de demolição. São descritas as recomendações sobre as práticas mais eficientes para uma demolição segura de estruturas e edifícios.

Neste código, a demolição foi definida como as ações de desconstrução, desmontagem, corte ou derrube de elementos que envolvam alteração estrutural. Por isso, foi ressaltada a importância de um responsável experiente no ramo para supervisão das atividades, e que se deve tomar cuidados adicionais em edificações danificadas ou que foram submetidas a incêndio.

Para se realizar o projeto de demolição, é necessário reunir as informações dos projetos arquitetônicos, estruturais e de instalações, considerando os fatores de risco, os cuidados

preliminares e a distância com as edificações vizinhas. O planejamento de todas etapas e a seleção de um método adequado evitará perdas e danos excepcionais.

Deve-se, também, obter as aprovações necessárias e notificar as autoridades definindo os horários de trabalho, limite de ruídos e se necessário requerer a evacuação da área. Também é necessário definir com empreiteiro responsável pela demolição a sequência das atividades e informá-lo sobre a presença e localização de substâncias tóxicas ou perigosas.

Este código afirmou que, independentemente se a demolição for de pequeno porte, deve-se realizar um planejamento adequado para definir e controlar os perigos. Os principais perigos prováveis para os trabalhadores envolvidos em atividades de demolição são: as substâncias tóxicas (amianto) ou inflamáveis, membros estruturais instáveis ou danificados, o colapso repentino, a queda de objetos, trabalho em altura com vãos desprotegidos, cabos elétricos (nos casos que não é feita a interrupção do fornecimento) e incêndio.

A cartilha de práticas recomenda que para se realizar o colapso deliberado o profissional deve ser capacitado e com experiência na atividade para avaliar quais elementos podem ser enfraquecidos para realizar o colapso progressivo de forma controlada e segura. O método de colapso deliberado (mecanismos de colapso) é indicado em silos, pontes, chaminés e estruturas isoladas

A principal ênfase deste documento é sobre as verificações de segurança dentro do canteiro de obra para os principais perigos durante as atividades de demolição. São definidas as responsabilidades técnicas e a obrigatoriedade do treinamento adequado da equipe, pois envolve diversas vezes trabalho a quente, trabalho em altura, em locais confinados ou manuseio de materiais perigosos.

3.8 Comparativo entre as Normas, Cartilhas e Códigos de Boas Práticas

Cada norma e cartilha possui ênfase em determinado tema relacionado a demolição, e definem as recomendações para o projeto, os procedimentos para uma atividade segura, os aspectos burocráticos e de licenciamento. A seguir, no Quadro 3.2 foi realizado um comparativo entre as técnicas abordadas nas Normas e Cartilhas estudadas, e é possível observar que a norma da Inglaterra (BS 6187:2011) se apresenta de forma mais completa. Não obstante, a norma britânica é apresentada como referência para as demais e também para diversos trabalhos acadêmicos.

As outras normas, cartilhas e códigos de boas práticas também possuem detalhes importantes para realizar o projeto de demolições. Portanto, o ideal para conceber o projeto e executar atividades de demolição é utilizar todas estas referências e compor o planejamento de forma completa.

Quadro 3.2: Comparativo entre Normas, Cartilhas e Códigos de Boas Práticas de Demolição

PONTOS ABORDADOS		NBR Brasil 5682/1977	BS Inglaterra 6187/2011	Code of Practices Australia 2016	Code of Practices China 2004	29 CFR 1926 Subpart T EUA 2016	Demolition Nova Zelândia 2013
TÓPICOS	Definições	✓	✓	✓	✓		✓
	Planejamento/ Projeto		✓	✓	✓		✓
	Pré-Demolição	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Licenciamento	✓					✓
	Segurança e Saúde	✓	✓	✓	✓		✓
	Desligamento das linhas de Distribuição e Tubulações	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Requer Projetos Estruturais	✓	✓	✓	✓		✓
	Recomendações para o Projeto de Escoramento		✓		✓		✓
	Plano Contra Vibrações e Choques	✓	✓	✓	✓		✓
	Plano de Gestão de Resíduos		✓		✓		✓
	Pós Demolição				✓		
TÉCNICAS	Demolição Manual	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Demolição Mecânica	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Bola de Demolição	✓			✓	✓	✓
	Demolição por Explosivos	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Tração de cabos puxadores	✓	✓	✓	✓		✓
	Métodos Químicos		✓				
	Métodos Térmicos		✓		✓		
	Hidro Demolição		✓		✓		

PONTOS ABORDADOS		NBR Brasil 5682/19 77	BS Inglaterra 6187/20 11	Code of Practices Australia 2016	Code of Practices China 2004	29 CFR 1926 Subpart T EUA 2016	Demolition Nova Zelândia 2013
ELEMENTOS ESTRUTURAIIS	Estruturas Monolíticas	✓	✓	✓	✓		
	Pré-Moldados	✓	✓	✓	✓		
	Paredes de Estruturais	✓	✓	✓		✓	✓
	Concreto Protendido	✓	✓	✓	✓		✓
	Arcos	✓	✓	✓			
	Pontes	✓	✓				
	Chaminés	✓	✓	✓		✓	
	Torres	✓	✓				
	Lajes	✓	✓	✓	✓	✓	
	Vigas	✓	✓		✓	✓	
	Pilares	✓	✓		✓	✓	
	Varandas e Marquises	✓	✓		✓		✓

Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

4 PROJETO DE DEMOLIÇÕES

Para realizar um projeto e definir estratégias de trabalho é necessário planejar, avaliar e dimensionar as atividades previamente sua execução. Costa (2009) concluiu que a atividade de demolição deve ser planejada semelhantemente a construção, definindo o trabalho que será realizado, a sequência, os materiais empregados e a metodologia a se utilizar.

Desta forma, para se demolir, primeiramente o projeto de demolição deve contemplar as seguintes etapas que foram reunidas a partir das pesquisas de Martins (2017), Rodrigues (2014), de Sá (2013) e Costa (2009)

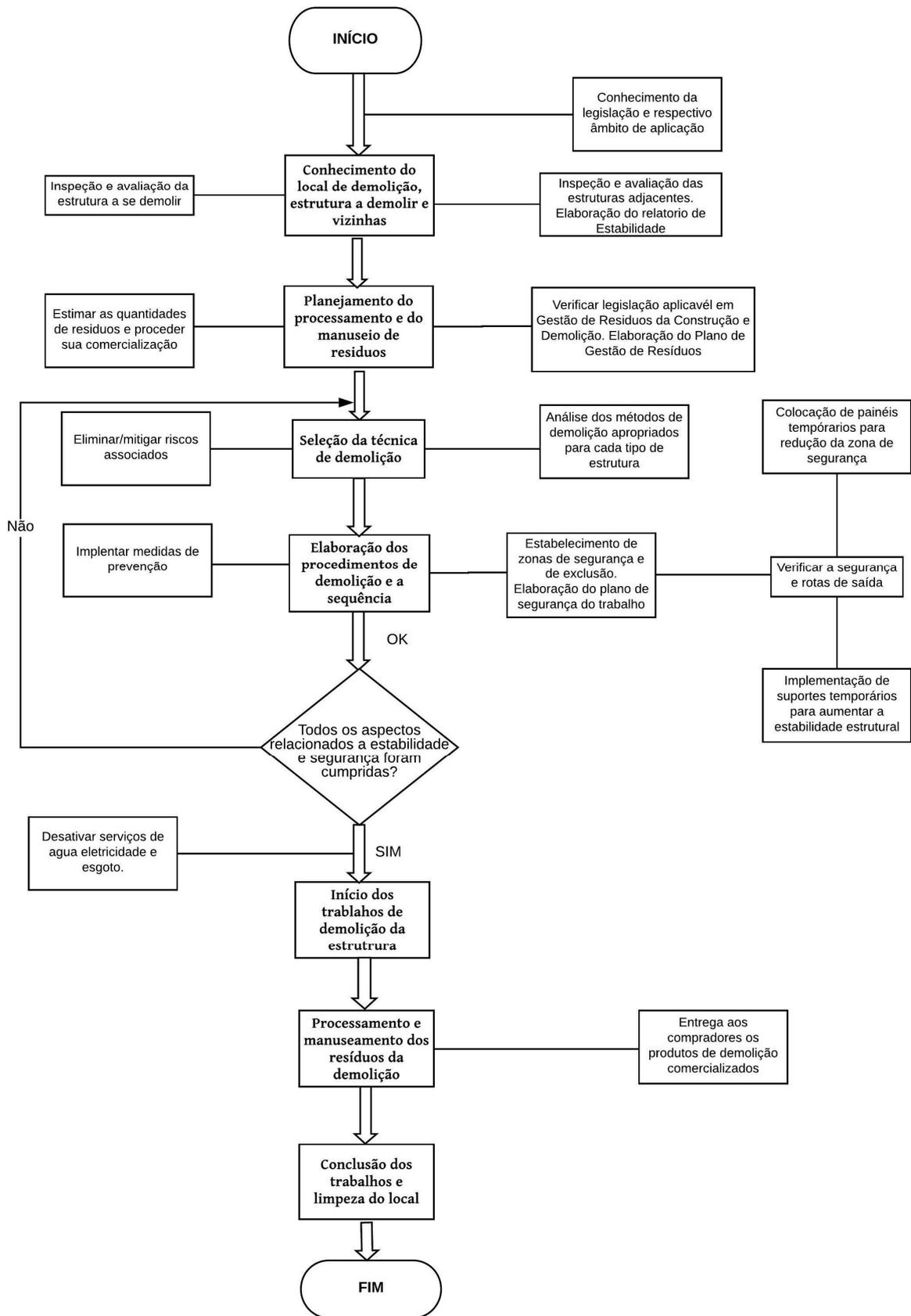
- Vistoria completa do local;
- Planta de situação mostrando as distâncias com os edifícios vizinhos e construções especiais (hospitais, escolas, patrimônio histórico);
- Realizar o registro fotográfico da situação de edifícios antes de iniciar as atividades;
- Reunir a confirmação por escrito das empresas e concessionárias responsáveis pela desativação de serviços públicos como água, energia e gás;
- Realizar o licenciamento nos órgãos públicos, especificando a atividade a ser realizada, o objetivo final, os responsáveis técnicos e solicitar apoio em situações de risco;
- Contratar seguros que resguardem danos aos edifícios vizinhos, maquinário e aos empregados públicos e terceirizados;
- Cronograma Físico – Financeiro;
- Contrato e acordos relativos ao horário de execução das atividades, período de trabalho, responsabilidades jurídicas e dados dos proprietários vizinhos;
- Reunir os projetos de arquitetura, fundações e estrutural, com detalhes sobre os elementos especiais como pré-moldados e protendidos;
- Informar-se dos usos anteriores e o histórico da edificação;
- Levantar as restrições específicas impostas ao método de trabalho e manuseio de materiais perigosos;
- Memorial Descritivo constando os métodos de demolição que serão empregados, tipo de equipamento, instruções de uso e a sequência de execução;
- Plano de Saúde e Segurança (PCMAT) com as medidas preventivas, proteções de fachada, zonas de segurança definidas, estruturas de contenção, tapumes, galerias e andaimes;

- Prover um plano de rotas de tráfego de materiais e pessoas e os pontos de interdição;
- Plano para Gestão de Resíduos, incluindo a previsão da quantidade para remoção, tipos de materiais, remoção e armazenamento temporário, e destinação para aterros, reuso ou reciclagem;
- Definir a sequência das atividades e ordem de remoção de elementos;
- Prever a remoção de elementos frágeis, vidros, sanitários;
- Dimensionar medidas provisórias de estabilidade como escoras e suportes de contenção de modo a evitar o colapso prematuro e
- Definir os pontos de enfraquecimento prévio e as devidas proporções.

Costa (2009) apresentou um fluxograma, como mostrado na Figura 4.1 com as etapas do projeto de demolições em que se deve utilizar critérios de decisão para dimensionar estruturas provisórias de apoio e a escolha do método adequado.

Este fluxograma divide as etapas do projeto de demolição, sendo que primeiramente envolve o conhecimento do local, levantamento, das condições do entorno, sensibilidade do meio envolvente, em seguida o levantamento quantitativo com a previsão da produção de resíduos e a gestão. Em seguida após a avaliação das exigências do empreendimento e as condições da estrutura é definido a técnica a se empregar e elaborado o plano sequencial das atividades, dessa forma sendo possível avaliar os riscos, as medidas extraordinárias de estabilidade necessárias e se estas serão suficientes a condição de projeto. Nessa etapa é essencial a análise estrutural dos efeitos ocasionados ao se aplicar a técnica e a sequência determinada em projeto. Se todos os requisitos de segurança forem atingidos, o projeto executivo da demolição poderá ser aprovado, caso contrário deve-se redefinir a sequência, a técnica ou ambos. A execução deve seguir estritamente as definições de projeto, e ainda é necessário realizar o controle dos efeitos previstos, sendo documentado qualquer alteração do comportamento ou danos excepcionais.

Figura 4.1: Fluxograma do Projeto de Demolições



Fonte: Costa, 2009 (adaptado).

4.1 Métodos de Análise de Estabilidade

Atualmente, ainda existe um número reduzido de pesquisas que abordam o projeto, técnicas e estudos do comportamento estrutural e estabilidade de edifícios em atividades de demolições. Os estudos de casos realizados por incorporadoras, apontam o Método do Elemento Aplicado, desenvolvido por Tagel-Din e Rahman (2006), como o mais indicado para a análise de estruturas em colapso.

Entretanto, tal método é aplicado por meio da simulação do software de modelagem tridimensional *Extreme Loading® Technology* (ELT), da empresa *Applied Science International* (ASI). Devido à ausência de recursos financeiros para adquirir o software, são apresentados a seguir os conceitos, as atribuições, a modelagem estrutural e alguns relatos de casos compartilhados pelas empresas que o utilizaram como ferramenta para o projeto de demolição. Também é discutida uma aplicação da análise simplificada segundo o Método de Caminhos Alternativos de Cargas e Método da Força de Amarração, utilizados para verificação da possibilidade de ocorrência do colapso progressivo.

4.1.1 Método do Elemento Aplicado

A simulação por meio de recursos computacionais é uma ferramenta importante para analisar estruturas em condições extremas como sismos, impactos, explosões ou colapso progressivo como é o caso da demolição (RODRIGUES, 2014).

A Método do Elemento Aplicado foi desenvolvido por Tagel-Din na Universidade de Tóquio para analisar o comportamento de estruturas em terremotos. Para a validação do método foram feitos vários testes numéricos e os resultados foram satisfatórios, pois a simulação obteve resultados realistas dos danos causados (RODRIGUES, 2014).

A avaliação e simulação numérica do comportamento dinâmico dos elementos na demolição deve ser realizada com a modelagem de elementos estruturais e não estruturais, analisando o risco da aplicação das cargas explosivas, a separação e colisão dos elementos durante a queda dos detritos (TAGEL-DIN e RAHMAN, 2006).

O Método de Elemento Aplicado (MEA) é derivado do Método de Elementos Finitos (MEF) e o Método de Elementos Discretos (MED). A junção das análises de deformação e continuidade obtida pelo Método dos Elementos Finitos e a movimentação e separação de partículas do Método dos Elementos Discretos, permite analisar o comportamento estrutural de estruturas em colapso gerando rótulas plásticas em tempo real, verificar a flambagem, pós-

flambagem, propagação de trincas, ação de membranas, redistribuição das tensões e efeito P-delta. A Figura 4.2 mostra a modelagem computacional em paralelo com a estrutura real, confirmando o comportamento previsto pelo software.

