



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO – UNICAP
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA - PRAC
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE DA VIDA ÚTIL ESTIMADA DAS EDIFICAÇÕES
BASEADA NA NORMA DE DESEMPENHO (ABNT NBR 15.575:2013)

Nina Celeste Macário Simões da Silva

Recife, 2016

NINA CELESTE MACARIO SIMÕES DA SILVA

**ANÁLISE DA VIDA ÚTIL ESTIMADA DAS EDIFICAÇÕES
BASEADA NA NORMA DE DESEMPENHO (ABNT NBR 15.575:2013)**

Dissertação apresentada à Universidade Católica de Pernambuco, exigida pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Tecnologia das Construções.

Orientador Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira.

Recife, 2016

S586a Silva, Nina Celeste Macario Simões da
 Análise da vida útil estimada das edificações
baseada na norma de desempenho (ABNT NBR
15.575:2013)/ Nina Celeste Macario Simões da Silva
 ; orientador Romilde Almeida de Oliveira, 2016.
 116 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de
Pernambuco. Pró-Reitoria Acadêmica. Coordenação Geral
de Pós-Graduação. Mestrado em Engenharia Civil, 2016.

1. Construção civil - Normas. 2. Normas técnicas
(Engenharia). 3. Construção civil - Durabilidade. I. Título.

NINA CELESTE MACARIO SIMÕES DA SILVA

**ANÁLISE DA VIDA ÚTIL ESTIMADA DAS EDIFICAÇÕES
BASEADA NA NORMA DE DESEMPENHO (ABNT NBR 15.575:2013)**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração Tecnologia das Construções.

Aprovada por:

Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira, Presidente Orientador – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UNICAP.

Prof. Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira, Examinador Interno – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UNICAP.

Prof. Dr. Eder Carlos Guedes dos Santos, Examinador Externo – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – POLI/UPE.

Data: 25 / 02 / 2016.

Recife, 2016.

Dedico este trabalho a todos os mensageiros do bem
que contribuíram para a realização desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, Senhor de todas as coisas sobre a terra que permitiu o início, o desenvolvimento e o encerramento desse estágio, e pelo merecimento de conhecer a todos que contribuíram nesse percurso.

Ao CNPQ/CAPES pela oportunidade contribuindo com a minha formação, enquanto bolsista de pós-graduação.

A Universidade Católica de Pernambuco por congregar tantos saberes dispostos no Mestrado de Engenharia Civil e ao mesmo tempo acolher alunos e ex-alunos na ampliação do nosso conhecimento.

Ao Professor Dr. Romilde de Oliveira Almeida, orientador da pesquisa, pelos incentivos, disponibilidade em nortear a dissertação, pelo conhecimento transmitido, pelas incansáveis horas de paciência, ao qual serei sempre grata.

A Construtora que disponibilizou os dados e informações que possibilitaram o enriquecimento da pesquisa. Através do Diretor Presidente agradeço a todos pela atenção e respeito dispensados.

Aos Professores do Mestrado de Engenharia Civil, Joaquim Romão, Fernando Artur, Maria da Graças Vasconcelos, Silvio Romero, Eliana Monteiro, Antônio Oscar, Paulo Helene, pela disponibilidade e disposição em contribuir sobremaneira com o nosso aprendizado.

Aos colegas de Mestrado Marcelo, Andreza, Juliane, João, Carlos, Ronaldo, José Rinaldo, Aureliano, pelo companheirismo, colaboração e convivência durante a realização dos estudos.

Aos funcionários da pós-graduação pela incansável paciência em nos atender e esclarecer direitos e deveres.

Aos colegas de trabalho da Comissão Regional de Obras da 7ª Região Militar (CRO/7), representados pelo Cel. Marco Aurélio Chaves Ferro, especial comandante, que muito contribuiu na realização dos estudos.

Aos amigos e amigas que colaboraram significativamente, de diversas formas, para a realização da pesquisa.

Agradeço em especial a minha família, sem a qual não poderia ter desenvolvido esta ou tantas outras realizações da minha existência e sobretudo pelo amor.

“Não sabes, não ouviste que o eterno Deus, o Senhor, o Criador dos fins da terra, nem se cansa nem se fatiga? É inescrutável o seu entendimento. Dá força ao cansado, e multiplica as forças ao que não tem nenhum vigor. Os jovens se cansarão e se fatigarão, e os moços certamente cairão; Mas os que esperam no Senhor renovarão as forças, subirão com asas como águias; correrão, e não se cansarão; caminharão, e não se fatigarão.”
Isaías 40:28-31

Silva, N. C. M. S. Análise da Vida Útil Estimada das Edificações Baseada na Norma de Desempenho (ABNT NBR 15.575:2013). Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Pernambuco. Recife, PE, 2016, 116p.

RESUMO

A análise da vida útil (VU) de uma edificação exige a observação de muitas variáveis, especialmente aquelas voltadas para o desempenho e durabilidade. Nesse sentido, a ABNT NBR 15.575:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho estabelece requisitos, critérios e métodos de avaliação para analisar o desempenho das construções, e ao mesmo tempo subsidiar os projetistas a determinar a vida útil de projeto (VUP) condizente com o nível de desempenho desejado pelo construtor e usuário. Acrescente-se que o cálculo para a vida útil estimada (VUE) das construções leva em consideração o envelhecimento natural dos componentes dos sistemas construtivos, mas não contempla o efeito dos danos provocados pela entrada em operação e uso da edificação ou ausência de manutenção. Além disso, a ABNT NBR 5674:2012 - Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção, indica quais os sistemas e serviços devem passar pelo processo de manutenção e em qual período, possibilitando a gestão da manutenção com qualidade. Entretanto, não é sempre o que ocorre nas edificações após a entrada em operação e uso. Na pesquisa, procurou-se, então, verificar qual a relação entre a vida útil estimada e os prazos de garantia das obras. Para medir a diferença percentual entre a VUP e a VUE, após a intervenção da ATPO foi utilizado o método dos fatores previsto na ISO 15.686:2000 - Building and construction assets – service life planning e recomendado pela NBR 15.575-1:2013. As informações analisadas foram cedidas por uma construtora atuante na cidade do Recife, coletadas de um banco de dados proveniente da assistência técnica pós-obra (ATPO) de oito empreendimentos construídos na Região Metropolitana do Recife. A frequência de ocorrência de danos nas edificações foi analisada através da determinação da taxa de falhas dos empreendimentos. Os resultados assinalam para um percentual de redução da vida útil de projeto (VUP), da ordem de 20% da vida útil de referência (VUR), valores adotados da NBR 15.575:2013; apontam também, para uma concentração de avarias no estágio inicial da construção, acima de 50%, que correlacionando com a curva de probabilidade condicional de falha (curva da banheira) obtém-se um alto índice de falha brusca, classificando a edificação na fase da mortalidade infantil. Esses resultados refletem uma variação não planejada do nível de desempenho proposto para a edificação. Diante desse contexto, sugere-se vincular o prazo de garantia da obra com o nível de desempenho efetivo da construção. A aplicação de conceitos de confiabilidade permite inferir sobre os prazos de garantia da obra e fazer comparações com o valor previsto no aparato legal brasileiro.

Palavras-chave: desempenho, durabilidade, vida útil, prazo de garantia, assistência técnica pós-obra.

Silva, N. C. M. S. Analysis of the Estimated Service Life of the Building Based on Performance Standard (ABNT NBR 15.575:2013). Master Dissertation. Catholic University of Pernambuco. Recife, PE, 2016, 116p.

ABSTRACT

Analysis of service life of a building requires the observation of many variables, especially correlating to the performance and durability. In this meaning, the NBR 15.575:2013 - Residential Buildings - Performance establishes requirements, criteria and methods assessment for analyzing the performance of buildings, and sometimes subsidize designers to determine the design life consistent with the performance level desired by the builder and user. Adding that the calculation of the estimated service life of buildings takes into account the natural aging of the building systems components, but not contemplates of the damage effect caused by the entry into operation and use of the building or absence conservation. Moreover, the NBR 5.674:2012 - Buildings Maintenance - Requirements for the maintenance management system, indicates which systems and services that must go through the maintenance process and in what period, enabling maintenance management quality. However, it is not always what happens in the buildings after entry into operation and use. In the survey, we tried so verify the relationship between the *predicted service life* and the warranty period of the building. The information analyzed were provided by an active construction of Recife, collected in a database from the technical assistance after work eight buildings in the Metropolitan Region of Recife. To measure the percentage difference between the design life and estimated service life, following the intervention of the technical assistance after work was used the factors method set out in ISO 15.686:2000 - Building and construction assets - Service life planning and recommended by NBR 15575-1:2013. The frequency of occurrence damage in buildings was analyzed by determining the rates of failure in the buildings. The results show to a reduction of the design life of the order of 20% of the reference service life, from values adopted in the Performance of Brazilian Standard; also point to a concentration of damage in the initial stage of construction, above 50%, which correlate with the conditional probability of failure curve (Bathtub Curve) sorting a high abrupt failure rate, ranking the building at the stage of infant mortality. These results reflect an unplanned variation in performance level proposed for the building. In this context, it is suggested to link the period of the works guarantee to the level of actual performance of the building. The application of reliability concepts allows infer about warranty period of the Building and make comparisons with the requirement of Brazilian law enforcement.