Figura 4.2: Modelagem Computacional do Mecanismo de Demolição



Fonte: GOMES, 2010.

Segundo Tagel-Din e Rahman (2006), o Método do Elemento Aplicado (MEA) é ideal para a simulação do colapso progressivo pois é capaz de representar grandes deslocamentos, a discretização dos componentes com limite resistente das tensões, o contato e a separação de elementos. Já no Método de Elementos Finitos a conectividade é prevista pelos nós e, portanto, não há compatibilidade adequada quanto a elementos que foram fissurados ou separados. A Tabela 4.1 mostra um comparativo entre os atributos do MEF e MEA.

Quadro 4.1: Comparação entre o MEF E MEA

Atributo	Método dos Elementos Finitos	Método dos Elementos Aplicados
Ligação	Nós (juntas)	Faces dos elementos
Conectividade Parcial	Não permitido. Os nós são compartilhados pelos elementos	Permitido. Os elementos podem se encontrar parcialmente pela face
Ligação entre diferentes materiais	Precisa de elementos de transição	Não necessitam de elemento de transição
Armaduras	Elementos especiais	Molas de conexão
Rachaduras em materiais frágeis	Difícil de localizar	Geradas automaticamente
Separação dos Elementos	Elementos não podem ser separados	Separação automática

Fonte: TAGEL-DIN E RAHMAN (2006)

Na modelagem dos elementos pelo Método de Elementos Aplicados são consideradas molas entre as partes, formando a conectividade entre elas, quando as faces adjacentes excedem o limite (específico para cada material) as molas são removidas e formam a reação em cadeia. Quando concreto é submetido a tensões de compressão é realizada a análise não-linear e quando é submetido a tração são adotadas relações lineares de tensão extensão até a ruptura das molas (RODRIGUES, 2014). Na Figura 4.3 é mostrado o comparativo entre o Método de Elementos Finitos e o Método do Elemento Aplicado quanto à conectividade das partículas da estrutura.

A seguir são apresentados alguns estudos de casos que utilizaram principalmente a técnica por explosivos e a modelagem tridimensional segundo o Método dos Elementos Aplicados. Nestes casos foram utilizados o software de modelagem tridimensional *Extreme Loading*®

Technology (ELT), da empresa *Applied Science International* (ASI) para analisar os efeitos da demolição.

4.1.1.1 Estádio Castelão – Fortaleza

O Estádio Governador Plácido Castelo foi inaugurado em 1973, mas devido ao local ser escolhido para ser uma das sedes da Copa do Mundo de Futebol de 2014, em 2012 foi totalmente remodelado.

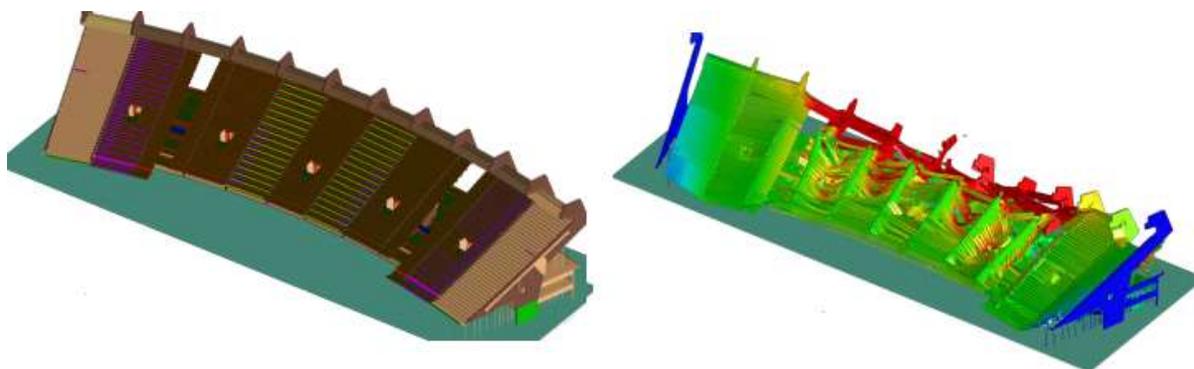
No projeto se preservou 70% das arquibancadas internas e cerca de 20% foi demolida por explosivos, durando apenas 9 segundos. A alta precisão da demolição fez com que a atividade ganhasse o prêmio internacional *World Demolition Awards* em Amsterdã.

Para a demolição do Estádio do Castelão a empresa Fabio Bruno Construções utilizou um software da ASI chamado *Extreme Loading® for Structures* que simula os efeitos não lineares da demolição e gera animações próximas ao resultado real.

Foi necessário um dimensionamento preciso, pois parte da estrutura, com três andares e apenas treze metros distante dos pontos demolidos, deveria permanecer. Portanto foram simuladas cinco possibilidades de locais em que os explosivos seriam instalados com o objetivo de criar a rotula de giro em regiões exatas. Também foram verificadas a intensidade de vibração e ruídos devido à queda dos materiais.

A Figura 4.4 mostra a modelagem tridimensional e a simulação de colapso da arquibancada do Estádio Castelão.

Figura 4.3: Modelagem 3D da demolição da arquibancada - Estádio Castelão



Fonte: ASI, 2014.

4.1.1.2 Hospital Niterói – Rio de Janeiro²

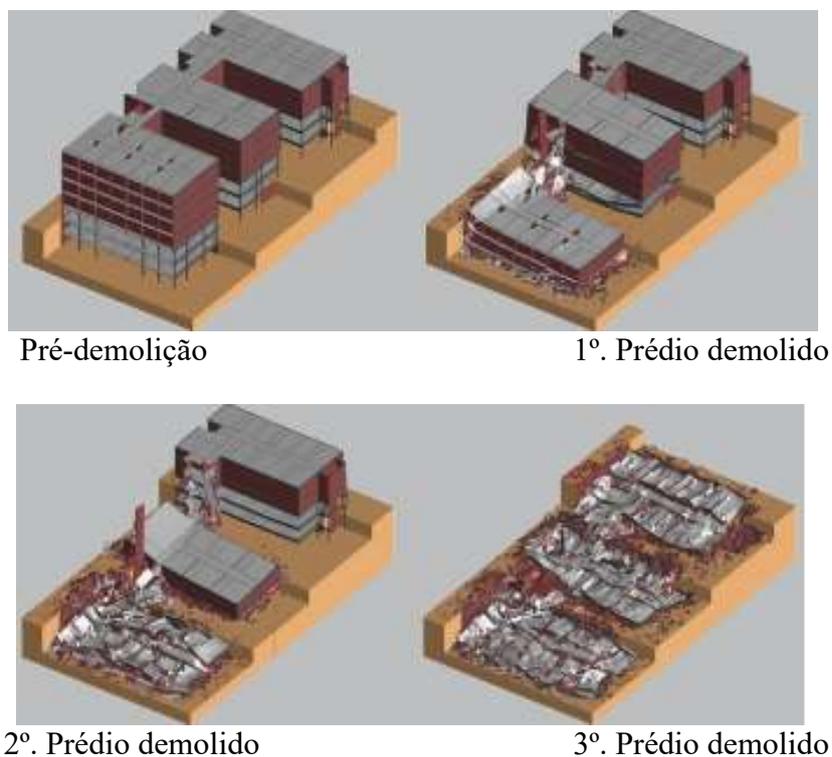
O edifício do Hospital Santa Mônica foi demolido em 2012, a estrutura contava com três edifícios de 7, 6 e 5 andares respectivamente que estavam fora de uso por mais de dez anos.

A proximidade com as edificações vizinhas, cabos de energia e uma via de tráfego movimentada requereram que o projeto fosse minuciosamente planejado. Apesar disso a incorporadora optou pela técnica de implosão.

O maior desafio de projeto foi prever a sequência do acionamento de explosivos para que os detritos caíssem em direção ao centro do edifício. Para tanto alguns cenários foram simulados com o software *Extreme Loading*® com objetivo de definir quais pilares seriam inseridos explosivos, o *delay* e a sequência de acionamento das cargas.

A Figura 4.5 mostra a simulação de colapso na demolição por explosivos do Hospital Santa Mônica pelo software *Extreme Loading*®.

Figura 4.4: Simulação da Demolição do Hospital Santa Mônica pelo software Extreme Loading®



Fonte: Retirado de: www.appliedscienceint.com/wp-content/uploads/2014/08/Case-Study-Niteroi-Hospital-03opt.pdf. Acesso em: fev. de 2018.

² Disponível em: www.appliedscienceint.com/wp-content/uploads/2014/08/Case-Study-Niteroi-Hospital-03opt.pdf

A demolição foi concluída com sucesso e não foram observadas trincas nas edificações adjacentes, nem danos aos cabos elétricos. Também foi observada uma baixa vibração, foi apurado o valor de 3 mm/s pelos sismógrafos ficando dentro dos limites estabelecidos.

4.1.2 Método dos Caminhos Alternativos de Cargas (MCA)

O método descrito anteriormente necessita de um software de modelagem estrutural, no qual nem sempre é possível seu uso, portanto, a seguir são descritos dois métodos utilizados na verificação do colapso progressivo.

Estes métodos são indicados neste trabalho para realizar a verificação em casos excepcionais com risco de instabilidade. Apesar de não haver associação direta nas bibliografias estudadas, é permitido o uso para essa finalidade uma vez a demolição é o colapso controlado de elementos e, portanto, os efeitos ocorridos são semelhantes ao colapso deliberado, com diferença na previsibilidade e direcionamento dos danos.

O colapso progressivo é a propagação de um dano desproporcional a causa inicial. As estruturas com maior robustez estrutural são menos susceptíveis ao colapso progressivo (ELLINGWOOD et. al., 2007). Portanto o dimensionamento de elementos estruturais com princípios de continuidade, redundância e maior ductilidade dos elementos podem garantir que durante a demolição, se realizem atividades com maior segurança, caso contrário é necessário garantir um grau de controle e cuidado no dimensionamento de estruturas provisórias de apoio.

Os principais desafios para descrever o comportamento da estrutura considerando o colapso progressivo é realizar a análise da reação em cadeia, que atua de forma variável e inesperada bem como o comportamento dinâmico da estrutura e das ações de impacto.

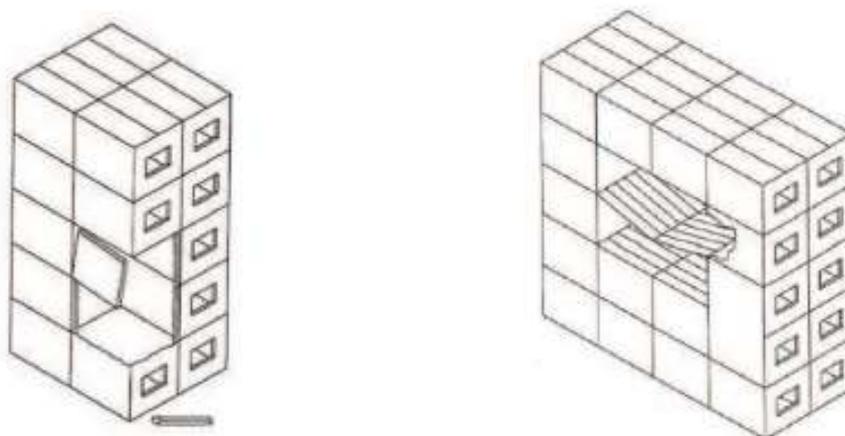
Contudo um projeto dimensionado com o método direto, tanto pelo aumento da capacidade resistente da seção (Método da Resistência Local Específica) como pela definição de caminhos alternativos de esforços (MCA), possuirá seções que suportarão o aumento dos esforços com a perda acidental e instantânea de um elemento estrutural.

O Método dos Caminhos Alternativos de Cargas é baseado na redistribuição dos esforços internos e restabelecimento do equilíbrio após a retirada do elemento estrutural. Para que esta redistribuição ocorra é necessário que o elemento remanescente possua o princípio básico da continuidade para garantir a redundância estrutural. Entretanto, o documento UFC 4-023-03

(DEPARTMENT OF DEFENSE, 2009) recomenda que esta análise seja realizada por meio de um modelo tridimensional da estrutura.

El-Debs (2000) descreveu o comportamento de estruturas pré-moldadas que perdem um de seus apoios, conforme mostrado na Figura 4.6 e que haverá comportamento semelhante em estruturas moldadas *in loco*. No primeiro caso a estrutura perdeu um dos apoios de canto e a estrutura remanescente passa a se comportar como balanço, e, portanto, ocorre a inversão de momentos e a armadura negativa passa a resistir os esforços, alterando os caminhos de cargas da viga. Já no segundo caso houve uma perda do pilar intermediário ou central e a estrutura se comporta como membrana, redistribuindo os esforços na viga até a transmissão para o próximo apoio, portanto deve-se verificar a resistência das armaduras positivas após o incremento dos esforços e conseqüentemente do momento fletor. Caso não sejam suficientes é necessário dimensionar estruturas provisórias de apoio.

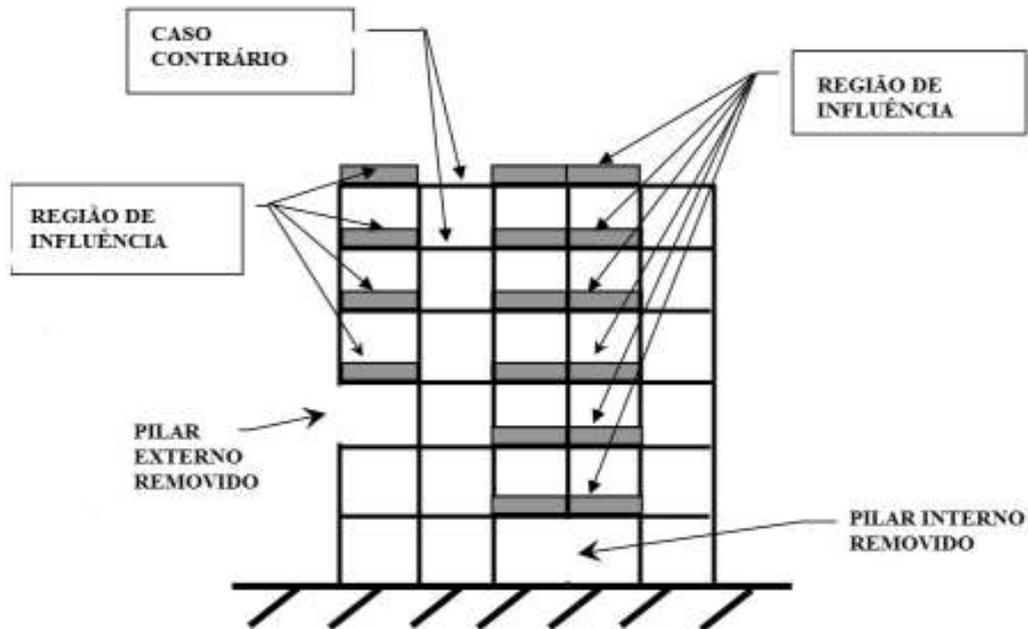
Figura 4.5: Comportamento estrutural de balanço e membrana em estrutura de concreto pré-moldado



Fonte: EL DEBS, 2000.

Na demolição de pilares, os andares superiores suportados por ele sofrem influência. Na Figura 4.7 mostra a área de influência em um edifício com a remoção de pilares externos e pilares internos.

Figura 4.6: Regiões de influência na retirada de pilares



Fonte: UFC 4-023-03 (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2009).

4.1.3 Método da Força de Amarração

Este método conta com a análise direta da resistência local verificando se as armaduras permanecerão em continuidade e comportarão como tirantes após a remoção dos pilares, redistribuindo os esforços. Para que isso ocorra a estrutura deve possuir armaduras adicionais para o colapso progressivo.

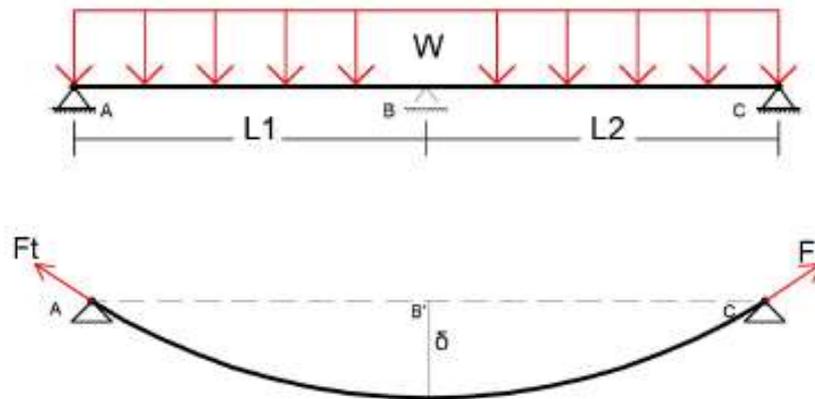
Para verificar se as tensões serão distribuídas e armadura resistirá a perda de um dos apoios Felipe (2017) estabelece que o projetista deve realizar as verificações descritas a seguir:

Primeiramente, como mostrado na Figura 4.8, é verificado o trecho da estrutura com os apoios A, B, C e o carregamento “w” (definido pela equação 4.1), em seguida é retirado o apoio B e analisado a deformada e força de tração F_t (Definido pela equação 4.2).

Em que:

$$w = 1,2 Fg + 0,5 Fq \quad \text{em } kN/m^2 \quad \text{Eq. (4.1)}$$

Figura 4.7: Perda do apoio B e posição deformada



Fonte: FELIPE, 2017.

Então, faz-se o equilíbrio dos momentos em B' e, portanto (equação 4.2):

$$F_t = \frac{w \cdot (L1 + L2)^2}{8 \cdot \delta} = R_u \quad \text{Eq. (4.2)}$$

Em que:

L1 e L2 = comprimento dos vãos

δ = deformação

R_u = Resistência de amarração requerida

Então a armadura necessária para garantir a continuidade é dada de acordo com a equação 4.3:

$$A_s = \frac{F_t}{f_{yd}} \quad \text{Eq. (4.3)}$$

Em que:

A_s = área de aço necessária para garantir a continuidade

F_t = Força de tração

f_{yd} = resistência de cálculo ao escoamento

4.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foi apresentado que algumas etapas de projeto são comuns a diversos tipos de edificações, no entanto cada projeto é único, e devem ser avaliadas as necessidades exigidas pela técnica ou devido complexidade da construção.

Portanto o fluxograma apresentado no início do capítulo esclareceu os pontos de decisão e destacou as etapas que necessitam de verificações excepcionais. Os critérios principais podem ser divididos em seis tópicos: análise da estrutura e entorno, manuseio dos resíduos, seleção da técnica, análise da estabilidade, execução e limpeza.

Observou-se também que quanto a análise da estabilidade o método mais adequado para o estudo de estruturas em colapso foi o Método do Elemento Aplicado (MEA), pois este conta com os conceitos combinados dos Método dos Elementos Finitos e o Método dos Elementos Discretos, sendo possível considerar tanto as deformações quanto a discretização dos elementos. Com base nisso, os grandes empreendimentos que envolvem a demolição no mundo, e que requerem uma precisão no conhecimento dos efeitos ocorridos durante a demolição utilizam softwares baseados neste método. Já os métodos de Força de Amarração e de Caminho Alternativo de Cargas são utilizados para o cálculo do colapso progressivo e são empregados apenas para a verificação de que a estrutura remanescente poderá redistribuir as cargas e resistir aos esforços ou se é necessário a instalação de medidas provisórias de estabilidade.

5 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES E QUESTIONÁRIOS

Neste capítulo foi apresentado as considerações de projeto para a demolição de três tipos de edificações em concreto armado, sendo: uma residência unifamiliar de dois andares; uma edificação térrea de grandes dimensões; e, um edifício de dez pavimentos. Foram discutidas as possíveis técnicas, particularidades de projeto, detalhes necessários para especificações e as aplicações para cada caso, considerando as recomendações feitas pelas normas, cartilhas e práticas identificadas pelo questionário e, então apresentado uma proposta ao projeto de demolições.

No apêndice B, deste trabalho foi desenvolvido um *check-list* com tópicos gerais para auxiliar no desenvolvimento do projeto de demolições. Também, no apêndice C, foi apresentado um exemplo de memorial descritivo para ser utilizado como modelo para descrição das etapas da demolição.

5.1 Questionários

Duas empresas especializadas em demolições no estado de São Paulo e Belo Horizonte responderam um questionário com algumas perguntas (Apêndice A) com intuito identificar as técnicas e normas aplicadas nas atividades de demolição no Brasil, bem como as principais carências quanto a diretrizes técnicas que devem ser desenvolvidas. Foi possível averiguar que as grandes empresas do Brasil estão em constante atualização de suas técnicas e equipamentos, inclusive utilizando tecnologia inovadora, que reduzem os riscos e a presença de operários em espaços restritos.

No entanto, no Brasil, por não haver norma técnica específica e, portanto, ausência de regularização das atividades, existe um número considerável de pequenas empresas sem a qualificação adequada para esse tipo de serviço. Nestes casos, as atividades são realizadas de forma empírica, sem realizar as devidas análises, prevenções e escoramentos necessários.

Foi ressaltada pelas empresas a importância da atualização da norma de demolições; contudo, a falta da expressividade no número de empresas especializadas, faz com que a atividade seja realizada sem o adequado controle e com riscos de ocorrer sinistros na atividade, envolvendo até fatalidades.

Os requisitos legais para se obter o alvará de demolição, solicitados prefeituras brasileiras, se resumem em apresentar o projeto relatando quais paredes ou estruturas seriam demolidas,

conforme o código de obras, garantir a correta destinação de resíduos e os edifícios com mais de dois pavimentos necessitam de uma anotação de responsabilidade técnica (ART) de execução.

As principais técnicas utilizadas pelas empresas para a demolição de edificações em concreto armado foram: a demolição manual, a mecanizada (robôs e com operários), corte com disco diamantado, demolição por argamassa expansiva e, a implosão. A técnica em que se utiliza a bola de demolição, apresentada em diversas cartilhas é apontada pelo Engenheiro Mauricio Minari como já em desuso no Brasil.

5.2 Recomendações Gerais

Existem atividades que são comuns a todos os casos de demolição. Para se iniciar o planejamento da demolição da edificação é necessário verificar as exigências para execução, fatores limitadores e equipamentos disponíveis. Portanto, é preciso realizar o levantamento dos projetos arquitetônico, estrutural e complementares (hidráulico, elétrico, esgoto) da construção existente, realizando o registro fotográfico da estrutura atual, bem como das construções vizinhas e, além disso, descrever o histórico da edificação, suas características físicas e de seus materiais. Após avaliar os projetos e as condições do ambiente é necessário estabelecer a técnica e a sequência das atividades, ou seja, inicia-se o projeto de demolição.

5.3 Escolha da técnica

No Quadro 5.1 foi elaborado com intuito de estabelecer um fator numérico para auxílio na decisão da técnica adequada considerando as particularidades de projeto. Foram pontuadas em escala decrescente as técnicas de demolição de acordo com os principais tópicos a serem analisados durante a demolição, com exceção do fator custo que não foi contemplado nesta pesquisa. A decisão da técnica a se utilizar deve atender as exigências e as prioridades do projeto.

Então o projetista da demolição deve avaliar quais destes tópicos expressam maior representatividade no interesse final de projeto. Exemplificando considerando apenas o fator velocidade a demolição por explosivos apresentará melhores resultados, já considerando apenas que se deseja o reaproveitamento essa técnica seria a menos vantajosa.

Caso se queira avaliar as técnicas combinando as características é possível definir um coeficiente de representatividade para as características analisadas, definidos pela equação 5.1.

$$C = \alpha M_{pi} + \sum \beta_i M_{qi}$$

Eq. 5.1

Sendo: C = fator de comparação

β =coeficiente para fator secundário a critério do projetista

α = coeficiente estabelecido à critério do projetista para fator principal

M_p = fator principal

M_{qi} = fatores secundários

Exemplificando caso se queira executar a demolição com intuito principal de reaproveitar os materiais retirados, contudo com certa velocidade, podemos definir o coeficiente de 1,3 para multiplicar a principal meta e comparar o fator C. Portanto neste caso a demolição utilizando o método térmico (fator C= 13,1) apresenta maiores vantagens.

Após analisar qual técnica possui maior pontuação é necessário verificar as recomendações das normas e cartilhas e se esta atende as exigências de projeto.

Quadro 5.1: Classificação de técnicas

	Velocidade	Reaproveitamento	Segurança (serviço e entorno)	Precisão/ controle de processos	Automação (redução de pessoas na atividade)
Demolição Manual	1	8	5	7	1
Demolição Mecânica	7	4	6	4	7
Demolição por cabos puxadores	5	3	2	2	4
Bola de Demolição	6	2	1	1	4
Demolição por explosivos	8	1	3	3	6
Métodos Químicos	2	6	7	5	3

Métodos Térmicos	4	7	4	8	2
Hidro demolição	3	5	8	7	8

Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

5.4 Exemplos de Aplicações

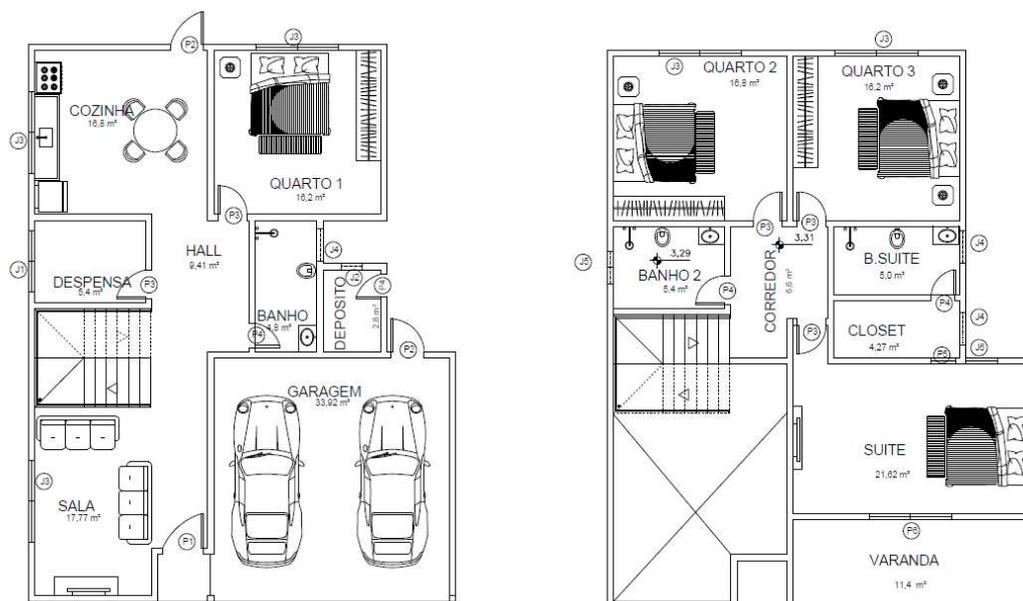
Aqui são apresentados exemplos de edificações em concreto armado e a estratégia para a elaboração do plano/projeto de demolição.

5.4.1 Residência Unifamiliar dois andares

5.4.1.1 Dados da obra

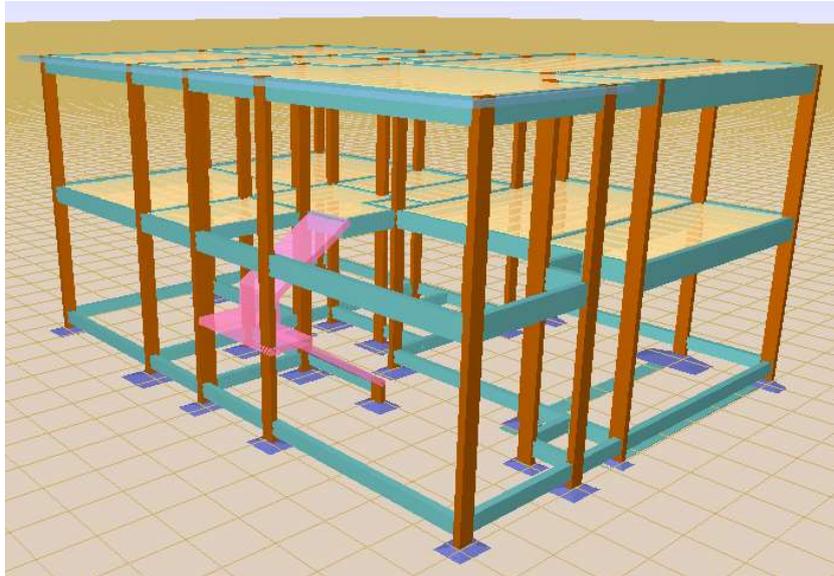
O projeto em questão é uma residência unifamiliar de dois andares com total de 252,40 m² construídos e terreno com dimensões de 12 x 30 metros ou 360 m². O primeiro pavimento possui 125,40 m² e o segundo 127,00 m², ambos com 2,80 m de altura. Os afastamentos laterais são de 1,50 metros, recuo frontal de 3,00 metros e ao fundo 13,40 metros. Uma das paredes da garagem são coincidentes ao muro de divisa e as lajes são do tipo treliçadas, ou seja, armadas em uma única direção. A Figura 5.1 apresenta a planta baixa da edificação e a Figura 5.2 mostra modelagem tridimensional da estrutura para uma concepção visual da extensão da demolição da estrutura, utilizando o software CYPECAD® 2017.

Figura 5.1: Planta baixa edificação unifamiliar de 2 pavimentos



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 5.2: Modelagem tridimensional da estrutura de uma residência unifamiliar com CYPECAD® 2017



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

5.4.1.2 Recomendações

A ABNT NBR 5682:1977 classificava essa construção como colada e confinada, pois, em uma das dimensões a distância com a linha de divisas era inferior a duas vezes a altura da edificação e em outra existia a divisa com o terreno. Para este caso, a norma recomendava que a demolição fosse realizada por meio de técnicas manuais ou por bola de demolição.

Como a técnica por bola de demolição estava em desuso e, necessitaria de pelo menos seis metros de afastamento da cabine de operação do guindaste até a estrutura, esta opção tornou-se inviável. Observou-se também, que essa técnica era indicada inadequadamente para estruturas coladas, uma vez que a operação da bola de demolição não era totalmente controlável e precisa, e que provavelmente acarretaria danos nas estruturas adjacentes.

Portanto, a demolição manual seria a alternativa mais adequada para este caso, devido a sua baixa complexidade, a necessidade do desmantelamento preciso e as dimensões da edificação serem relativamente pequenas.