Keywords: performance, durability, service life, warranty, technical assistance after work.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Material entregue na obra.....	18.
Figura 2: Organograma das condições que afetam o desempenho.....	22.
Figura 3: Gráfico de desempenho ao longo do tempo.	23.
Figura 4: Organograma da estrutura da NBR 15.575:2013.	25.
Figura 5: Desenho esquemático das camadas do sistema de pisos.	29.
Figura 6: Organograma da interrelação entre as partes da ISO 15.686:2000....	37.
Figura 7: Organograma sequencial da vida de uma estrutura.	48.
Figura 8: Desenho esquemático da deformação da madeira.....	50.
Figura 9: Esquema da evolução da manutenção ao longo do tempo.....	53.
Figura 10: Organograma da classificação da manutenção.....	53.
Figura 11: Curva da banheira - Taxa de falhas (λ) em função do tempo (t)	56.
Figura 12: Gráfico da evolução da gestão da qualidade.....	58.
Figura 13: Fluxograma esquemático da Assistência Técnica Pós-obra.	60.
Figura 14: Gráfico da distribuição percentual dos danos por sistema construtivo.....	93.
Figura 15: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E01.....	95.
Figura 16: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E02.	96.
Figura 17: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E03.	97.
Figura 18: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E04.	98.
Figura 19: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E05.....	99.
Figura 20: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E06.	100.
Figura 21: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E08.	101.
Figura 22: Histograma da frequência absoluta da amostra global.....	104.
Figura 23: Gráfico da frequência relativa da amostra global.....	104.
Figura 24: Gráfico das curvas de taxa de falhas (λ) por empreendimento.....	106.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Quadro representativo dos valores de <i>VUPmínima</i>	35.
Quadro 2: Descrição evolutiva da NB1 até a NBR 6118:2014.....	43.
Quadro 3: Descrição das ocorrências registradas para E02.....	96.
Quadro 4: Descrição das categorias e consequências das falhas.....	105.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição dos requisitos gerais da NBR 15.575:2013.....	27.
Tabela 2: Descrição do sistema estrutural.	28.
Tabela 3: Linha do tempo de vida de um empreendimento.	36.
Tabela 4: Indicação dos valores de desvio em relação à VUR.....	38.
Tabela 5: Descrição das condições de influência dos fatores modificantes.....	40.
Tabela 6: Descrição dos mecanismos de degradação do concreto.	49.
Tabela 7: Descrição dos tipos de corrosão para os materiais metálicos.....	50.
Tabela 8: Empresas certificadas com sistema de qualidade – PE/2015.....	59.
Tabela 9: Descrição dos dados da assistência técnica pós-obra para E01.....	69.
Tabela 10: Referência dos pesos atribuídos aos fatores modificantes.....	72.
Tabela 11: Apresentação do número de ocorrências e taxa de falhas de E08...75.	
Tabela 12: Descrição dos valores calculados para taxa de falhas global.....	77.
Tabela 13: Descrição da caracterização dos empreendimentos.....	79.
Tabela 14: Número de ocorrências por empreendimento.....	79.
Tabela 15: Relação do número de ocorrências por tipo.....	81.
Tabela 16: Demonstrativo do total de ocorrências por sistema construtivo.....	82.
Tabela 17: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E01.....	85.
Tabela 18: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E02.....	87.
Tabela 19: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E03.....	88.
Tabela 20: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E04.....	89.
Tabela 21: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E05.....	90.
Tabela 22: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E06.	90.
Tabela 23: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E07.....	91.
Tabela 24: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E08.....	92.
Tabela 25: Valores estatísticos para a amostra global.....	93.
Tabela 26: Descrição da redução percentual da VUR das edificações.....	102.

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	- Norma Brasileira
VU	- Vida útil
VUP	- Vida útil de projeto
VUE	- Vida útil estimada
VUR	- Vida útil de referência
ATPO	- Assistência Técnica Pós-obra
RMR	- Região Metropolitana do Recife
BNH	- Banco Nacional de Habitação
IPT	- Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
MF	- Método dos Fatores
NB	- Norma Brasileira
PVC	- Cloreto de polivinila
CDC	- Código de Defesa do Consumidor

LISTA DE SÍMBOLOS

\bar{X}	- média aritmética
V	- variância amostral
Xi	- variável inicial
Xm	- variável final
n	- número de observações para amostra
Zi	- escore padronizado
Sn	- desvio padrão amostral
R	- amplitude amostral
K	- número de classes
h	- tamanho do intervalo
V	- variância amostral
Md	- mediana
lmd	- limite inferior da classe Md
ΣMd	- soma das freq. Anteriores
FMd	- frequência da classe Md
Mo	- moda
lm	- limite inferior da classe de maior frequência;
$\Delta 1$	- diferença entre a frequência da classe modal e da classe imediatamente anterior
$\Delta 2$	- diferença entre a frequência da classe modal e da classe imediatamente posterior
Q1	- primeiro quartil
lQ1	- limite inferior da classe;
Σf	- somatório das frequências anteriores;
FQ1	- frequência da classe Q1
Q3	- terceiro quartil
lQ3	- Limite inferior da classe;
As	- coeficiente de pearson

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	17
1.2 JUSTIFICATIVA	18
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 OBJETIVO GERAL	19
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.4 APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	19
2.0 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 DESEMPENHO	21
2.1.1 ASPECTOS CONCEITUAIS E HISTÓRICOS	21
2.1.2 DESEMPENHO AO LONGO DO TEMPO	22
2.1.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A NORMA DE DESEMPENHO	23
2.1.4 DESCRIÇÃO DAS PARTES DA NORMA	25
2.1.5 SISTEMA ELÉTRICO (SE)	33
2.2 DURABILIDADE	34
2.3 VIDA ÚTIL	35
2.4 MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL ESTIMADA	36
2.4.1 INTERVALO DE CONFIANÇA	41
2.5. MATERIAIS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	41
2.5.1 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS	42
2.5.2 DEGRADAÇÃO DOS MATERIAIS	47
2.6 OPERAÇÃO, USO E MANUTENÇÃO DAS EDIFICAÇÕES.....	52
2.6.1 ASPECTOS CONCEITUAIS.....	52
2.6.2 FALHAS NOS SISTEMAS	53
2.6.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE QUALIDADE	57
2.6.4 MODELO GERAL DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA PÓS-OBRA (ATPO)	59
2.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PRAZO DE GARANTIA DAS OBRAS	61
2.7.1 ASPECTOS CONCEITUAIS.....	61
2.7.2 MANUAL DO PROPRIETÁRIO.....	63
3.0 METODOLOGIA	65
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	65
3.2 ASSISTÊNCIA TÉCNICA PÓS-OBRA	66
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	67
3.4 DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL ESTIMADA	68
3.3 DETERMINAÇÃO DA TAXA DE FALHAS	74
4.0 APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS FATORES E DA TAXA DE FALHAS	78
4.1 INTRODUÇÃO	78
4.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS E LOCALIZAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS.....	78
4.3 DEMONSTRATIVO DOS DADOS E INFORMAÇÕES COLETADAS.....	79
4.4. FATORES MODIFICANTES	82
4.4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS FATORES	84
4.4.2 DETERMINAÇÃO DA TAXA DE FALHAS	94
4.4.3 SÍNTESE DA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	106
5.0 CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS	111
5.1 CONCLUSÕES.....	111
5.2 FUTUROS TRABALHOS.....	112
REFERÊNCIAS	113

1. INTRODUÇÃO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, visando apontar caminhos para melhoria dos processos de construção, no ano de 2013 publicou a ABNT NBR 15.575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho, onde estão descritos requisitos, critérios e métodos de avaliação dos diversos sistemas construtivos necessários para a produção de uma edificação.

Ampliar a vida útil (VU) de uma estrutura habitacional, considerando inclusive a influência do ambiente no desempenho da construção ao longo do tempo, tem sido prioridade para a construção civil. Assim, fazer uma correlação entre os parâmetros utilizados para determinação da vida útil de projeto (VUP) e as condições de operação e uso, como também de degradação natural e da qualidade dos materiais e componentes empregados na obra, torna-se essencial para se estimar por quanto tempo a edificação poderá sobreviver, mantendo as condições de funcionalidade e/ou habitabilidade projetadas.

A aplicação do Método dos Fatores, sob o nível de função matemática, para determinação da vida útil estimada (VUE) de um sistema construtivo e a determinação da taxa de falhas (λ) desse mesmo sistema, após a entrada em operação e uso, permitiu avaliar o estágio em que se encontravam as edificações sob a ótica do desempenho versus tempo. Para aplicação das equações matemáticas foi utilizado o banco de dados de uma empresa construtora e incorporadora do Recife, cujo conjunto de registros foi proveniente da Assistência Técnica Pós-obra (ATPO) está inserida em uma das etapas de trabalho do sistema de qualidade, de oito empreendimentos construídos na Região Metropolitana do Recife.

A possibilidade de que sejam utilizados dados e informações iguais ou equivalentes ao da Assistência Técnica Pós-obra para nortear os projetista, construtores e usuários na definição da vida útil de projeto (VUP), a fim de que a VUP seja compatível com as condições em que está inserida a construção e, por consequência, influenciar na definição de parâmetros objetivos para se estabelecer os prazos de garantia das obras e ao mesmo tempo acompanhar se a VUP está sendo atendida, fazem parte dos resultados obtidos.

1.1 Considerações Gerais

Na década de 1970, o Banco Nacional de Habitação (BNH) encomendou ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) o desenvolvimento de técnicas de controle construtivo e que ao mesmo tempo pudessem ser parâmetro para garantir qualidade às unidades habitacionais entregues a população. Pode-se então dizer que esses foram os primeiros passos para se alcançar uma norma que apresentasse variáveis que afetam a construção e que precisam ser consideradas na avaliação de desempenho. Desde então a indústria da construção civil vem sendo solicitada a melhorar a qualidade dos produtos que disponibiliza para o mercado consumidor.

Nos dias atuais, a produção acelerada de unidades habitacionais no Brasil tem sido importante para redução do passivo com habitação existente há décadas. O país ultrapassa, hoje, 204 milhões de habitantes (IBGE, 2015) e apresenta ainda um déficit habitacional acima de 5,0 milhões de moradias (Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC, 2013). Diante disto se verifica a necessidade de se manter uma produção elevada de edificações, mas também é importante que seja sob condições de qualidade adequadas, de modo a atender as expectativas dos usuários.

A publicação da NBR 15.575:2013 - Edificações habitacionais – Desempenho, confere não apenas ao construtor uma visão mais clara sobre suas obrigações, mas também ao fornecedor de materiais e serviços, participe fundamental do processo construtivo, como ao próprio usuário. Várias etapas foram vencidas na elaboração do texto da norma para atingir o patamar atual.

Para atender à norma de desempenho, torna-se necessário o cumprimento dos parâmetros definidos pelo conjunto normativo vigente no Brasil para todas as etapas do processo construtivo, desde o projeto até a manutenção das edificações. Nesse sentido, a NBR 15.575:2013 assume o papel balizador da qualidade construtiva para as edificações, o que deve levar os empreendedores da indústria da construção civil a rever os métodos de construção a fim de melhorar a vida útil das obras, como também, contribuir com a sustentabilidade ambiental.

Do ponto de vista da manutenção, faz-se necessário não apenas observar de forma rigorosa os prazos para realização das manutenções prediais descritas no manual do proprietário (ABNT, 2012), mas também ter conhecimento prévio dos materiais, figura 1, e dos métodos construtivos utilizados para elevação da edificação.

Pois, apenas com este conhecimento é que o proprietário será capaz de verificar a evolução de um possível problema patológico não visível, uma vez que cabe a este mesmo usuário a responsabilidade por manter a edificação.



Figura 1: Material entregue na obra.

A degradação imposta às edificações por força do envelhecimento natural de seus componentes e dos materiais empregados na obra, exige uma permanente atenção aos sinais que se apresentam ao longo do tempo, como também, o conhecimento das recomendações de projeto. A vida útil de projeto (VUP) está relacionada diretamente com o uso e operação da edificação. Entretanto não se verifica claramente uma correlação entre a VUP e o prazo de garantia da obra.

1.2 Justificativa

A realização das manutenções prediais descritas no manual do proprietário e o conhecimento prévio dos materiais e métodos construtivos são condições necessárias para um bom desempenho da edificação, objetivando atender a vida útil de projeto (VUP).

Assim, determinada a VUP, algumas proposições são colocadas: quais os impedimentos para que os prazos de garantia sejam iguais a $VUP_{mínima}$? Quais os critérios definidos para determinação dos prazos de garantia dos sistemas construtivos? Qual é a relação entre a vida útil estimada (VUE) e o prazo de garantia? Nesse contexto, a ausência de estudos que determinem a relação entre a VUE e o prazo de garantia de uma obra justificam esta pesquisa.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a vida útil estimada das edificações, a partir do desgaste dos sistemas construtivos, após a entrada em operação e uso, sob a ótica do desempenho conforme pressupõe a ABNT NBR 15.575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho.

1.3.2 Objetivos Específicos

Determinar a vida útil de estimada (VUE), através da aplicação do Método dos Fatores (*MF*), definido pela ISO 15.686-1:2000 e prevista na NBR 15.575:2013 para avaliação da vida útil de projeto (VUP) e dos prazos de garantia.

Determinar a taxa de falhas (λ) dos sistemas construtivos das edificações estudadas a fim de correlacionar com a curva de probabilidade condicional, “curva da banheira”, confirmando o período de vida útil dos sistemas a partir dos dados coletados pela Assistência Técnica do Pós-obra.

1.4 Apresentação da Dissertação

A dissertação será subdividida em 05 (cinco) capítulos.

Capítulo 1, introdutório, faz-se uma breve apresentação dos assuntos abordados na pesquisa. Acrescenta-se nesta parte do trabalho a justificativa abordando aspectos gerais sobre a interrelação entre a vida útil das construções e os parâmetros utilizados para apontar os prazos de garantia das obras. Descreve ainda os objetivos (geral e específicos), e como será disposto o trabalho.

Capítulo 2 trata sobre o referencial teórico, sendo o conteúdo principal considerações a respeito do desempenho, durabilidade, vida útil, como também uma breve descrição sobre os materiais empregados na construção civil e os principais fatores de degradação. Concluindo esse capítulo, foram apresentadas considerações sobre operação, uso e manutenção das edificações e sobre o prazo de garantia das obras.

Capítulo 3 discorre sobre a metodologia utilizada para levantamento e tratamento dos dados da Assistência Técnica Pós-obra, consistindo na tabulação, organização e interpretação dos dados com a finalidade de determinar a vida útil estimada e a taxa de falhas.

Capítulo 4 aborda o desenvolvimento da aplicação do método dos fatores e da determinação da taxa de falhas dos sistemas construtivos das edificações analisadas.

Capítulo 5 apresenta as avaliações e resultados da pesquisa e as sugestões para trabalhos posteriores.

2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desempenho

2.1.1 Aspectos Conceituais e Históricos

Utilizar bem os materiais disponíveis na natureza ou criados artificialmente, sempre foi objetivo do homem. Para que serve um produto ou um serviço pré-estabelecido que não corresponda a funcionalidade para que fora criado ou proposto? Neste sentido é que Melo (2005, p. 9) remete ao *Código de Hamurabi*, datado de 2.150 a.C., pois desde esse tempo a humanidade já demonstrava uma preocupação com a durabilidade e funcionalidade das habitações, uma vez que, se o construtor negociasse um imóvel que não fosse sólido suficiente para atender a finalidade e desabasse, ele, o construtor, seria responsabilizado.

Atualmente, pode-se analisar a solidez e/ou o desempenho de uma edificação, através da avaliação dos componentes e dos métodos construtivos utilizados para erguer uma obra, não obstante a necessidade do entendimento de que deveria ter o construtor (construtoras e/ou incorporadoras) sobre desenvolver sua atividade sob a ótica da qualidade demanda empregar tempo, recursos e dinheiro (TOWNSEND E GEBHARDT, 2005 apud MELO, 2005, p. 12).

Para Ferreira (2008), os significados da palavra desempenho podem ser: “derivação regressiva de desempenhar, ato de cumprir a missão, cumprir o encargo, o dever”. Vê-se que não se trata apenas de uma boa “*performance*” sobre um determinado produto, mas a obrigação de que algo possa cumprir a função para que fora destinado.

O conceito de desempenho passou a ser difundido mundialmente com a publicação, em 1987, da série ISO 9000, conjunto normativo de padrões internacionais a respeito da Administração e Garantia da Qualidade. Publicada pela *International Organization for Standardization (ISO)*, criada em 1947, com sede em Genebra na Suíça (BALLESTERO-ALVAREZ 2010, p.172).

A série ISO 9000 dispõe sobre qualidade na gestão organizacional, não tratando de aspectos relacionados ao produto final desenvolvido pela empresa. Vale ressaltar que não há como desenvolver produtos e serviços de alto desempenho sem que a empresa seja voltada para a qualidade, conforme indicada na Figura 2.