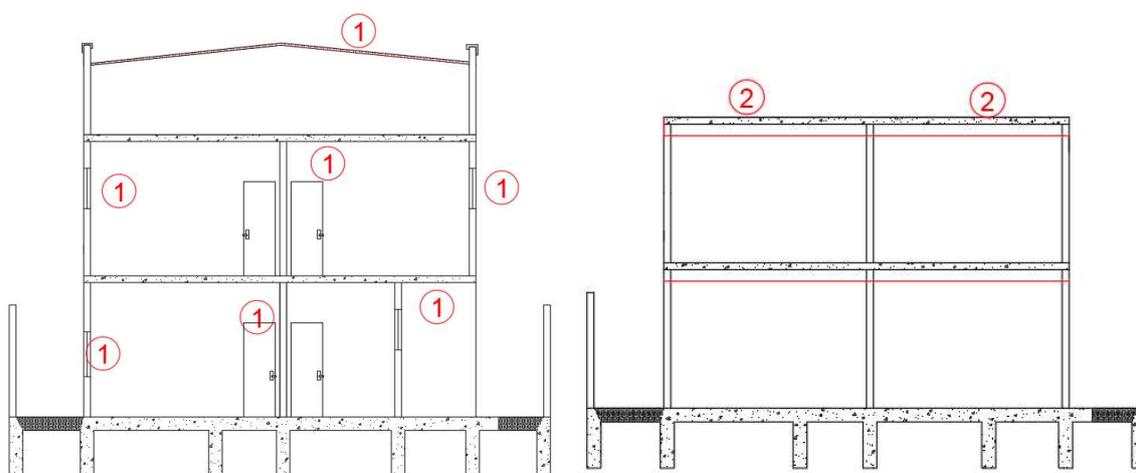
Então, após os trabalhos preparatórios, a demolição manual seria executada conforme o sistema *Top Down*, elemento a elemento, dispondo da seguinte sequência:

- 1) Remoção das janelas, peças sanitárias, telhas e estrutura de cobertura
- 2) Demolição da alvenaria.

- 3) Demolição das lajes do pavimento superior
- 4) Demolição das vigas do pavimento superior
- 5) Demolição das lajes do primeiro pavimento
- 6) Demolição das vigas do primeiro pavimento
- 7) Demolição da escada de acesso
- 8) Demolição dos pilares

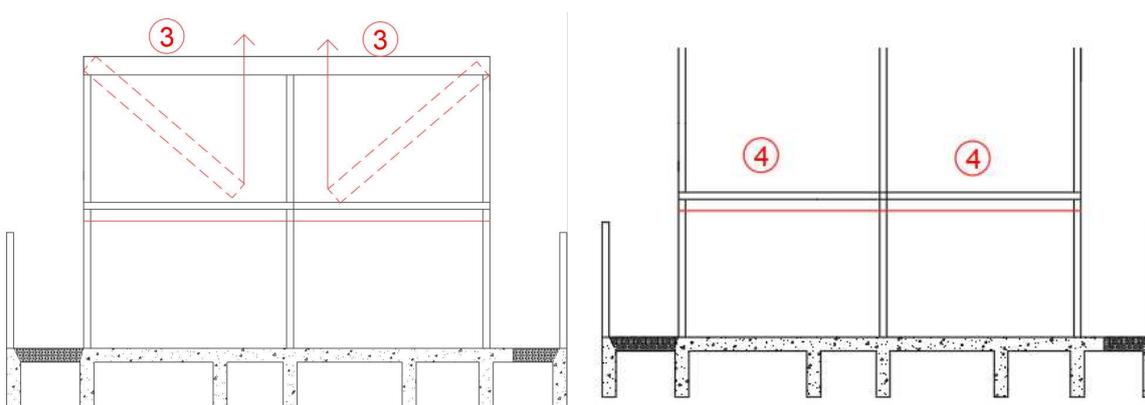
Nas Figuras 5.3, 5.4, 5.6, mostram as definições no projeto com sequência de demolição definida.

Figura 5.3: Detalhamento da sequência da demolição – Etapa 1 e 2



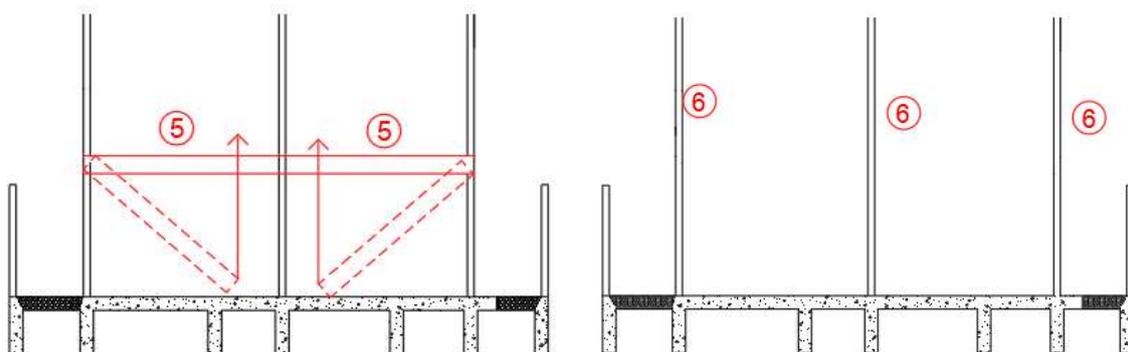
Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 5.4: Detalhamento da sequência da demolição – Etapa 3 e 4



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 5.5: Detalhamento da sequência da demolição – Etapa 5 e 6



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

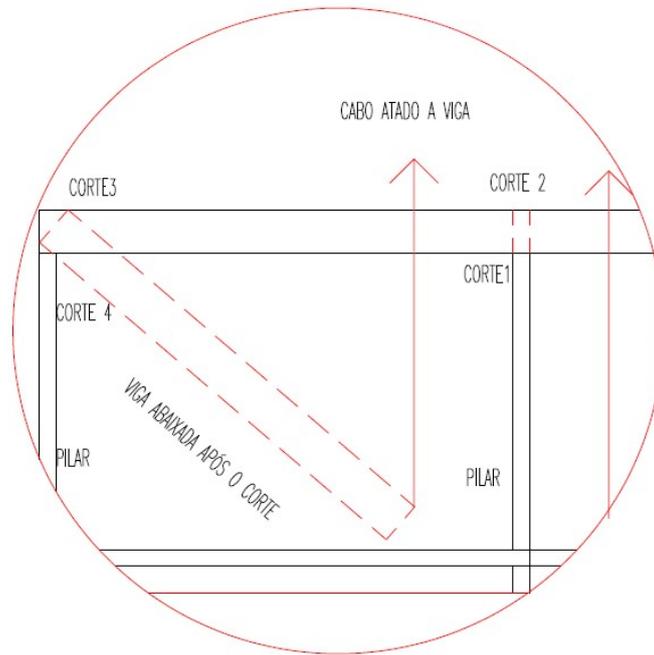
Legenda:

- | | |
|--|--|
| 1- Retirada da cobertura, portas e janelas | 4- Demolição da laje do primeiro pavimento |
| 2- Demolição da Laje do pavimento superior | 5- Demolição das vigas do primeiro pavimento |
| 3- Demolição das vigas do pavimento superior | 6- Demolição dos pilares. |

Para a demolição das lajes, é necessário observar a configuração da armação e quais são as vigas de apoio, então deve-se estabelecer o escoramento temporário e direção dos trabalhos. Como neste caso as lajes são treliçadas e armadas em uma direção, as plataformas de trabalho devem ser instaladas sobre as vigas de apoio perpendiculares as nervuras das lajes. O desmantelamento deve ser iniciado próximo as vigas que a estrutura não está apoiada, e demolir a laje em faixas, como mostrado na Figura 5.7, no qual as setas descrevem o sentido das atividades.

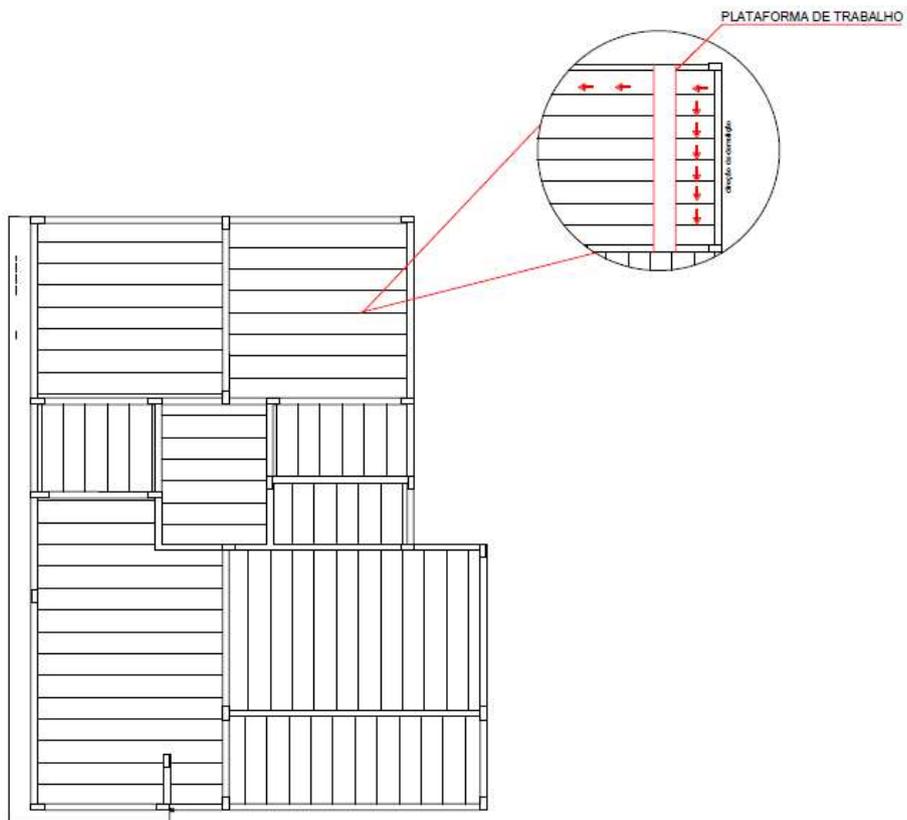
Para a demolição de vigas é necessário atar um cabo suporte, em alguma estrutura superior ou com auxílio de roldanas, para que quando a viga ao ser cortada próximos aos apoios, seja abaixada lentamente. Portanto, o detalhe de projeto para definir a sequência da demolição de vigas, mostrado na Figura 5.6 é essencial, além disso, é necessário relatar no memorial descritivo executivo as etapas (Apêndice C) e realizar uma nota em projeto com as orientações da sequência das atividades.

Figura 5.6: Detalhe da demolição de viga



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

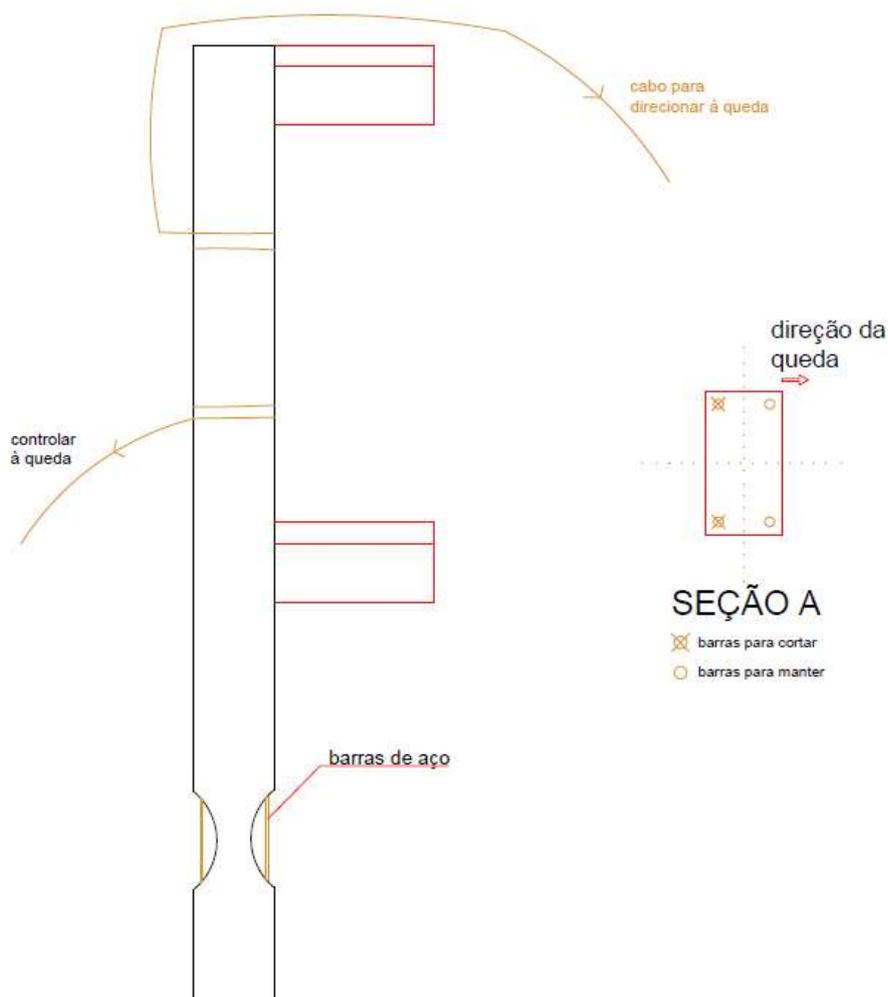
Figura 5.7: Detalhe para demolição de lajes



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Já os pilares, poderiam ser demolidos na etapa final, após o desmantelamento das vigas, lajes (do primeiro e do segundo pavimento) e da escada, seguindo as recomendações relatadas pelas cartilhas e normas. A seção da base dos pilares deve ser reduzida até que se chegue as armaduras e então devem ser atados os cabos de suporte no topo do pilar, para direcionar a queda e controlar seu tombamento. Cada pilar possui em torno de 730 quilos, portanto o controle da queda não pode ser realizado com esforço manual, antes deve ser apoiado em algum suporte seguro, ou se realizar com auxílio de máquinas. E então, em seguida serão cortadas as barras de aço da metade da seção, de acordo com detalhe relatado em projeto, como mostrado na Figura 5.8, com métodos térmicos ou disco de corte. Ao final, após a queda dos pilares, as outras barras restantes devem ser cortadas. As estruturas de fundação deverão ser demolidas quando se realizarem as escavações para a construção de um novo edifício, ou então serem avaliadas para sua reutilização.

Figura 5.8: Detalhe da demolição de pilares



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

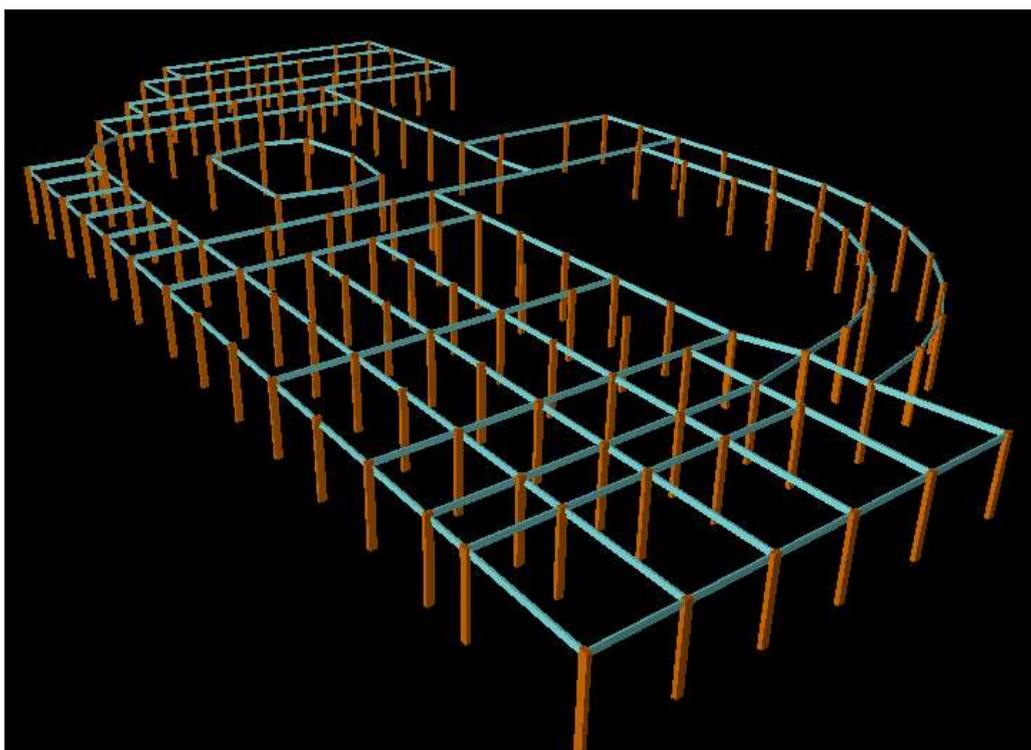
5.4.2 Edificação Térrea Grandes dimensões

5.4.2.1 Dados da Obra

Para a concepção do projeto de demolição de uma edificação térrea de grande proporção foi estudado o modelo, com estrutura típica de um shopping center, com 10.720 m² construídos e as extremidades distantes 83,74 metros em seu comprimento e 164,00 metros largura com 143 pilares de seção transversal de 40 x 70 cm e com 8 metros de altura livre.