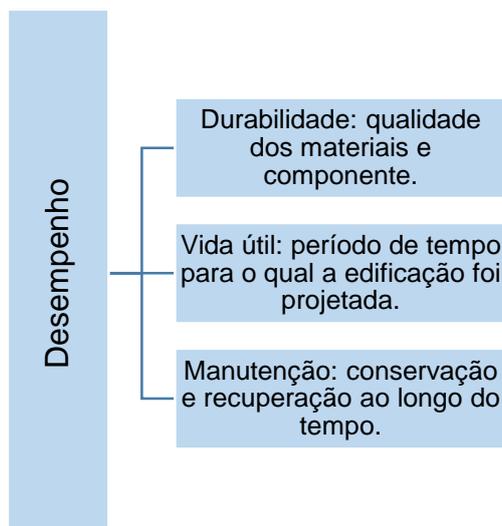


Figura 2: Organograma das condições que afetam o desempenho. Fonte: a autora.

Evoluindo o processo construtivo da gestão da qualidade necessariamente se chegará ao desempenho, que é a capacidade de responder satisfatoriamente as definições projetadas acatando as exigências e expectativas do usuário sob três aspectos: durabilidade, vida útil e manutenção.

2.1.2 Desempenho ao longo do tempo

É responsabilidade do construtor e do usuário definir o nível de desempenho para a edificação, o qual está diretamente relacionado aos conceitos e ações de durabilidade e vida útil dos sistemas construtivos e, conseqüentemente, da obra.

Os requisitos de desempenho devem ser atendidos desde a elaboração do projeto e; ao longo da vida útil da obra e dos sistemas; incluindo as etapas de construção e manutenção, mantendo-se os aspectos de funcionalidade, estética e segurança, o que corresponderá, ao desempenho esperado, apresentado na Figura 3.

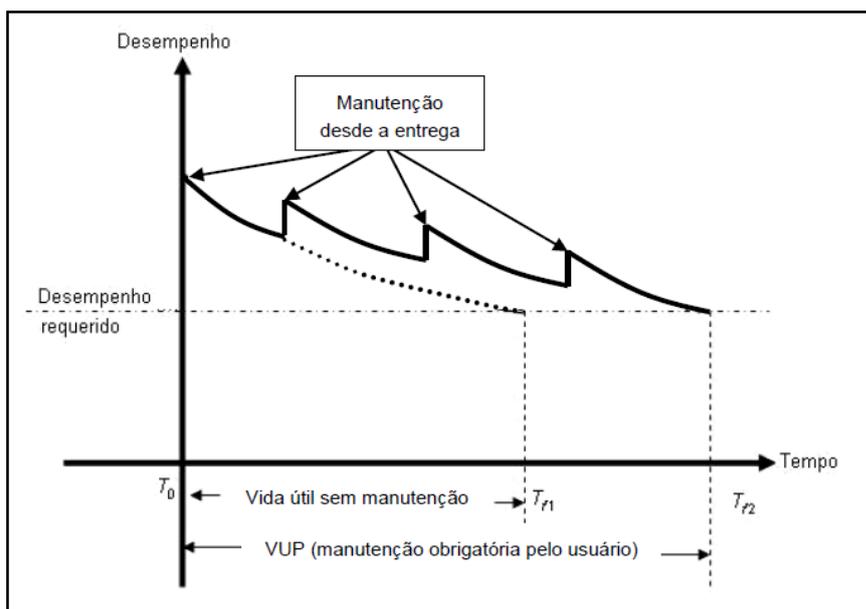


Figura 3: Gráfico de desempenho ao longo do tempo. Fonte: ABNT (2013, p. 43)

2.1.3. Considerações sobre a Norma de Desempenho

A NBR 15.575:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho, também denominada “Norma de Desempenho”, sugere adequação dos processos construtivos visando atender aos conceitos de durabilidade e vida útil, objetivamente para edificações de até 05 (cinco) pavimentos, cabendo as recomendações, entretanto, para edifícios de múltiplos andares.

A norma é dividida em seis partes, descritas a seguir:

Parte 1 – Requisitos Gerais;

Parte 2 – Requisitos para os sistemas estruturais;

Parte 3 – Requisitos para os sistemas de pisos;

Parte 4 – Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;

Parte 5 – Requisitos para os sistemas de coberturas; e

Parte 6 – Requisitos para os sistemas hidrosanitários.

Esses sistemas são avaliados sob os seguintes aspectos:

- a) Exigências do usuário;
- b) Incumbência dos intervenientes;
- c) Avaliação de desempenho;

- d) Desempenho estrutural;
- e) Segurança contra incêndio;
- f) Segurança no uso e operação;
- g) Estanqueidade;
- h) Desempenho térmico;
- i) Desempenho acústico;
- j) Desempenho lumínico;
- k) Durabilidade e manutenibilidade;
- l) Saúde, higiene e qualidade do ar;
- m) Conforto tátil e antropodinâmico, e
- n) Adequação ambiental.

A estrutura da Norma de Desempenho está apresentada no organograma da Figura 4. O esquema mostra que os requisitos e critérios devem ser analisados a partir dos métodos de avaliação específicos para cada etapa da construção, considerando desde o exame dos projetos utilizados para a implantação da obra, inclusive a análise do entorno, até os materiais empregados nas etapas de construção e manutenção.

Vê-se, portanto, que a avaliação proposta pela norma não se resume a averiguações determinísticas através de ensaios laboratoriais, mas também da observação completa da edificação.

Certamente que, para avaliação de cada sistema construtivo, haverá a aplicação de ensaios específicos, ou seja, para análise do sistema estrutural não será necessária aplicação do ensaio de desempenho lumínico, embora a estrutura deva contemplar condições para possibilitar luminosidade natural adequada à função da edificação.

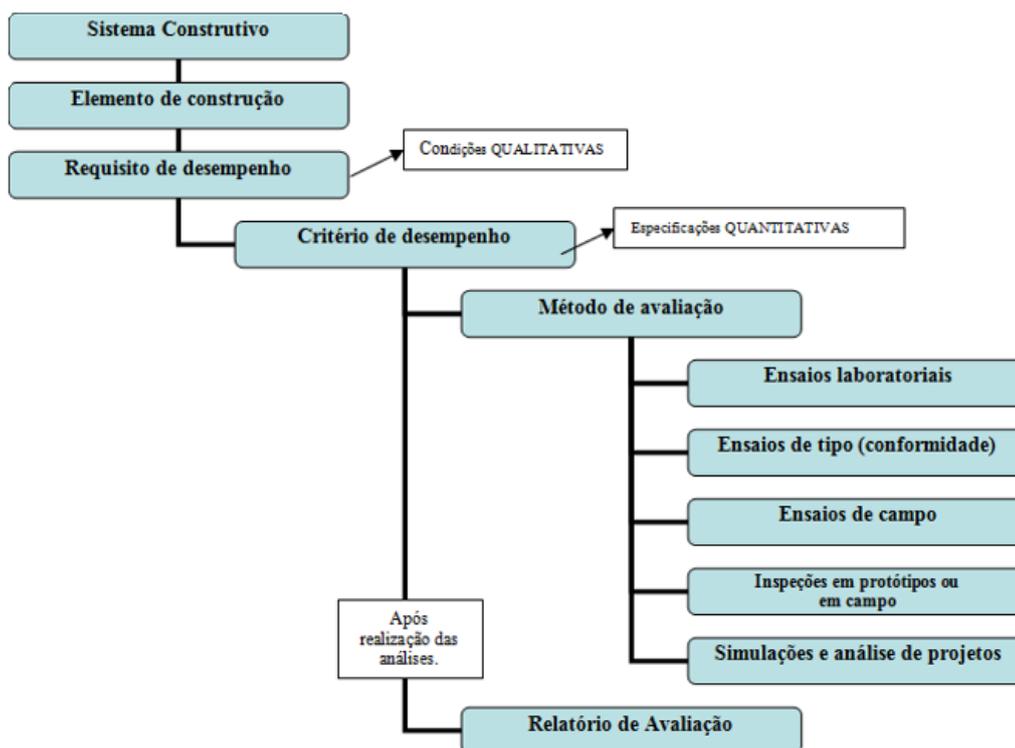


Figura 4: Organograma da estrutura da NBR 15.575:2013. Fonte: NBR 15.575:2013, adaptado.

Entretanto, é possível compreender que haverá sempre a necessidade da interligação permanente entre o projetista, o executor e o usuário. Nota-se ainda que alguns sistemas construtivos como o sistema elétrico, de refrigeração ou de telefonia, não fazem parte direta do corpo da norma, entretanto exige que os projetistas levem em consideração as mesmas bases de desempenho a ser cumprida para os demais sistemas de instalações prediais, como, por exemplo, o hidrosanitário de modo a manter a integridade de toda a instalação.

A NBR 15.575:2013 incluiu ainda níveis de desempenho para as edificações, mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). Conforme a CBIC (2013), o critério M deve ser obrigatoriamente atingido pelos diferentes elementos e sistemas da construção; os outros critérios são estabelecidos a partir de parâmetros que ampliam a durabilidade e a vida útil dos sistemas, sendo os patamares I e S facultativos a implantação pelo empreendedor e usuário.

2.1.4 Descrição das partes da Norma

a) Parte 1 – Requisitos Gerais

A análise de desempenho prescrita exige que não apenas o construtor e o usuário tenham responsabilidades pela vida longa da construção, mas também, em igual patamar os fornecedores de materiais e de componentes construtivos. Nesta parte 1 da NBR 15.575:2013 estão descritas as incumbências dos intervenientes, cabendo ao fornecedor apresentar resultados comprobatórios do desempenho dos produtos fornecidos para a construção.

Cabe também ao projetista, conforme descreve a norma, estabelecer de forma clara e objetiva, a vida útil projetada (VUP) de cada sistema construtivo, principalmente se a VUP estiver acima dos requisitos e critérios definidos para um nível de desempenho mínimo (M). Essa recomendação acrescenta esclarecimentos ao usuário, responsável pela manutenção da edificação após a entrada em operação.

Nessa parte da norma, são tratados os procedimentos gerais a serem adotados na avaliação de desempenho dos sistemas construtivos, sob a ótica da Segurança, Habitabilidade e Sustentabilidade, apresentados na Tabela 1.

Entretanto, não são todos os sistemas que serão avaliados por todos os elementos de construção, como, por exemplo, o sistema estrutural, que será avaliado apenas pelo desempenho estrutural e durabilidade e manutenibilidade.

Os diversos requisitos são baseados no conjunto normativo vigente, que rege o processo construtivo de uma edificação no Brasil. No entanto, a referida norma não se aplica aos casos de reforma, “retrofit” (readequação funcional e/ou estrutural) ou edificações provisórias.

Tabela 1: Descrição dos requisitos gerais da NBR 15.575:2013.

Parte 1: Requisitos Gerais		
Exigências do usuário	Atender aos fatores de SEGURANÇA, HABITABILIDADE e SUSTENTABILIDADE .	
Incumbência dos intervenientes	Fornecedores, Projetistas, Construtor, Incorporador e Usuário.	
Avaliação de desempenho	Realizadas por instituições de ensino e pesquisa; projetos elaborados com base topográfica e geológica; análise do entorno; segurança e estabilidade - agressividade do ambiente .	
Fatores Construtivos		
SEGURANÇA	1) Desempenho estrutural	Avalia o estado limite último e estados-limites de serviço - em conformidade com as normas de projeto, a NBR 15.575-2 e a NBR 15.575-6.
	2) Segurança contra incêndio	Proteção contra descarga atmosférica; risco de ignição nas instalações elétricas; e vazamentos de gás. Minimizar o colapso estrutural.
	3) Segurança no uso e operação	Avalia a segurança dos sistemas e das instalações.
HABITABILIDADE	4) Estanqueidade	Evitar exposição à água de chuva, umidade proveniente do solo e do uso. Avalia a estanqueidade da edificação seja a fontes externas ou internas.
	5) Desempenho térmico	Para avaliação deve ser considerada a ZONA BIOCLIMÁTICA definida na NBR 15.220-3:2005 e as condições térmicas no verão e no inverno.
	6) Desempenho acústico	Avalia isolamento acústica de vedações externas, entre ambientes e a fontes de ruídos de impacto.
	7) Desempenho lumínico	Avalia o desempenho de iluminação natural e artificial da edificação
	8) Saúde, higiene e qualidade do ar.	Propiciar condições para evitar proliferação de microorganismos, de poluentes na atmosfera interna da edificação e no ambiente da garagem.
	9) Funcionalidade e acessibilidade	Avalia a altura de pé direito mínima, a disponibilidade de espaços para uso e manutenção dos móveis e equipamentos-padrão, adequação para pessoas com deficiências físicas ou com mobilidade reduzida (<i>PMR</i>) e por fim as condições para ampliação da unidade habitacional (edificações térreas e assobradadas).
	10) Conforto tátil e antropodimâmico	Avalia a presença de rugosidades, contundências, depressões ou outras irregularidades que impeçam o conforto tátil e adaptação ergonômica. A adequação dos dispositivos de manobra (trincos, puxadores, guilhotinas, etc.) e a força necessária para acionamento desses dispositivos.
SUSTENTABILIDADE	11) Durabilidade e manutenibilidade	Exigência econômica do usuário que está associada ao custo global do imóvel. Avalia a vida útil de projeto (VUP) e a durabilidade e a manutenibilidade através de inspeção predial.
	12) Adequação ambiental.	Apesar de estar relatado na norma que não foi possível estabelecer critérios e métodos de avaliação do impacto ambiental, recomenda considerar riscos de desastres geotécnicos, condições relativas a exploração e consumo de recursos naturais e o consumo e reuso da água.

Fonte: NBR 15.575:2013, adaptado.

b) Parte 2 – Requisitos para os sistemas estruturais (SE)

Para avaliação de desempenho do sistema estrutural, a norma prevê o uso de protótipos para os ensaios em laboratório, como também, caso seja possível, a realização de ensaios diretamente na obra, conforme indicado na Tabela 2. Faz-se necessário observar ainda que o uso das normas vigentes para elaboração de projeto, execução e manutenção das construções são requisitos para análise de desempenho, acrescentando-se o que a ABNT NBR 15.575:2013 determina.

Tabela 2: Descrição do sistema estrutural.

Sistema Estrutural (SE)		
Requisito	Critério	Método de avaliação
7.2 Estabilidade e resistência do SE e dos demais elementos com função estrutural.	Estado limite último	Análise do projeto
7.3 Deformações ou estado de fissuração	Estados limites de serviço	Verificar as condições apresentada na Tabela 1 – deslocamentos limites para cargas permanentes e cargas acidentais em geral, e Tabela 2 – flechas máximas para vigas e lajes; ou proceder a análise de projeto.
7.4 Impactos de corpo mole e corpo duro	Para elementos estruturais localizados na fachada da edificação, em exteriores acessíveis ao público.	Verificar as condições apresentada na Tabela 3 – Impacto de corpo mole na face externa (define a energia a ser aplicada e quais as consequências)
14.1 Durabilidade	Vida útil de projeto do sistema estrutural	Análise de projetos; ou ensaios físico-químicos e de envelhecimento acelerado; ou aplicação de modelos para previsão do avanço das frentes de carbonatação, cloretos, corrosão e outros.
14.2 Manutenção	Manual de operação, uso e manutenção do sistema estrutural.	Atendimento as diretrizes das NBR 5.674, NBR 15.575-1, NBR 14.037 constantes no manual de operação, uso e manutenção da edificação.

Fonte: NBR 15.575:2013, adaptado.

De acordo com ABNT (2013), o desempenho da edificação está intimamente associado a todos os projetos de implantação e ao desempenho das fundações, devendo as disposições normativas referente a este tópico serem cumpridas.

c) Parte 3 – Requisitos para os sistemas de pisos (SP)

O sistema de piso está representado esquematicamente na Figura 5, de acordo ABNT (2013). Esta parte da norma determina que a avaliação de desempenho desse sistema garanta a segurança estrutural e que não ocorram falhas que ponham em risco a integridade física do usuário.

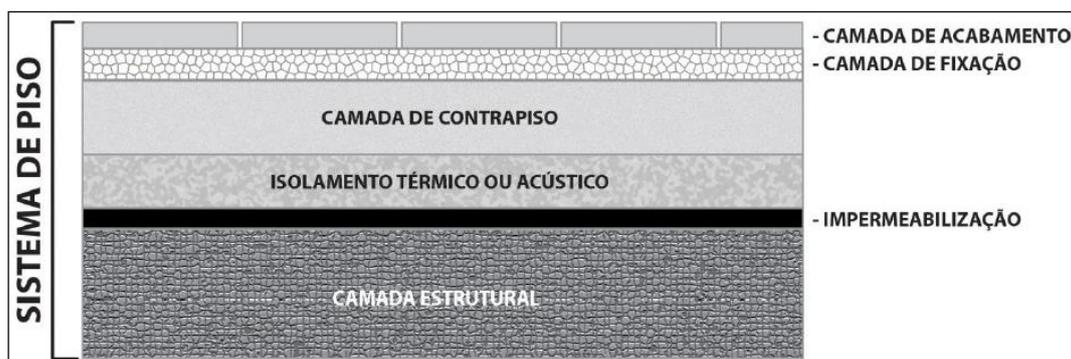


Figura 5: Desenho esquemático das camadas do sistema de pisos. Fonte: ABNT (2013).

Para alcançar este critério, as construções devem ser projetadas sob os parâmetros determinados pela norma quanto à segurança ao fogo, segurança no uso e operação, garantir estanqueidade evitando-se a deterioração das camadas do piso, garantir desempenho acústico, como também durabilidade e manutenibilidade, sendo este um dos requisitos fundamentais para alcançar a *VUP* para este sistema e ainda observar as condições prescritas para funcionalidade e acessibilidade.

No que se refere a este último requisito, funcionalidade e acessibilidade, o sistema deve ser adequado para pessoas com deficiência física ou pessoas com mobilidade reduzida; não havendo, na norma, distinção quanto a unidades habitacionais residenciais, comerciais, industriais ou mistas, devendo haver condição de acessibilidade em todas as construções.