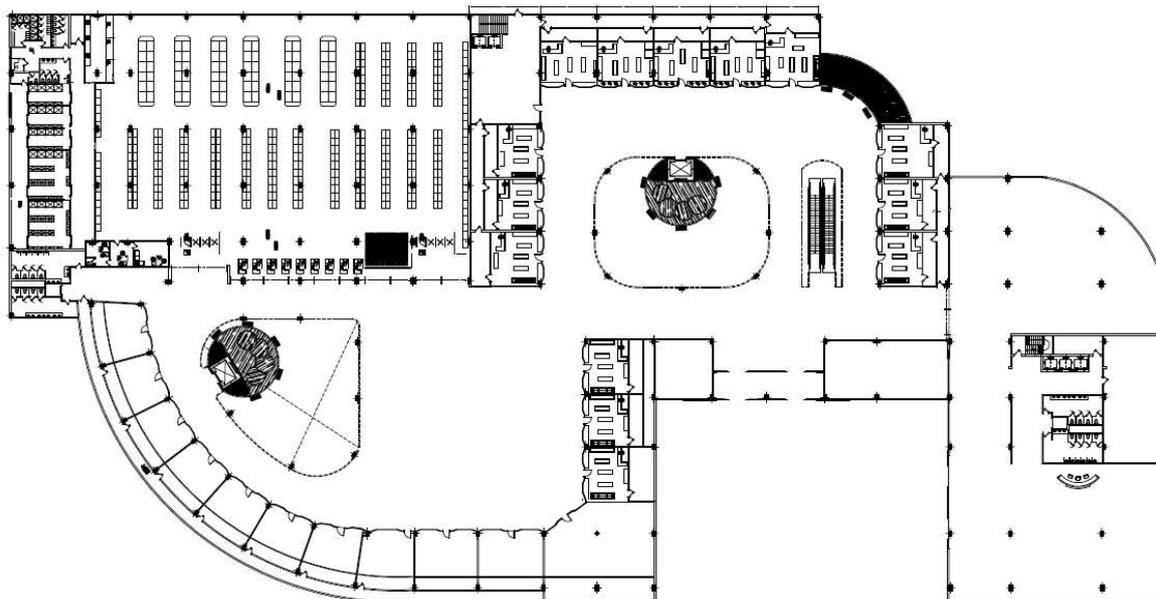
Para este tipo de edificação, devido a sua grande extensão e a equidade das peças produzidas, comumente é utilizado o sistema de estruturas pré-moldadas, que promovem a agilidade de execução e a produção em série. Portanto, em sua demolição também devem ser propostas alternativas ágeis e de alto rendimento, sempre que possível.

Figura 5.9: Modelagem tridimensional da estrutura de uma edificação térrea com CYPECAD® 2017



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 5.10: Planta Baixa Construção térrea de grandes dimensões



Fonte: Retirado de www.bibliocad.com/pt/biblioteca/complexo-comercial_108336/. Acesso: novembro de 2018 (adaptado).

5.4.2.2 Recomendações

A ABNT NBR 5682:1977 caracterizava a construção como isolada, porém ela não se enquadrava em nenhuma das classificações da norma e as recomendações sobre a técnica a se demolir, pois trata-se de uma edificação térrea, abaixo de dois pavimentos e, também, não se trata de uma residência de pequeno ou médio porte. Contudo, considerando a necessidade de uma alta produtividade, o número de elementos estruturais, altura dos pilares e o baixo risco de instabilidade global, poderiam ser aplicadas as técnicas de demolição mecânica, por bola de demolição ou por explosivos.

- Demolição Mecânica

A demolição mecânica seria a mais simples e indicada para este caso, pelos motivos de não haver lajes e, também, um baixo risco de instabilidade global, e seria possível exercer forças de alto impacto de forma segura. Entretanto, ainda seriam necessários cuidados especiais, específicos para as atividades com uso de máquinas, tais como: a definição de uma zona segura e isolamento da área e as limitações do equipamento.

- Uso de Bola de Demolição

O uso da bola de demolição é uma técnica em desuso no Brasil e que proporciona menor controle de operação e, conseqüentemente, dos efeitos proporcionados pelo impacto. O

operador deveria possuir boa experiência e domínio do equipamento podendo lançar a bola em movimentos pendulares e por queda vertical. No entanto, a recomendação principal descrita em normas e cartilhas, relacionado a segurança da operação e que deve ser descrita no projeto, resumia-se ao afastamento entre a cabine de operação, que deve ser de pelo menos 4 metros da estrutura demolida ($1/2$ altura do edifício).

- Demolição com uso de explosivos

A demolição com uso de explosivos poderia ser utilizada neste caso pois proporcionaria uma demolição rápida. Contudo, as atividades preparatórias e burocráticas (de licenciamento e proteção da área) levaria mais tempo e contaria com maior complexidade que a demolição mecânica.

Neste caso seria necessário realizar um estudo juntamente com um engenheiro de minas sobre as cargas de explosivos necessárias e os efeitos de vibração e ondas de choque. Além disso, para a manipulação de explosivos é exigida que seja realizada por uma empresa especializada e com a aprovação do Exército Brasileiro.

O mecanismo ideal de demolição para esse caso é a implosão, no qual as cargas de explosivos são inseridas, por meio de furos em alguns pilares, e que ocasionará o colapso de toda estrutura. Devido a estrutura haver grandes dimensões horizontais, o número de pilares no qual serão inseridas as cargas explosivas são maiores comparadas a um edifício, pois neste caso a queda livre dos elementos auxilia no desmantelamento dos andares inferiores.

Antes da inserção das cargas de explosivos as peças estruturais devem ser umedecidas e logo após o posicionamento dos explosivos deve-se instalar uma manta geotêxtil para mitigar o lançamento de detritos.

Com os cálculos de vibração e ondas de choque é possível descrever em projeto a zona de amortecimento (segurança), lançamento de detritos e de proteção ao público. Os limites desta última zona deve estar a pelo menos 200 metros do edifício.

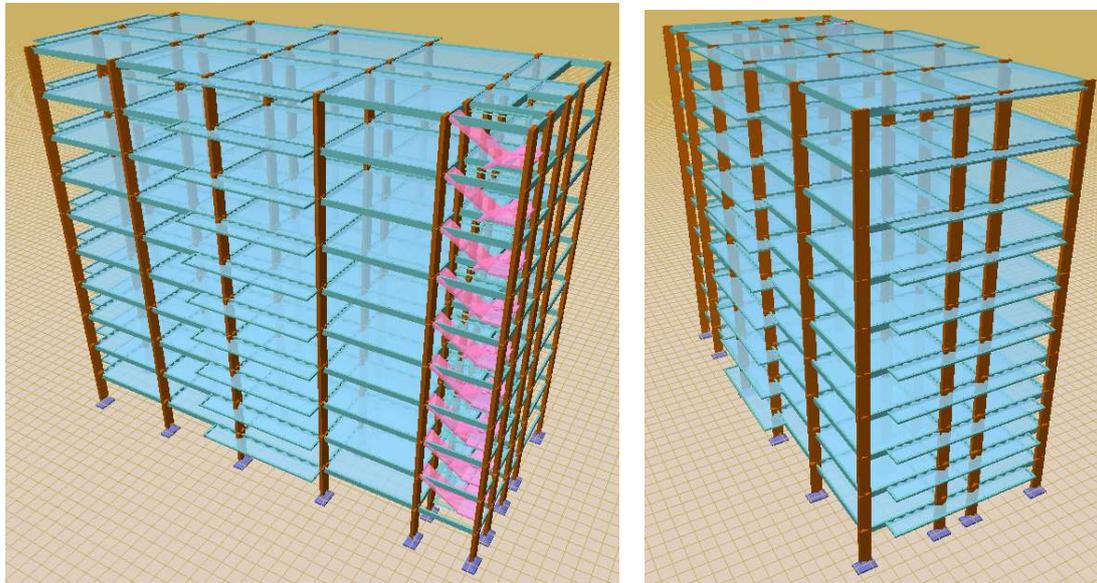
5.4.3 Edifício Múltiplos Pavimentos – 10 andares

5.4.3.1 Dados da Obra

O modelo do edifício proposto é composto por dez andares de 532,90 m² com 34,86 comprimento por 14,85 de largura com altura total de 30 metros, considerando o reservatório. Cada andar possui 8 salas comerciais de 42,80 m², sacadas de 4,14 m², banheiros de 2,36 m²

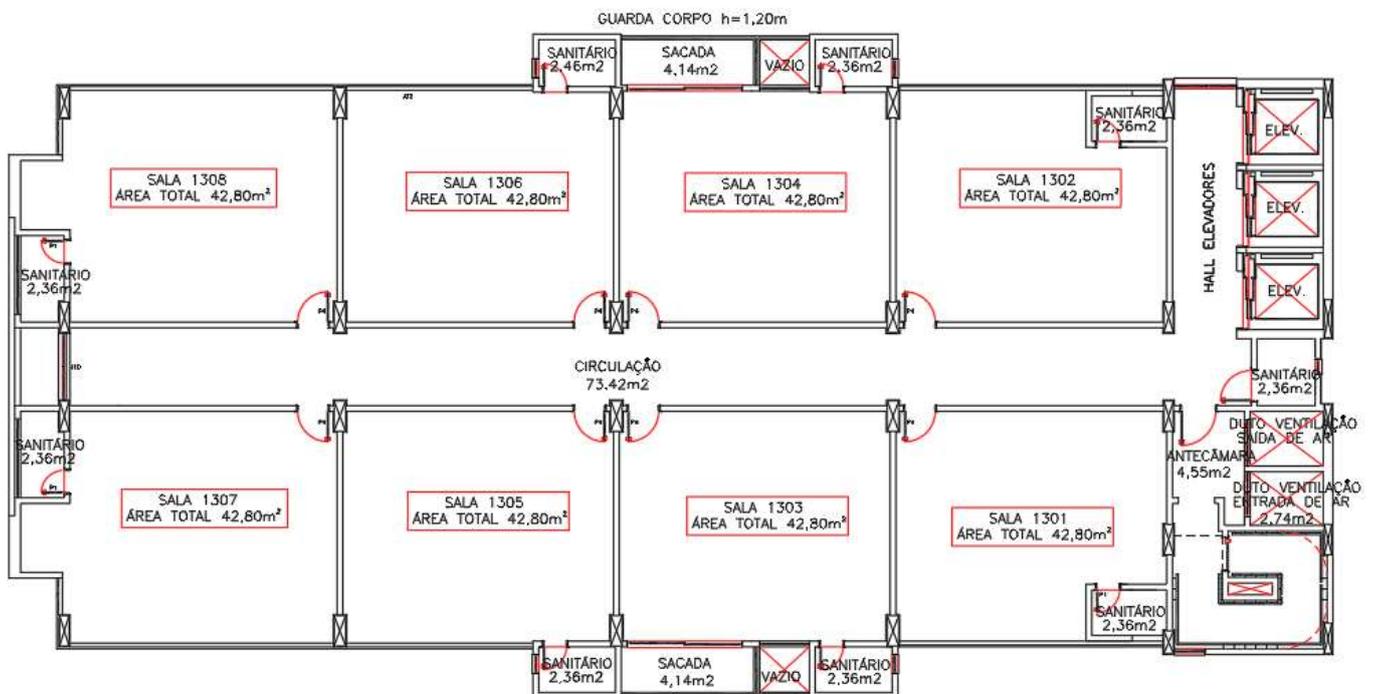
e pé direito de 2,80 metros. Os banheiros e sacadas são localizados em uma estrutura em balanço com 1,38 metros.

Figura 5.11: Modelagem tridimensional da estrutura de um edifício de 10 pavimentos com CYPECAD® 2017



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Figura 5.12: Planta Baixa Edifício



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

5.4.3.2 Recomendações

Segundo a NBR 5682 (ABNT, 1977), para se considerar uma construção isolada, a construção deveria ter pelo menos 60 metros até a linha de divisa. Como normalmente essa distância é menor, consideraremos que a construção é confinada, ou seja, as linhas de divisa estão a uma distância inferior que a metade da altura da edificação. Portanto, neste caso, a ABNT NBR 5682:1977 recomendava que a demolição fosse realizada pelos métodos manuais, mecânicos, por bola de demolição ou por explosivos.

Primeiramente, para todos os casos era recomendável que se retirasse as sobrecargas e elementos não-estruturais como a alvenaria, vidros, louças e a cobertura, por meio da demolição manual, pois desta forma se reduziria o peso próprio da edificação e as cargas de vento em até 35% e, portanto, se reduziriam os parâmetros de instabilidade, proporcionando uma demolição mais segura e com menor possibilidade da ocorrência do colapso progressivo.

Para a demolição de edifícios altos devem-se tomar cuidados excepcionais devido a maior propensão para a instabilidade.

- Demolição manual

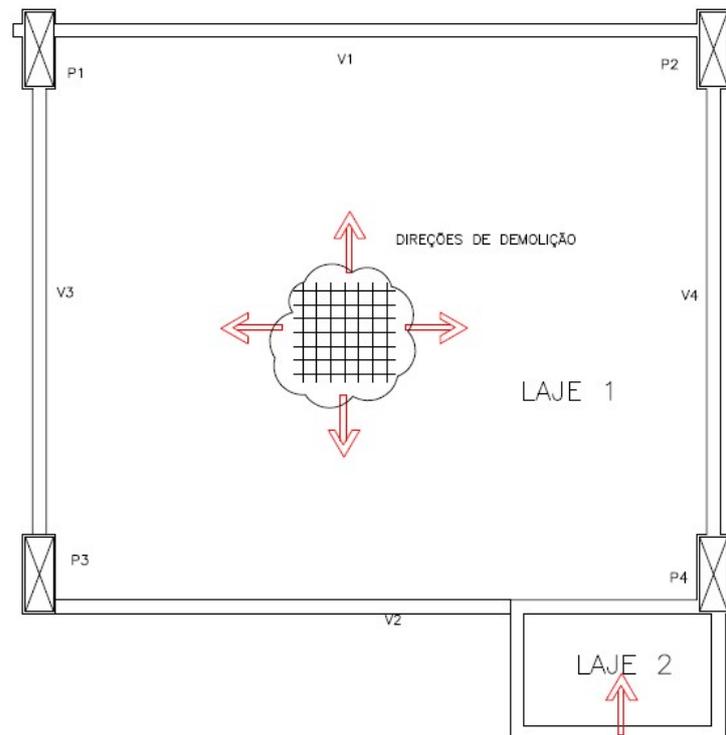
A demolição manual para esse caso seria a técnica que demandaria maior tempo de execução e com trabalhadores frequentemente em risco. Se realizaria o sistema *Top Down* demolindo elemento a elemento, andar por andar. A sequência de demolição deverá ser:

1. Demolição de estruturas em balanço,
2. Demolição de lajes,
3. Demolição das vigas de menores vãos e secundárias, logo em seguida as vigas primárias. Preferencialmente as vigas de borda devem ser realizadas por último e com cuidado para que não caia em queda livre na borda.
4. Demolição de pilares, somente deste pavimento (ao contrário da residência de dois andares que se faz a demolição dos pilares ao final).