Outro aspecto importante é o requisito quanto ao conforto tátil, visual e antropodinâmico. De acordo com a ABNT (2013), embora o julgamento estético tenha um componente subjetivo, o controle, regularidade e homogeneidade das camadas superficiais totalizam uma parcela relevante das camadas de acabamento do sistema de piso.

d) Parte 4 – Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE)

Esse sistema, apesar de não interferir de forma direta na função estrutural da construção, pode atuar como contraventamento de estruturas reticuladas, ou sofrer ações decorrentes das deformações das estruturas, além de interagir diretamente

com outros elementos como esquadrias e também com os sistemas de piso, cobertura e instalações, conforme presume a ABNT (2013).

Com base neste conceito, compreende-se a importância do SVVIE. Após a construção da infra e da superestrutura da obra, o sistema de vedação será responsável por equilibrar a edificação, e também atuar nas situações em que sejam necessárias correções estruturais, uma vez que esse sistema é responsável pela construção de fachadas e divisórias internas, limitando os ambientes assim como a verticalidade da edificação.

Por sofrer interferência direta da trabalhabilidade da estrutura e da acomodação das fundações, os requisitos de estabilidade e resistência exigem como critério de desempenho o estado limite último, a fim de evitar deslocamentos e fissuração, como também capacidade de suporte para peças suspensas.

Outros aspectos que devem ser considerados na análise de desempenho para o SVVIE é a segurança contra incêndio, devendo:

- i) impedir ou dificultar a propagação generalizada do fogo;
- ii) ser estanque à água proveniente da chuva ou de qualquer outra fonte, inclusive na junção entre as esquadrias e as paredes, sejam internas ou externas;
- iii) possuir um desempenho térmico capaz de prover condições de ventilação e sombreamento satisfatório para o usuário e;
- iv) garantir desempenho acústico adequado ao que preconiza a norma garantindo isolamento sonora para cada ambiente.

Os requisitos relacionados a durabilidade e manutenibilidade definem limitações de deslocamentos, fissurações e falhas nas paredes externas em função de ciclos de exposição ao calor e resfriamento durante a vida útil da edificação, desde que submetidos às intervenções periódicas de manutenção, sejam preventivas ou corretivas desde que especificadas no manual de operação, uso e manutenção do usuário, conforme ABNT (2013).

e) Parte 5 – Requisitos para os sistemas de coberturas (SC)

A norma define como sistema de cobertura o “conjunto de elementos e/ou componente, dispostos no topo da construção, com as funções de assegurar estanqueidade às águas pluviais e salubridade, proteger a edificação da deterioração provocada por agentes naturais e contribuir com o conforto termoacústico”.

As exigências para que o SC tenha um desempenho dentro dos padrões mínimos definidos pela norma são:

- i) A resistência a deformabilidade;
- ii) ao risco de arrancamento sob ação do vento; suportar cargas transmitidas por pessoas ou objetos na montagem ou no caso de manutenção;
- iii) resistência a impacto de corpo duro e corpo mole; possibilitar fixação de forros;
- iv) resistir sem avarias a ação do granizo.

Faz-se necessário garantir também segurança contra incêndio; segurança no uso e operação, especificamente relacionado ao risco de deslizamento de componentes capaz de impedir a estanqueidade do sistema; segurança em guarda-corpos de coberturas e platibandas e; segurança ao aterramento para coberturas metálicas.

Para as condições de estanqueidade e impermeabilidade, a norma estabelece que durante a vida útil do SC não deve ocorrer penetração ou infiltração de água em face das movimentações térmicas que influenciam na superposição dos diferentes materiais e componentes do sistema, como também dos materiais de rejuntamento. Enfoca, ainda que, a estanqueidade nas regiões centrais e nas extremidades dos panos de coberta deve ser mantida.

Quanto ao desempenho térmico, deverá ser considerada, para avaliação desse item, a localização da edificação em relação a uma das oito zonas bioclimáticas, que interfere diretamente na transmissão e absorção da radiação solar. Valores máximos e mínimos também estão estabelecidos na norma de desempenho. O desempenho acústico deve ser avaliado a partir do isolamento acústico entre o meio externo e o interno de coberturas, também disposto em ABNT (2013).

f) Parte 6 – Requisitos para os sistemas hidrosanitários (SH)

A norma estabelece que o SH é o responsável direto pelas condições de saúde e higiene para habitabilidade. Uma vez que o SH atua em conjunto com os demais sistemas, é necessário prover a harmonização da edificação conduzindo o SH a absorver as deformações das estruturas e das interações entre o solo e a estrutura (ABNT, 2013).

Para o desempenho mínimo do SH, a ABNT (2013) inicialmente trata da segurança estrutural, indicando que o sistema deve resistir às solicitações mecânicas durante o uso, devendo os fixadores das tubulações resistir a cinco vezes o peso próprio das tubulações cheias d'água, como também não apresentar deformações que excedam 0,5% do vão e as solicitações dinâmicas devem resistir a golpes e vibrações que ponham em risco a estabilidade estrutural de modo a atender a mais um requisito.

A segurança contra incêndio exige uma reserva de água para o combate às chamas, devendo a edificação dispor de reservatório com capacidade que exceda o volume necessário para o consumo dos usuários; exige ainda a instalação de extintores conforme projeto devidamente acatado pelo Corpo de Bombeiros e conforme legislação específica.

No que se refere ao requisito estanqueidade do SH, as tubulações devem suportar as pressões previstas em projeto, como também não devem apresentar vazamentos quando submetidas a pressão hidrostática de 1,5 vez a projetada, dentre outros critérios de avaliação (ABNT, 2013). Para as instalações de esgoto e águas pluviais as tubulações devem suportar uma pressão estática determinada pela norma sem apresentar, durante o tempo de ensaio, vazamentos.

A durabilidade e a manutenibilidade exigem como requisito manter a capacidade funcional durante a vida útil projetada. Especificamente relacionado a manutenção o projeto de instalações deve prever dispositivos de inspeção. Do ponto de vista da saúde, higiene e qualidade do ar, é necessário evitar contaminações através da introdução de substâncias tóxicas ou impurezas, como também se deve evitar a contaminação biológica.

Os requisitos relacionados a funcionalidade e acessibilidade e ao conforto tátil e antropodinâmico exigem a aplicação dos critérios definidos em projeto e o atendimento às normas específicas. Por fim, no que tange a adequação ambiental é fundamental reduzir a demanda de uso da água e, conseqüentemente, do esgoto produzido.

2.1.5 Sistema Elétrico (SE)

De acordo com CBIC (2013, p. 21), diversos elementos e sistemas não foram contemplados no atual estágio da normalização brasileira, para o SE, devem ser consideradas as exigências registradas da ABNT NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão.

Entretanto, como o sistema elétrico é de suma importância para a edificação e que em diversos pontos da ABNT NBR 15.575 estão descritas interfaces dos sistemas normatizados e o SE, faz-se necessário apresentar alguns conceitos e definições desse sistema.

Para Cotrim (2009, p. 1), as instalações elétricas são como um circuito elétrico ou um conjunto de circuitos elétricos inter-relacionados. É formado essencialmente por componentes elétricos que conduzem correntes. Denominam-se por “componentes elétricos” materiais, acessórios, dispositivos, instrumentos, equipamentos (de geração, conversão, transformação, transmissão, armazenamento, distribuição ou utilização de eletricidade), máquinas, ou segmentos ou partes da instalação.

A avaliação das condições do sistema elétrico da edificação deve considerar, de acordo com Creder (1991), alguns aspectos relevantes, tais como:

- a) Quanto aos projetos: devem ser analisadas as justificativas das soluções utilizadas; o esquema de detalhes necessários as condições de execução de projeto; as especificações do material a ser empregado e o método de aplicação;
- b) quanto a proteção, seleção e manutenção dos circuitos: devem ser observadas a conformidade com as normas; atendimento as condições de serviço obedecendo a tensão admitida para a instalação; as condições ambientais de temperatura, altitude, presença de água, a fim de facilitar a operação, inspeção e manutenção do sistema;

As condições de iluminação artificial interna e externa da edificação, de instalação da força motriz, de sinalização do sistema elétrico, e de instalação de sistema de proteção de descargas atmosféricas (SPDA) também devem ser analisados quanto ao desempenho.

2.2 Durabilidade

A capacidade da edificação e seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas, é a durabilidade de uma edificação, de acordo com ABNT (2013). No entanto, é importante observar que, apesar da edificação funcionar como um conjunto, cada sistema construtivo possui particularidades, exigindo, assim, avaliação diferenciada quanto ao tempo de vida útil dos sistemas e seus componentes.

O envelhecimento natural das edificações deve ser considerado desde o momento em que a construção é pensada, levando-se em consideração as etapas de projeto e execução. Para Possan (2013, p 32), “a durabilidade não é uma propriedade intrínseca dos materiais, mas sim uma função relacionada com o desempenho dos mesmos sob determinadas condições ambientais. O envelhecimento destes resulta das alterações das propriedades mecânicas, físicas e químicas, tanto na superfície como no seu interior, em grande parte devida à agressividade do meio ambiente.”

Neste sentido, a entrada em vigor da NBR 15.575:2013 elimina as dúvidas referentes à importância de que se cumpram as manutenções previstas em projeto, como também, daquelas recomendadas pela própria norma, mas, sobretudo, a observância na utilização de materiais duráveis na execução da obra. O texto normativo apresenta os valores mínimos para vida útil de projeto, de acordo com o Quadro 1.

Os aspectos relacionados à durabilidade nem sempre foram importantes requisitos para as normas técnicas relacionadas aos materiais de construção ou mesmo ao funcionamento dos sistemas construtivos. No entanto, o entendimento de que o ambiente é fator determinante na condição de degradação das edificações, que são fatores preponderantes para garantir durabilidade das construções, foram gradativamente inseridas no corpo normativo utilizado atualmente pela construção civil.

Conforme Bertolini (2010, p. 21), “o conceito de durabilidade é estritamente associado à definição de vida útil de projeto (ou expectativas): uma estrutura só pode ser considerada durável se sua vida útil for pelo menos igual a requerida na fase de projeto.”

Quadro 1: Quadro representativo dos valores de $VUP_{mínima}$.

Sistema	VUP anos	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 30

* Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à norma ABNT NBR 14037.

Fonte: ABNT (2013).

A ABNT-1 (2013, p. 10) define como Vida Útil de Projeto (VUP): a determinação do tempo definido pelo incorporador e/ou proprietário e projetista, para o qual um sistema é projetado a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos supondo o cumprimento da periodicidade correta de execução dos processos de manutenção especificados no Manual de Uso, Operação entregues no ato da entrega do imóvel ao usuário.

A norma acrescenta ainda, para efeito da durabilidade, três conceitos fundamentais para determinação da VUP, que são:

- i) O efeito que uma falha acarreta no desempenho de um subsistema ou elemento;
- ii) maior facilidade ou dificuldade de manutenção e reparação em caso de falha no desempenho; e
- iii) custo de correção da falha, incluindo custos de correção de outros elementos afetados pela falha (impermeabilização e os revestimentos do piso).

2.3 Vida Útil

Considerando o significado literal da palavra “vida”, apresentado por Ferreira (2008), que corresponde ao “espaço de tempo que vai do nascimento até a morte” e acrescentando-se o complemento “útil”, significando “que pode ter algum uso ou serventia ou ainda período reservado ao trabalho produtivo”. Lordsleem Jr. (2012),

definiu uma linha de tempo para as edificações com etapas bem marcantes, as quais estão expressas na Tabela 3.

Pode-se, portanto, definir *vida útil (VU)* como sendo o período durante o qual uma estrutura é capaz de garantir não apenas estabilidade, mas todas as funções para as quais foi projetada, esclarece Bertolini (2010, p. 21).

Tabela 3: Linha do tempo de vida de um empreendimento.

Sequência de vida de um organismo vivo	Sequência de vida dos empreendimentos
Concepção/Geração/Nascimento	Concepção/Oportunidade/Projeto
Infância	Construção/Entrega
Adulto	Operação, uso e manutenção
Envelhecimento	Degradação/Recuperação
Morte	Fim da vida útil/perda de funcionalidade/demolição

Fonte: Lordsleem Jr. (2012), adaptado.

Faz-se necessário acrescentar que as características, propriedades, uso e a realização dos procedimentos de manutenção periódica, sejam preventivas ou corretivas, definidas em projeto, influenciam de forma direta a condição dos sistemas atenderem as expectativas de vida útil.

A definição normativa diz que “vida útil” é o tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam as atividades para as quais foram projetados e construídos, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no Manual de uso, operação e manutenção, de acordo com ABNT (2013, p. 10), assemelhando-se a definição de vida útil de projeto anteriormente citada.

Ressalta-se ainda que, a ABNT (2013, p. 42) conceitua “vida útil estimada” (VUE) como sendo “a durabilidade prevista para um dado produto, inferida a partir de dados históricos de desempenho do produto ou de ensaios de envelhecimento acelerado”. Portanto, essa variável está diretamente ligada ao comportamento dos componentes dos sistemas, após aplicação, sem o qual não é possível prever de forma satisfatória, o período de tempo em que uma edificação ou produto sobreviverá atendendo as expectativas para que foi projetado.

2.4 Método para determinação da Vida Útil Estimada

As edificações foram ao longo do tempo sendo projetadas, construídas e habitadas ou utilizadas de acordo com os costumes das civilizações e dos materiais disponíveis na natureza ou aqueles materiais que o homem foi capaz de dominar o uso. Desde as habitações em grutas e cavernas na pré-história até os dias atuais, desde o uso da madeira em larga escala até a pedra artificial, o concreto, a manutenção das habitações é necessária.

Para Santos (2010), “o conjunto de normas ISO 15.686:2000 - Building and construction assets – service life planning, surgiu como um apoio normativo para dar suporte nos assuntos relacionados à vida útil. Este conjunto constitui das mais respeitadas e consultadas normas por intervenientes da construção, responsáveis pela durabilidade e vida útil”. Essa norma estabelece uma metodologia para definição da vida útil de projeto, conforme indicado na Figura 6.

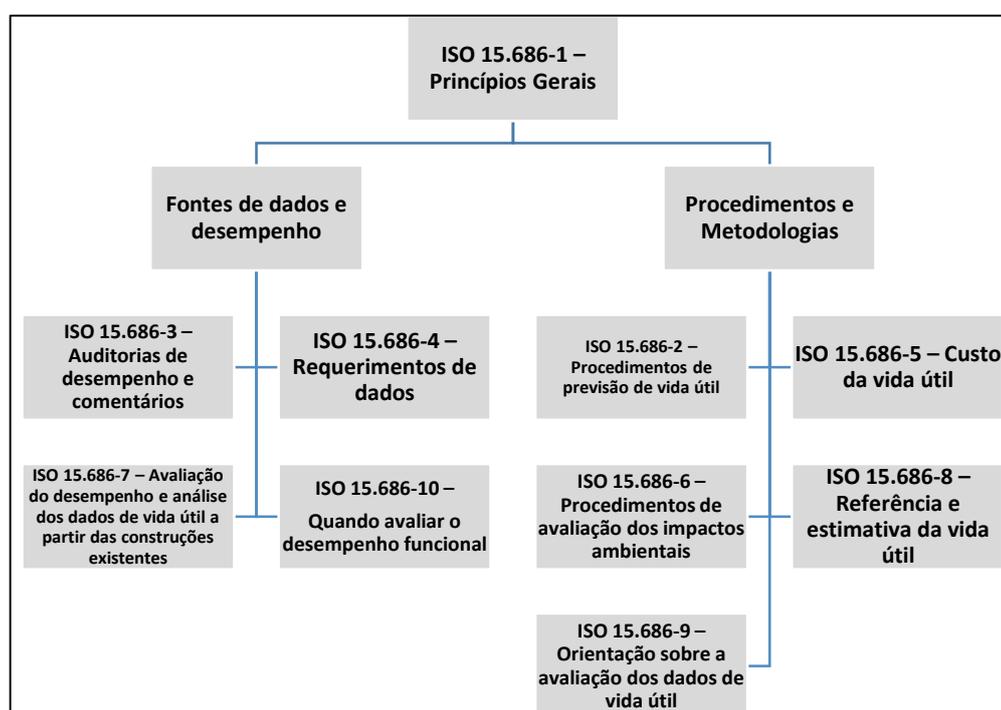


Figura 6: Organograma da interrelação entre as partes da ISO 15.686:2000. Fonte: Zarzar Jr (2007) e ISO (2011), adaptado.

As anomalias que eclodem durante os anos de uso de uma edificação podem ser provenientes de qualquer uma das fases do processo de construção da obra, desde deficiências da fase de projeto, inclusive na escolha dos materiais, na etapa de execução, até no uso e operação. Entretanto, para identificar, quantificar e qualificar esses defeitos, é necessário observar quando e com que frequência eles ocorrem. A ISO 15.686-1:2000 apresenta o Método dos Fatores (MF) para estimar a vida útil da

edificação a partir de variáveis que podem afetar o desempenho da obra, sendo esses denominados fatores modificantes, tais como:

- Fator A: qualidade do componente;
- Fator B: nível de projeto;
- Fator C: nível de execução do projeto;
- Fator D: ambiente interno;
- Fator E: ambiente externo;
- Fator F: condições de uso; e
- Fator G: nível de manutenção.

De acordo com Zarzar Jr. (2007), o ponto de partida do método dos fatores é a vida útil de referência (VUR). A VUR é um período documentado, em anos, no qual se espera que um componente ou grupo de componentes possam durar.

Considerando que a VUR pode ser alterada por diversas condições expressas pelos fatores modificadores, a norma prevê uma classificação em três níveis, conforme o grau de influência que as condições do componente exercerão sobre a vida útil do sistema construtivo. Assim os valores aplicados pela ISO 15.686-1:2000 para o desvio (quantitativo) em relação ao valor de referência estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Indicação dos valores de desvio em relação à VUR.