Todos os elementos devem ser demolidos conforme a norma e com devido controle, abaixando lentamente os elementos até o piso inferior, para evitar impactos na estrutura.

Como nesse caso as lajes do edifício são maciças e armadas e duas direções, deve ser iniciada ao centro de cada pano de laje e seguindo simetricamente em direção as bordas, como mostrado em detalhe de projeto conforme a Figura 5.13.

Figura 5.13: Detalhe demolição de Lajes (armadas em 2 direções)



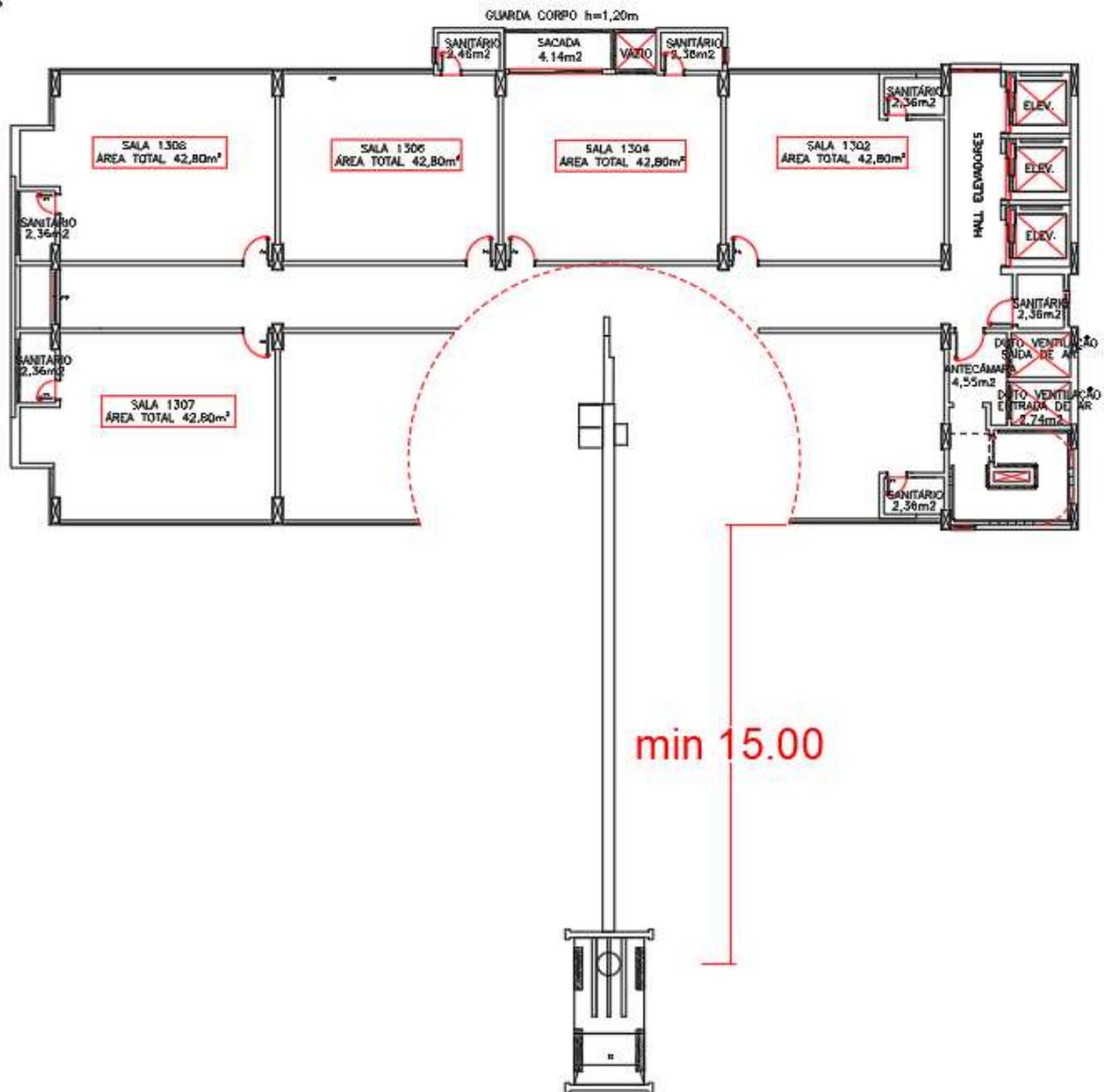
Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Após a demolição deste andar os detritos devem ser transportados até o térreo para que não haja acúmulo de sobrecargas nos pisos.

- Demolição mecânica

A demolição mecânica poderia ser realizada por um equipamento com braço de longo alcance, haja vista que o edifício tem altura inferior a 50 metros. Nesse caso o equipamento fica apoiado no próprio terreno, que deverá estar estável e estar à pelo menos 15 metros de distância ($1/2$ da altura do edifício).

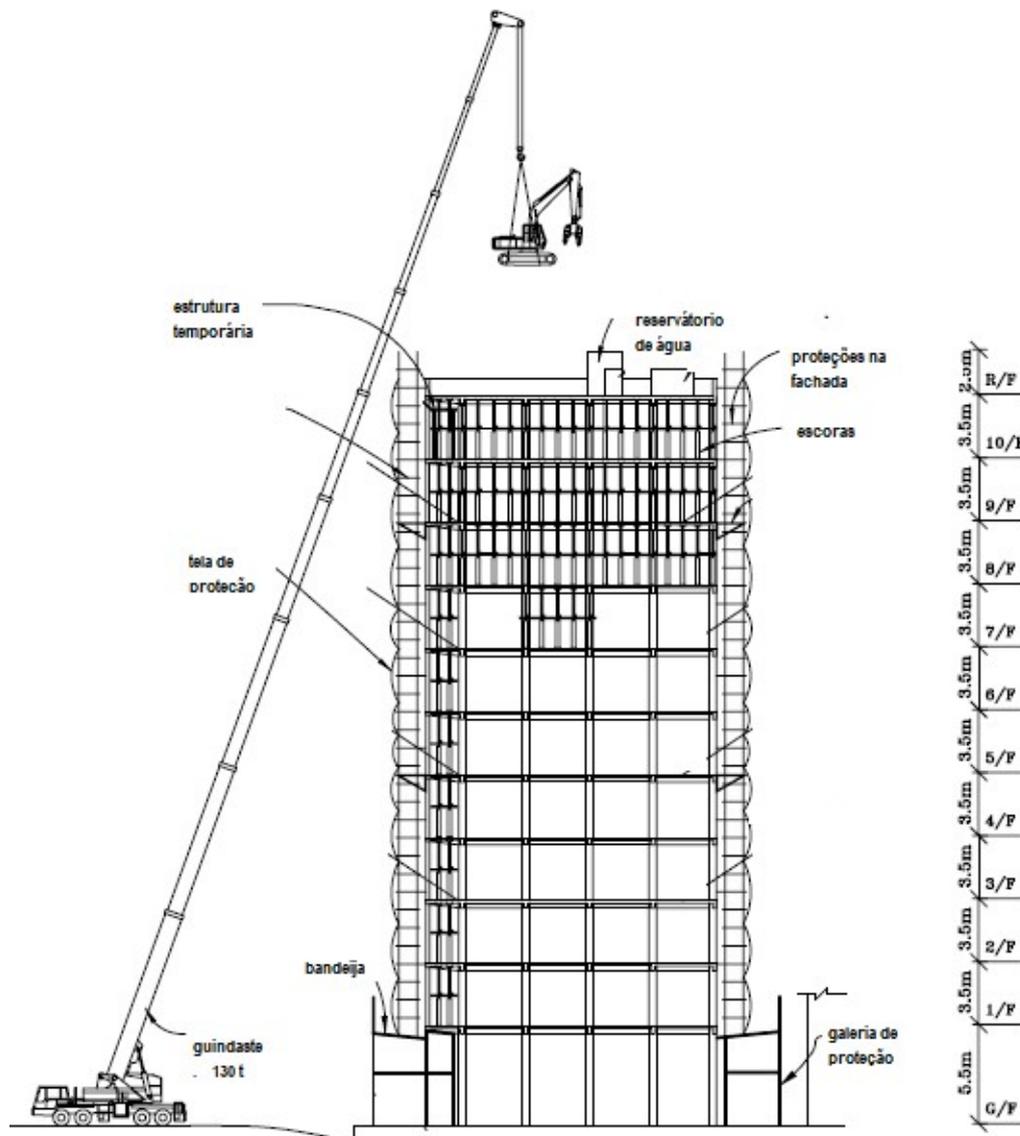
Figura 5.14: Detalhe demolição mecânica com braço de longa altura



Fonte: elaborado pelo autor, 2019.

Ainda, como opção, este poderia ser realizado com o içamento de uma mini-escavadeira ao último andar do edifício. Nesse caso, seria necessário a realização da verificação estrutural das lajes com relação a ação pontual de, em média 40 kN (4 toneladas), devido ao peso próprio do equipamento. Também, deve-se colocar escoras em pelo menos dois pavimentos inferiores evitar o desequilíbrio de panos de laje quando estas forem demolidas, conforme mostrado na Figura 5.15.

Figura 5.15: Detalhe para o içamento de escavadeira para demolição em edifícios



Fonte: BUILDINGS DEPARTMENT, 2004

- Demolição por bola de demolição

A demolição por bola de demolição seria o método com maiores riscos, tendo em vista a falta de um controle preciso da bola e de seu impacto, podendo afetar a resistência dos andares inferiores.

A sequência descrita no memorial executivo de demolição deve estabelecer que os golpes aplicados pela bola de demolição sejam andar por andar, para evitar instabilidades de tombamento. A cabine de operação também deverá ficar a pelo menos 15 metros de distância (1/2 altura do edifício).

- Demolição por explosivos

A demolição por explosivos é uma opção para este caso, porém deve haver maior controle quanto ao cumprimento das etapas do plano de demolição, o cronograma de execução e as atividades preparatórias.

A demolição por explosivos somente é viável se for possível o afastamento seguro da área em um raio de pelo menos 200 metros e mitigar os efeitos da vibração aos edifícios adjacentes, como a proteção de vidros e janelas e o uso de malhas de contenção de detritos. O método mais adequado para a demolição deste edifício seria por implosão, pois os detritos tendem a ocupar o mesmo espaço em que o edifício pertence. As cargas de explosivos são inseridas nos furos dos pilares do térreo e ao quinto andar (metade do edifício) e são acionadas com frações de segundo de diferença para que haja o completo desmantelamento do edifício.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de demolição é único, pois cada empreendimento possui condições particulares e restrições específicas. Por isso é necessário avaliar a técnica recomendável para cada tipo de edifício.

Deve-se avaliar a disponibilidade de equipamentos, custo, a precisão requerida, se há interesse no reaproveitamento de materiais e as condições de entorno, bem como nível de sensibilidade ao ruído e riscos à segurança.

Os aspectos mais relevantes observados para a escolha da técnica para a demolição de estruturas de concreto foram a distância das edificações vizinhas, o porte da edificação e a altura do edifício.

Além disso é necessário realizar a verificação da estabilidade e segurança de acordo com os efeitos do desmantelamento progressivo de elementos estruturais.

A demolição mecânica é observada como a mais prática em relação a produtividade e aplicação a diferentes edifícios, pois já existem maquinários que se adaptam de acordo com as exigências e escala de demolição.

Existem técnicas que apresentam maior produtividade, como por exemplo a implosão de edifícios, contudo requer de aspectos burocráticos e empresas especializadas para a manipulação de explosivos.

A demolição manual somente é realizada em pequenos trechos ou em pequenas obras, pois envolvem mais trabalhadores em risco e baixa produtividade. As demais técnicas são apresentadas apenas como alternativas para situações específicas de projeto como por exemplo a demolição por métodos térmicos, que são utilizados no corte de elementos metálicos ou os métodos químicos que são utilizados em elementos com grandes vãos (pontes) ou grandes maciços de rochas.

6 CONCLUSÕES

Na presente pesquisa foram apontadas as principais técnicas correntes, suas limitações e recomendações específicas. Para se escolher a técnica a se utilizar deve-se levar em consideração o custo, o grau de precisão e quais elementos serão desmantelados, tempo disponível, segurança da atividade, tipo da edificação, nível permitido de incômodo, se haverá reaproveitamento de materiais, as limitações executivas e a viabilidade técnica.

A análise do projeto deve contemplar a situação do empreendimento, o meio envolvente, as limitações legislativas, riscos gerais, fatores estruturais e o plano de gestão de resíduos.

A modernização das cidades, alteração da utilidade de edifícios e alta degradação de edificações fazem com que as atividades de demolições se tornem cada vez mais frequentes. No Brasil, esses procedimentos são, na maioria das vezes, realizados de modo empírico (por tentativas) e por empresas não especializadas.

Isso se deve ao fato de que não existem diretrizes técnicas nacionais consolidadas para a atividade. A norma brasileira específica para orientar o licenciamento e execução de atividades de demolições foi cancelada com a justificativa, que não era utilizada pelo setor (ABNT NBR 5682, 1977). Contudo, por meio dos questionários, foi possível observar que as empresas do Brasil ainda utilizam a norma como orientação técnica de suas atividades, haja vista que não há outra diretriz vigente para realizar demolições. Mas, também, observou-se que a norma está defasada, com definições e técnicas arcaicas e inaplicáveis e, portanto, deveria ser atualizada para uma correta aplicação, com base na literatura técnica internacional. Outra explicação para a extinção da norma, foi o fato do mercado nacional possuir poucas empresas especializadas em demolições e, por isso, não houve ênfase na criação ou manutenção de normativas para atividade. Isso fez com que fosse maior o número de empresas, sem profissionais habilitados, e acabaram por realizar atividades de demolição de modo improvisado e/ou empírico, com a possibilidade de causar acidentes na atividade.

A demolição, por lidar também com elementos estruturais, requer que as atividades sejam realizadas segundo um estudo adequado, prevendo ações de instabilidade, medidas preventivas e a sequência adequada. As atividades de demolições são consideradas de risco, pois ao desmantelar um trecho, sem os devidos cuidados pode se resultar em um colapso progressivo e ocorrer efeitos não desejados (DE SOUZA e RIPPER, 1998). Daí a importância

de uma adequada regulamentação, levando em consideração o reaproveitamento de materiais de demolição e descarte ecológico deles.

A execução do processo de demolição normalmente é considerada como uma atividade simples, contudo, nas últimas décadas, aumentou-se a percepção de que é essencial o estudo dos efeitos e maior controle do serviço. Também, o aumento da complexidade dos métodos construtivos, resistência dos materiais empregados na construção e o intuito de evitar reações em cadeia, tornou necessário o desenvolvimento de novas técnicas de demolição.

Se é perceptível que as diretrizes nacionais estejam desatualizadas, é necessário recorrer as cartilhas e normas de outros países. Nestas, são encontrados, inclusive, métodos inovadores e mais eficientes que podem ser incorporados ao mercado brasileiro.

A norma britânica (BS 6187:2011) se apresentou de forma mais atualizada e com maior quantidade de itens, inclusive diversas outras normas internacionais a citam como referência técnica. Porém, o Código de Práticas Chinesa (*BUILDINGS DEPARTMENT*, 2004), trouxe vários exemplos com detalhes de projetos de demolições. Portanto, cada cartilha e norma apresentada nesse trabalho traz aspectos relevantes ao planejamento da demolição, cada uma com ênfase em determinado campo, seja no detalhe do projeto, segurança das atividades ou aspectos burocráticos de licenciamento.

Foram enviados questionários as empresas de demolição consolidadas no mercado nacional e destacado que, apesar da antiga norma que regulamentava as atividades de demolição, ter sido cancelada, ainda é utilizada como referência juntamente com as normas internacionais. Contudo, esse setor conta na maioria das vezes com procedimentos empíricos e com base na tentativa e erro. A maioria das empresas que realizam a demolição no Brasil não possuem mão de obra qualificada e não tem a demolição como atividade principal. Também foram destacados que os princípios mais relevantes que devem ser otimizados na norma são o controle e previsão dos efeitos e o desenvolvimento de técnicas mais seguras.

Nos exemplos de aplicações foram apresentadas as particularidades do projeto de demolição de três edificações com diferentes proporções. Foi possível observar que cada projeto foi abordado de forma única, com diversos fatores e restrições particulares que deveriam ser ponderados para a avaliar a melhor decisão.

Algumas atividades são comuns a todo projeto de demolições, independentemente da técnica escolhida. A vistoria completa ao local, avaliação das distâncias com os edifícios vizinhos e

edificações sensíveis, grau de ruído permitido, o licenciamento e o registro fotográfico, são cuidados preliminares para escolha da técnica e a sequência das atividades. Quanto maior complexidade dos fatores restritivos e, principalmente, quando há estruturas com múltiplos pavimentos, maior serão os riscos da atividade, portanto, sendo necessário cuidados excepcionais no dimensionamento e definição das medidas de segurança.

Nos apêndices B e C foram apresentados modelos de *check-list* e memorial descritivo do projeto de demolições, ferramentas que podem auxiliar na coordenação da atividade e conferir se as etapas recomendadas pela norma e as devidas precauções foram seguidas.

O software *Extreme Loading® for Structures* utiliza simulações não lineares para análises do comportamento de estruturas em reações em cadeia. O Método do Elemento Aplicado (MEA) é útil para prever o comportamento das estruturas em colapso, sendo possível simular com diferentes técnicas e sequências e escolher a que obter melhor desempenho.

Diante da dificuldade em se adquirir o software de modelagem, verificaram-se alternativas para se analisar o comportamento da estrutura. Os métodos de Caminhos Alternativos de Carga e Força de Amarração, foram utilizados para verificar o colapso progressivo e, portanto, poderiam ser utilizados para verificar o comportamento estrutural na demolição, tendo em vista que a demolição é um colapso controlado dos elementos estruturais.

As atividades de demolições possuem um campo vasto para pesquisas, levando em consideração o número reduzido publicações de conhecimento técnico sobre o assunto. Deste modo, a presente pesquisa introduz uma série de possibilidades para novas investigações.

Desde a concepção do projeto de demolição até a sua execução são contempladas diferentes subáreas, como por exemplo: a análise estrutural, o estudo de custos, a otimização das técnicas e equipamentos, a gestão do resíduo e a segurança do trabalho.

6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Isto posto, poderiam ser realizadas novas pesquisas com o objetivo de abordar o comparativo de custos das técnicas; desenvolver recomendações específicas para a segurança do trabalho em atividades de demolição; otimizar a gestão do projeto de demolição com uso da tecnologia BIM e assim automatizar a quantificação e coordenação de resíduos.

Também é necessário ampliar os estudos que considerem a estabilidade de edifícios em demolições e a análise não-linear em estruturas em colapso utilizando os softwares de

simulação numérica baseadas no Método do Elemento Aplicado que por ausência de recursos não foi possível utilizá-lo neste trabalho.

Vale ressaltar que, na presente pesquisa foram abordados apenas edificações em concreto armado e algumas especificações para demolição de chaminés industriais, mas, em pesquisas futuras poderiam ser abordados as particularidades da demolição de estruturas de pontes, obras de arte ou também de outros sistemas construtivos como a demolição de estruturas metálicas, pré-moldados de múltiplos pavimentos e estruturas mistas.

Uma das problemáticas apresentadas neste trabalho foi sobre a demolição de estruturas protendidas por apresentarem o comportamento explosivo na liberação das tensões. Portanto, novas investigações poderiam abordar planos experimentais com intuito de definir técnicas para uma demolição mais segura de estruturas protendidas.

Por fim, as recomendações presentes nessa pesquisa tiveram o intuito de fomentar novas investigações e também uma possível normatização da atividade, auxiliando os profissionais do setor na tomada de decisões e oferecer diretrizes técnicas para definição do projeto de demolição e utilização de técnicas adequadas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAH, A. **Intelligent Selection of Demolition Techniques**. Tese de Doutorado. Philosophy of Loughborough University, Reino Unido, 2003.

ASI, Applied Science International Success History. **Castelão Soccer Stadium**. 2014. Disponível em: <https://www.appliedscienceint.com/wp-content/uploads/2014/08/Case-Study-Castelao-Stadium-03opt.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16280: Reforma em Edificações – Sistema de Gestão de Reforma - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5682: Contratação, Execução e Supervisão de Demolições**. Rio de Janeiro, 1977.

ATLAS COPCO. **A demolição profissional: A ferramenta adequada para cada trabalho**. Barueri, 2006.

BALDASSO, P. C. P. **Procedimentos para Desconstrução de Edificação Verticalizada: Estudo de Caso**. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS, Porto Alegre, 2005.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18: Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção**. Brasília, DF. 2008. Disponível em: www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr18.htm#18.5._Demoli%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 14 dez. 2018.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 6187:2011 – Code of practice for full and partial demolition**. Londres, p.158. 2011.

BRITO, J. **Técnicas de demolição de edifícios correntes**. Cadeira de Processos de Construção, Licenciatura em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 1999.

BUILDINGS DEPARTMENT. **Code of Practices for Demolition of Buildings**. Hong Kong, China. 2004.

COSTA, M. Â. S. **Processo de Demolição de Estruturas**. Aveiro, Portugal, 2009. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Aveiro, Portugal. 2009.

CTBUH JOURNAL. **Tall buildings: design, construction, and operation**. International Journal on Tall Buildings and Urban Habitat. Illinois Institute of Technology. Edição II. 2018.

DE SÁ, J. C. D. F. **Normalização dos trabalhos de demolição. Proposta de Elaboração de um plano de demolição**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Portugal, 2013.

DEPARTMENT OF DEFENSE OF UNITED STATES OF AMERICA. **UFC 4-023-03: Design of buildings to resist progressive collapse**. Washington, DC, 2009.

EL-DEBS, M. K. **Concreto Pré-moldado: Fundamentos e aplicações**. 1ª Edição. Publicação EESC-USP. São Carlos, 2000.

ELLINGWOOD, B. R., SMILOWITZ, R.; DUSENBERRY, D.O; LEW, H. S.; CARINO, N.J. **NISTIR 7396: Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings, technology administration**. Gaithersburg, Estado Unidos, 2007.

FARIA, R. **Demolição Protegida**. Revista Techné. Edição 199. Outubro, 2013. Disponível em: < techne17.pini.com.br/engenharia-civil/199/demolicao-protegida-tecnica-japonesa-protege-local-da-demolicao-do-299960-1.aspx>. Acesso 01 de julho de 2018.

FELIPE, T. R. C. **Novo Método para Avaliação do Risco de Colapso Progressivo em Edifícios de Alvenaria Estrutural**. São Carlos, São Paulo. 2017. Dissertação de Mestrado em Ciências (Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo. 2017.

FERREIRA, J. P. S. P. **Otimização da Gestão de Resíduos de Demolição e Construção na Ótica dos Projetistas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade do Minho - Escola de Engenharia. Braga, Portugal. 2012.

GOMES, G. M. **Medidas Preventivas na Execução de Trabalhos de Demolição e Reabilitação de Edifícios Antigos – Técnicas e Equipamentos de Demolição**. Vila Real, Portugal, 2010. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro. Vila Real, Portugal. 2010.

GOMES, R. **Demolições de Estruturas pelo uso controlado de explosivos – O projecto de Demolição**. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2000.

LARANJEIRAS, A. C. R. **Colapso Progressivo dos Edifícios: breve Introdução**. TQS News, v. 33, n.8, p. 36-47, 2011.

MARTINS, A. S. M. **Diretrizes para o planejamento de uma demolição sustentável em edifícios**. São Carlos, 2017. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo – USP, São Carlos. 2017.

NEW ZEALAND DEMOLITION AND ASBESTOS ASSOCIATION. **Demolition: Best Practice Guidelines for demolition in New Zealand**. Work Safe. [S.1]. Nova Zelândia. 2013.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **29 CFR 1926 Subpart T – Whether the demolition standard applies to moving a residential structure**. Occupational Safety and Health Administration. [S.1]. Estados Unidos. 2016.

PHILIP, J.-C.; BOUYAHBAR, F.; MUZEAU, J.-P. **Guide pratique de la démolition des bâtiments**. 1ª Edição. Editora Eyrolles. Paris - França, 2006.

RODRIGUES, D. J. B. **Demolição de edifícios de betão armado por métodos explosivos. O caso de estudo do edifício C5 do Hospital das Forças Armadas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Militar. Instituto Tecnico de Lisboa e Academia Militar de Lisboa. Lisboa, 2014.

SAFE WORK OF AUSTRALIA. **Demolition Work – Code of Practice**. Safe Work Australia. [S.1] p.44. Australia, 2016.

SANTOS, M. C. A. S. **Demolição de Estruturas**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia e Gestão de Construções. Instituto Superior de Engenharia do Porto – ISEP. 2013

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1ª Edição. Editora PINI. São Paulo, 1998.

STANDART AUSTRALIA INTERNATIONAL. **AS 2601:2001 – The demolition of structures**. Sydney, 2001.

TAGEL-DIN, H.; RAHMAN, N. A. **The Applied Element Method: the ultimate analysis of progressive collapse**. Structure Magazine, v. 4, p 30-33, 2006.

8 APÊNDICE A

QUESTIONÁRIOS

DEMOLIDORA ROMA – ROMA-DEMOLIÇÃO E TERRAPLANAGEM EIRELI

Endereço: Rua Tabor, 71 – Ipiranga, São Paulo - SP.

www.demolidoraroma.com.br

1. Quais atividades a empresa realiza?

Demolição manual, demolição mecanizada, desmontagem de estruturas metálicas, desmontagem industrial (residências, comércios e indústrias), corte diamantado, demolição com massa expansiva e implosão.

2. Quais equipamentos são utilizados para serviços de demolições e as técnicas empregadas?

Equipamentos: escavadeira hidráulica com concha, tesoura de corte hidráulica, pulverizador de concreto e rompedor hidráulico, mini-escavadeira, mini- carregadeira, martetele demolidor elétrico e pneumático, robô demolidor (para espaços confinados), serra circular com disco diamantado, produtos químicos (massa expansiva) explosivos e caminhão basculante truck.

TÉCNICAS:

– Convencional – demolição manual ou mecanizada com derrubamento das paredes. Esta técnica pode ser controlada (desmontagem tijolo por tijolo) ou não controlada derrubamento da parede;

- Específica - Impacto mecânico (rompedor), demolição por compressão do elemento estrutural (tesoura e pulverizador), demolição com corte (maçarico), demolição com uso de explosivos, demolição por colapso. Esta técnica pode ser controlada ou não.

3. Quais são as normas e diretrizes utilizadas para projetos e execução de demolições?

A Norma Técnica para serviços de demolição é a NBR 5682/77, porém esta norma foi cancelada em 2008. A Demolidora Roma tenta há pelo menos três anos junto a ABNT a revisão a publicação da norma, porém até o momento não obtivemos respostas;

A Norma Regulamentadora NR18 do Ministério do Trabalho e Emprego em seu item 5 trata sobre a segurança no serviço de demolição;

A Resolução 307/2002 do Conama Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos de construção civil;

A legislação municipal (São Paulo):

Lei 10.315/1987 – Criou condições para as empresas privadas realizarem serviços públicos de coleta de resíduos;

Decreto 37.952/1999 – Regulamentou a atividade de coleta de resíduos da construção civil, estabelecendo regras para cadastramento;

Lei 13.298/2002 – Estabeleceu que a empresa cadastrada deve fornecer um documento comprobatório de destinação correta;

Lei 13.478/2002 – Organizou o sistema de limpeza urbana e criou a AMLURB (Autoridade Municipal de Limpeza Urbana) como órgão regulador;

Decreto 42.217/2002 – Criou o CTR (Controle de Transporte de Resíduos da Construção Civil);

Decreto 46.594/2005 – Reformulou o CTR, estabeleceu regras para sua utilização, bem como para cadastramento das empresas e fiscalização das atividades;

Lei 14.803/2008 – Disciplinou a ação dos geradores e transportadores de resíduos da construção civil, ratificou a obrigatoriedade da emissão do CTR e estabeleceu multa para a não-emissão do CTR;

RESOLUÇÃO 107/2017 - Regulamenta o cadastro dos operadores do Sistema de Limpeza Urbana do Município e o Controle de Transporte de Resíduos – CTR Eletrônico o Presidente da AUTORIDADE MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA - AMLURB, no uso das atribuições que lhe são conferidas por lei e, Considerando a necessidade de adotar medidas que garantam o cumprimento das normas e princípios que regem a Administração Pública, impondo eficiência e melhoria contínua nos serviços e atribuições inerentes à Autoridade Municipal de Limpeza Urbana; Considerando o disposto nas Leis Municipais nºs 13.478, de 30 de dezembro de 2002 e 14.803 de 26 de junho de 2008, com suas posteriores alterações, que disciplinam os serviços de limpeza urbana prestados em regime privado;

RESOLUÇÃO 105/17 - Regulamenta o cadastro dos operadores do sistema de limpeza urbana do município e o controle do transporte de resíduos - CTR eletrônico.

4. Quais as questões legais e ambientais que são requisitos para se realizar execução de demolições?

Primeiramente solicitação do Alvará de Execução de demolição (Código de obras de São Paulo LEI Nº 16.642 DE 9 DE MAIO DE 2017). Ambiental – Seguir a política de geração, transporte e destinação de resíduos Resolução 307/2002 Conama.

5. A NBR 5682: 1977 foi cancelada pela ABNT, por não ser utilizada pelos profissionais. Quais os tópicos que deveriam ser mencionados em norma para auxílio nos projetos de demolições?

Acreditamos que a NBR 5682 foi cancelada devido à falta de força das empresas especializadas que são a minoria ainda no dia de hoje. A atividade de demolição é bem restrita onde as empresas realmente especializadas que possuem corpo técnico qualificado não passam de 8 no universo estadual. O comércio não é tão atuante para auxiliar na atualização da norma e devido à falta de sindicato e falta de interesse pelo setor a ABNT cancelou a norma.

Acredito que os tópicos mais importantes são:

Controle da demolição, hoje em dia ainda se usa a demolição não controlada que proporciona risco aos funcionários e à terceiros conforme o vídeo no link abaixo.

<https://www.youtube.com/watch?v=FyQjqHRFPbc> (Acesso em: 09/08/2018).

As técnicas de demolição também devem ser enfatizadas, hoje com a modernização surgiram várias técnicas para proporcionar eficiência do serviço e mais segurança, porém muitos prestadores de serviço aplicam técnicas arcaicas que muitas vezes geram fatalidades.

6. Quais são as considerações de projeto para as atividades de demolição?

Um projeto de demolição deve ser elaborado por um técnico profissional experiente na área de demolição. Deve-se atentar ao entorno da construção objeto do serviço. Deve-se estudar o seu nível de preservação, a situação física de cada imóvel e a infraestrutura da via. O projeto deve contemplar o dimensionamento dos veículos e máquinas que atuarão na obra para que seu peso e o impacto gerado não prejudiquem o entorno. As infraestruturas, água, luz, energia elétrica e gás devem estar devidamente deligadas. A vistoria dos imóveis vizinhos é primordial, o relatório preservará a memória dos imóveis evitando futuros litígios. A análise dos materiais presentes no imóvel a ser demolido deve ser levada a sério. Muitas construções possuem materiais contaminantes (como é o caso do amianto). Este material deve ser muito bem acondicionado para sua destinação correta.

Os demais materiais de construções a ser desmontados devem ser separados e preferencialmente reciclados ou reaproveitados. A demolição das fundações deve ser monitorada para que não gere vibrações excessivas e comprometa as edificações vizinhas. As vias devem ser limpas após a saída dos caminhões. Os resíduos transportados nos caminhões devem estar devidamente cobertos para não serem projetados nas vias.

7. É visto como necessidade fazer um estudo de comportamento estrutural, plano de queda, considerando os apoios e vínculos (estruturas isostáticas, hiperestáticas, pontos de redundância estrutural)? Como é realizado esse estudo?

Sim, as estruturas devem estar totalmente estabilizadas. O corpo técnico é responsável por realizar as verificações de segurança e garantir a estabilidade da estrutura durante o período de desmonte ou demolição. Caso a estrutura seja complexa equipamentos de monitoramento de estabilidade são instalados e monitorados semanas antes da demolição.

8. São realizados procedimentos diferentes para cada tipo de sistema estrutural (alvenaria estrutural, concreto armado, aço, vigas, pilares, lajes)?

Sim, cada estrutura tem um método de demolição diferenciado. Estruturas metálicas são cortadas a fogo e içadas, as estruturas convencionais (alvenarias e concreto armado de média altura) são demolidas com impacto e derrubamento (escavadeira com rompedor), estruturas pré-moldadas e protendidas são cortadas com serra diamantada (na escavadeira ou não) e são içadas com guindaste. Reservatórios de concreto são cortados com serra diamantada (na escavadeira ou não) e são içados com guindastes. As lajes geralmente são escoradas e demolidas por impacto manual ou mecanizado.

9. Como é feito o estudo de estabilidade do edifício para que ao demolir algum trecho toda estrutura não entre em colapso prematuro?

Primeiramente o edifício deve ser analisado para prever os riscos. Posteriormente é elaborado um projeto de escoramento conforme a necessidade. Se for necessário é realizado os devidos cálculos estruturais e proposto os devidos reforços antes da demolição.

10. Como é definida a sequência dos elementos que serão demolidos? É especificado em projeto ou fica a critério do operário?

A demolição sempre seguirá as recomendações da NBR 5686/77 onde determina a sequência da demolição. No projeto de demolição e no memorial executivo estará

especificado os elementos estruturais que serão desmontados/demolidos e a sua ordem para garantir a estabilidade da estrutura proporcionando segurança aos operários.

11. Qual obra houve maior dificuldade de dimensionar o plano de demolição? Poderia fazer um breve relato do projeto, a técnica empregada, concepção do plano de demolição, motivos de decisão da técnica empregada?

Estrutura tipo aranha PUC Sorocaba. Estrutura complexa onde demandava projeto de escoramentos específicos. A estrutura fica com uma das pernas dentro de um hospital. O terreno é instável para uso de guindaste. A estrutura tem mais de 30 metros de altura. A demolição seria feita manual ou com corte diamantado. (não realizada devido ao custo). As fotos são apresentadas abaixo:

Figura 8.1: Estrutura Aranha



Fonte: arquivo pessoal da Demolidora Roma, 2018.

Figura 8.2: Estrutura Aranha



Fonte: imagem cedida por Demolidora Roma, 2018.

Assinale as técnicas que são conhecidas e aplicadas pela empresa:

Técnica	Conhecida	Aplicadas na empresa
Demolição Manual	sim	sim
Demolição Mecânica	sim	sim
Demolição por cabos puxadores	sim	sim
Bola de Demolição	sim	Sim (desuso)
Explosivos	sim	sim
Hidro demolição com jato de pressão	sim	sim
Métodos químicos	sim	sim

Métodos térmicos	sim	não
Mecanismos de Colapso	sim	sim
Desconstrução	sim	sim

DEMOLIDORA DEMOLIÇÃO REMOTA

R. Jacutinga, 87 - Padre Eustáquio, Belo Horizonte – MG

www.demolicaoremota.com.br

1. Quais atividades a empresa realiza?

Especializamos em demolição em espaços confinados ou com restrição a impacto e barulho utilizando equipamentos rádio-controlados a distância leves e compactos.

2. Quais equipamentos são utilizados para serviços de demolições e as técnicas empregadas?

Utilizamos equipamentos fabricados na Suécia operados por controle remoto. Duas opções de ferramentas de demolição:

Martelo hidráulico: demolição com impacto para demolição de revestimentos refratários em Fornos ou demolição em locais confinados

Tesoura hidráulica: demolição por esmagamento de estruturas de concreto armado ou alvenaria em locais com restrição a impacto e barulho (ex: áreas hospitalares, prédios comerciais etc)

3. Quais são as normas e diretrizes utilizadas para projetos e execução de demolições?

Normas da ABNT

4. Quais as questões legais e ambientais que são requisitos para se realizar execução de demolições?

Descarte dos resíduos em bota-fora credenciado

5. A NBR 5682: 1977 foi cancelada pela ABNT, por não ser utilizada pelos profissionais. Quais os tópicos que acredita que deveriam ser mencionados em norma para auxílio nos projetos de demolições?

Norma totalmente superada. A partir do advento de equipamentos iguais aos nossos muito deverá ser modificado. A começar pelo maior apelo do equipamento: RISCO ZERO de acidentes pois a operação é toda feita a distância.

6. Quais são as considerações de projeto para as atividades de demolição?

Passar pelo crivo de um calculista a depender do porte da demolição e tipo e concreto (se armado ou protendido). Em qualquer porte de demolição, sempre deverá ser definido a SEQUÊNCIA de demolição/retirada das partes ou peças.

7. É visto como necessidade fazer um estudo de comportamento estrutural, plano de queda, considerando os apoios e vínculos (estruturas isostáticas, hiperestáticas, pontos de redundância estrutural)? Como é realizado esse estudo?

Respondido acima

8. São realizados procedimentos diferentes para cada tipo de sistema estrutural (alvenaria estrutural, concreto armado, aço, vigas, pilares, lajes)?

Sim. Para concreto armado sempre a seguinte sequência: laje, vigas e pilares. Esta sequência de execução é passada para o encarregado ou líder de campo. Para concreto protendido o projeto de demolição deverá ser, preferencialmente, elaborado pelo calculista das estruturas.

9. Como é feito o estudo de estabilidade do edifício para que ao demolir algum trecho toda estrutura não entre em colapso prematuro?

Não fazemos este trabalho. Neste caso o contratante deverá contratar junto ao calculista. Lembramos que nossa empresa é especializada em demolição do tipo INDOOR, ou seja, demolição de trechos ou partes de uma edificação.

10. Como é definida a sequência dos elementos que serão demolidos? É especificado em projeto ou fica a critério do operário?

Respondido no item 8

11. Qual obra houve maior dificuldade de dimensionar o plano de demolição? Poderia fazer um breve relato do projeto, a técnica empregada, concepção do plano de demolição, motivos de decisão da técnica empregada?

Não existe complexidade em nossa atividade. O que é uma variável é o porte da estrutura a demolir. Fazendo um bom planejamento tudo flui com muita segurança. Consideramos uma obra complexa quando a logística é um fator importante. Exemplo: demolição de chaminés

Assinale as técnicas que são conhecidas e aplicadas pela empresa:

Técnica	Conhecida	Aplicadas na empresa
Demolição Manual	x	
Demolição Mecânica	x	x
Demolição por cabos puxadores	x	
Bola de Demolição	x	
Explosivos	x	
Hidro demolição com jato de pressão	x	
Métodos químicos		x
Métodos térmicos		
Mecanismos de Colapso		
Desconstrução		x

9 APÊNDICE B

Check-List - Demolição

Obra: _____

Cliente: _____

Responsável Técnico: _____

Endereço: _____

Sistema Construtivo: _____

Principais materiais de construção: _____

Histórico de utilização da edificação: _____

Número de Pavimentos: _____

Estado de Conservação: bom deteriorado em risco de colapso

Construção: isolada confinada colada

Demolição: total parcial

Previsão de Início: _____ Previsão de Fim: _____

Check		S	N	N.A	Comentários
1	Informações de Projeto				
	Projeto Arquitetônico (planta baixa, cortes, situação)				
	Projeto Estrutural				
	Levantamento das distâncias as edificações vizinhas, vias de tráfego e edificações especiais				
	Projetos complementares de instalações				

2	Atividades Preliminares				
	Registro Fotográfico				
	Licenciamento da demolição (Alvará de demolição, ART)				
	Contatar órgãos responsáveis para garantir a evacuação da área, primeiros socorros e fiscalização dos procedimentos de risco				
	Se o empreendimento envolver a paralização do trafego, definir o tempo de interdição, impacto nas vias e rotas alternativas				
3	Remoção de Materiais perigosos				
	Material contendo amianto no local				
	Substâncias Perigosas				
	Substâncias Inflamáveis				
	Material Biológico				
4	Interrupção de Serviços				
	Eletricidade, gás, telecomunicações, água e esgoto				
5	Estruturas Perigosas				
	Estrutura Inclinação				
	Estrutura com rachaduras				
	Estrutura incendiada				

	Estrutura Deteriorada				
6	Estruturas em balanço				
7	Estruturas Especiais				
	Concreto pré-moldado				
	Concreto protendido				
8	Procedimento de Demolição e a Sequência de Operação				
	Descrever os equipamentos utilizados				
	Descrever as limitações e restrições específicas de operação dos equipamentos, distância de afastamento da área de trabalho				
	Estabelecer a sequência e o procedimento proposto para demolição				
	Detalhes para demolição de áreas críticas e proteções temporárias para o público				
9	Medidas preventivas				
	Instalação de andaimes, telas, plataformas e proteções				
	Escoras, suportes temporários e medidas de contenção				
	Inspeção e manutenção dos suportes existentes				

	Instalar meios de transporte de detritos aos andares inferiores				
	Prever locais para evacuação de emergência				
	Tomar precauções para reduzir o impacto de ruídos, poeira e vibrações				
10	Pós-Demolição				
	Conferir a segurança do local				
	Tratar e estabilizar as estruturas remanescentes e manifestações patológicas nas estruturas abaladas				
	Limpeza do Local e proteção da área				

Verificação diária de execução		S	N	Comentários
1	Foi nomeado um supervisor competente com experiência em demolições?			
2	Todos os funcionários são treinados e competentes para cumprir suas tarefas com segurança?			
3	O gerenciamento de riscos é contínuo, reduzindo os riscos de forma eficaz?			
4	Todos funcionários estão utilizando EPI's e roupas adequadas?			
5	O local é devidamente fechado e com telas de proteções instaladas?			

6	Foram realizadas as notificações e avisos de perigo? Todo o acesso ao canteiro é protegido?			
7	Há sustentação suficiente para evitar o colapso estrutural prematuro e proteção as estruturas adjacentes?			
8	As escadas e outros equipamentos estão em boas condições?			
9	Há algum piso com risco de sobrecarga?			
10	Os pedestres estão protegidos adequadamente?			
11	Existem extintores de incêndio adequados e suficientes para todas as atividades?			
12	As saídas de emergência estão desobstruídas?			
13	As boas práticas de manutenção são mantidas? Por exemplo: é evitado o acúmulo de detritos e equipamentos desnecessários nos pisos?			
14	Todo equipamento elétrico possui certificação de teste e identificação de uso?			
15	As instalações e equipamentos usados na atividade têm verificações diárias para garantir a condição adequada de funcionamento e segurança para o uso?			
16	Todos os guindastes e plataformas de trabalho possuem certificação para uso com segurança?			

Legenda:

S – sim

N – não

N.A – não se aplica

10 APÊNDICE C

Modelo de Memorial Descritivo para o Projeto de Demolição (adaptado de Brito, 1999)

O presente projeto refere-se à demolição do edifício _____ de ____ andares, situado na Rua/Avenida _____, n.º ____, propriedade de _____.

O prédio a se demolir é confinado com distância lateral esquerda de ____ metros e distância lateral direita de ____ metros.

[BREVE RESUMO DOS HISTORICO DA EDIFICAÇÃO, ESTADO DE CONSERVAÇÃO, MATERIAIS UTILIZADOS...]

Descrição dos Trabalhos

Os trabalhos serão executados conforme as normas _____.

Notas de projeto:

- 1- Os trabalhos só devem ser iniciados após se ter verificado o corte da electricidade, água e gás, bem como o desvio das linhas telefónicas;
- 2- Em primeiro lugar, serão retirados os elementos frágeis, envidraçados, janelas, portas, sanitários, etc., seguindo-se o desmonte da cobertura;
- 3- A demolição deve se realizar de cima para baixo, gradual e sequencialmente, andar por andar, sem acumular os produtos da demolição sobre os pavimentos, realizando sua remoção para o exterior através de condutos fechados, até as caçambas de entulhos;
- 4- Nas paredes da fachada principal, será colocada rede de proteção em toda a superfície e instaladas plataformas ao nível do 1º andar para proteção dos operários e do público;
- 5- As escoras deverão ser instaladas anteriormente ao início da demolição do andar superior, utilizando pontaletes metálicos tubulares;
- 6- O escoramento referido na alínea anterior, repete-se logo que a demolição atinja o nível do pavimento do 1º andar;

9- As empenas dos prédios confinantes, após a demolição deverão ser rebocadas com argamassa, afim de evitar infiltrações de águas no período de tempo que decorre até à construção;

10- Se, no decurso dos trabalhos, forem detectadas situações que possam ocorrer riscos a estabilidade das estruturas vizinhas, além das zonas de segurança previstas, serão estudados e adotados sistemas de reforço complementar.

11- Ao se demolir vigas deverá ser realizada conforme a sequência estabelecida em projeto a saber:

- certificar que não existem cargas sobre a viga (incluindo lajes e platibandas)
- atar a viga por meio de cabos suportes nas extremidades A,
- cortar o concreto expondo as armaduras nas extremidades A e B,
- cortar as armaduras com procedimentos mecânicos ou térmicos na sequência (cortes 1, 2, 3),
- abaixar lentamente a extremidade A até o chão,
- Atar o cabo na extremidade B e realizar o corte 4
- abaixar lentamente os cabos suportes para reduzir o impacto ao solo ou piso inferior.

12- Ao se demolir pilares deverá ser realizado conforme projeto, atando os cabos na direção de tombamento e em sentido contrário para exercer a tração e direcionar a queda.

13- Ao se demolir lajes as plataformas de trabalho deverão apoiadas em vigas de apoio independentes da laje.

Julga-se assim, assegurar, que os trabalhos de demolição serão executados em boas condições de segurança, pelo que, se solicita a aprovação do presente plano de demolição.

Limitações e orientações para o uso dos equipamentos

Técnica utilizada: _____

Equipamentos necessários: _____

Instruções de uso: _____