Desvio em relação à condição de referência	Valor
Quando o fator tem influência <u>negativa</u> sobre o elemento em estudo.	0,8
Quando o fator <u>não representa desvio</u> em relação à condição de referência.	1,0
Quando o fator tem influência <u>positiva</u> sobre o elemento em estudo.	1,2

Fonte: ISO 15.686-1:2000, adaptado.

Para considerar o peso a ser atribuído aos fatores modificantes com uma variação entre 0,8 a 1,2, o referido intervalo pode ser justificado através do Teorema de Tchebycheff, estatístico russo que viveu entre 1821 a 1894, conforme Larson (2010, p. 74). O teorema matemático não considera uma variação simétrica ou assimétrica, mas para todo tipo de amostra. De acordo com Martins (2011, p. 87), para

qualquer distribuição com média e desvio padrão pode-se aplicar o teorema, desde que:

- a) O intervalo ($\bar{X} \pm 2S$) ou ($\mu \pm 2\sigma$) contém, no mínimo, 75% de todas as observações;
- b) o intervalo ($\bar{X} \pm 3S$) ou ($\mu \pm 3\sigma$) contém, no mínimo, 89% de todas as observações;

Onde:

- \bar{X} - Média aritmética para uma amostra;
- μ - média aritmética para uma população;
- S – desvio padrão amostral;
- σ – desvio padrão populacional.

Cada fator permite uma avaliação qualitativa do componente ou sistema em análise. Nesse sentido, a ISO (2000) apresenta uma descrição para os fatores de A a G, de acordo com o apresentado na Tabela 5. A ABNT (2013, p. 28) recomenda utilizar o Método dos Fatores, metodologia proposta pela ISO 15.686:2000, para verificar se o projeto atende aos valores mínimos para VUP, a fim de validar se a VUP adotada em projeto, atende aos requisitos e critérios definidos pela NBR 15.575:2013.

Desse modo, a equação adotada pela ISO (2000, p. 32) para obtenção da vida útil estimada (VUE) é:

$$VUE = VUR f(A \times B \times C \times D \times E \times F \times G)$$

Eq. (1)

Onde:

VUE – Vida útil estimada

VUR – vida útil de referência dos componentes (residual)

F (A x B x C x D x E x F x G) – fatores modificantes

Os pesos atribuídos aos fatores modificantes devem levar em consideração experiência prévia. Sendo vantajoso o uso desse método por se permitir examinar, ao mesmo tempo, as variações que interferem na vida útil de um determinado material ou componente construtivo e possibilitar o registro documental dessas variações, (Zarzar Jr., 2007, p. 103). Assim, o método se presta também para possibilitar a retroalimentação dos sistemas de melhoria contínua e para verificações posteriores ao uso dos sistemas.

O método dos fatores pode ser aplicado através de avaliação baseada na experiência do avaliador buscando determinar a influência que determinado fator terá no cálculo da VUP e também pode ser aplicado através da função matemática já expressa anteriormente, onde, de acordo com Zarzar Jr. (2007, p 110), “as variáveis de A a G refletem a dependência da vida útil entre o objeto específico e a condição de referência”, ou seja, os valores previstos para VUP podem ser alterados a partir da influência, matematicamente calculada, dos fatores modificantes.

Tabela 5: Descrição das condições de influência dos fatores modificantes.

Agentes	Fatores Modificantes	Situações que influenciam a aplicabilidade dos fatores modificantes
Fatores relacionados à qualidade.	Fator A: Qualidade dos componentes	Pressupõe o uso de materiais para execução conforme a qualidade definida em projeto ou de mesma qualidade técnica.
	Fator B: Nível de qualidade do projeto	Pressupõe definições específicas, em projeto, para aplicação dos componentes, a fim de garantir boa execução e proteção contra agentes de degradação.
	Fator C: Nível de qualidade da execução	Pressupõe mão-de-obra qualificada e controle de qualidade rigoroso
Fatores relacionados ao ambiente.	Fator D: Características do ambiente interno	Refere-se às características do ambiente interno, devendo ser levado em consideração a exposição dos componentes construtivos a agente de degradação.
	Fator E: Características do ambiente externo	Refere-se às características do ambiente interno, devendo ser levado em consideração a exposição dos componentes construtivos a agente de degradação.
Fatores relacionados à condição de operação e uso.	Fator F: Condições de uso	Reflete o efeito do uso da construção através dos componentes construtivos, devendo ser identificado se o uso for comum ou privado.
	Fator G: Nível de manutenção	Refere-se a qualidade da manutenção aplicada a construção, devendo ser obedecido os parâmetros de projeto.

Fonte: ISO (2000), adaptado.

2.4.1 Intervalo de confiança

Para calcular a vida útil estimada sob condições de diferentes classes de fatores modificantes, ou seja, quando a VUR é multiplicada por vários fatores diferentes, faz-se necessário determinar o intervalo de confiança. De acordo com Zarzar Jr. (2007, p. 111), a estimativa do intervalo deve ser baseada na confiança do dado para estimar a VUE e na incerteza inerente ao procedimento para calcular a VUE, a partir do que recomenda a ISO 15.686-8:2000. Assim, é possível atribuir um intervalo de confiança para os fatores modificantes de $\pm 10\%$ do valor atribuído ao fator, como também o mesmo percentual a VUR, de modo que seja determinado o intervalo de confiança para a VUE, tal que:

$$\Delta VUE = VUE \times \sqrt{(\Delta VUR/VUR)^2 + (\Delta A/A)^2 + (\Delta B/B)^2 + (\Delta C/C)^2 + (\Delta D/D)^2 + (\Delta E/E)^2 + (\Delta F/F)^2 + (\Delta G/G)^2}$$

Eq. (2)

Onde:

ΔVUE – intervalo de confiança da VUE

ΔVUR – intervalo de confiança da VUR

ΔA a ΔG – intervalo de confiança dos fatores modificantes

A variação da VUE dentro de um intervalo de confiança, para mais ou para menos, ampliará as condições do projetista em elevar ou reduzir a vida útil de projeto. Exemplificando, pode-se elevar a VUP do sistema hidrosanitário em 10%, o que poderá ser importante para determinada edificação.

2.5. Materiais empregados na construção civil

Para Callister (2008, p. 2), o desenvolvimento e o avanço das sociedades estiveram intimamente ligados às habilidades dos seus membros em produzir e manipular materiais para satisfazer suas necessidades, com o passar do tempo e o aprimoramento da pesquisa e das técnicas para a produção de materiais, foi possível obter materiais com propriedades superiores àsquelas dos materiais naturais. Nesse

contexto, foram desenvolvidos dezenas de milhares de materiais diferentes, com características relativamente especializadas, os quais atendem as necessidades da sociedade moderna.

A partir deste conceito é possível classificar os materiais sólidos em três grandes grupos: i) metais, compostos por elementos metálicos (ferro, alumínio, cobre, titânio, ouro e níquel) e não-metálicos (carbono, nitrogênio e oxigênio); ii) cerâmicas, que consistem em óxidos, nitretos e carbetos além das cerâmicas tradicionais compostas por minerais argilosos (porcelana), assim como o cimento e o vidro; e iii) polímeros, onde estão inclusos os plásticos e a borracha. Existem também os compósitos, que consistem na combinação de duas ou mais das três classes básicas dos materiais, é o que apresenta Callister (2008, p. 4).

Nos dias atuais, equipamentos sofisticados relacionados à alta tecnologia, aplicados a equipamentos eletrônicos de última geração, são denominados de materiais avançados. Esses materiais de acordo com Callister (2008, p. 8) são materiais tradicionais cujas propriedades foram aprimoradas tornando-se de alto desempenho e custo elevado.

2.5.1 Características e propriedades dos materiais

Para Ambrozewicz (2008), os materiais podem ser subgrupados da seguinte forma:

a) Concreto

Conceitualmente o concreto é resultante da mistura racionalizada de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Possui propriedades como consistência, textura, trabalhabilidade, integridade da massa, retenção de água e massa específica para a mistura ainda fresca. Depois de endurecido adquire propriedades como resistência mecânica, durabilidade, permeabilidade e absorção.

A normatização do concreto sofreu ao longo das últimas décadas evolução capaz de tornar o material ainda mais durável, conseqüentemente passando a ter um maior nível de confiança. Em Oliveira (2014), o Quadro 2 apresenta um resumo das principais atualizações da ABNT NBR 6118:2013 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos.

Quadro 2: Descrição evolutiva da NB1 até a NBR 6118:2014.

CONCEITO	NB 1/1960	NBR 6118/1978	NBR 6118/2007 NBR 6118/2014*
fck (ou σ_r)	Usual: 15 MPa	Usual: 18 MPa	Usual: 25 a 35 MPa
	Máximo: 22 MPa	-	Mínimo: 20 MPa
Cobrimento	Pilares: 1.5 cm	Pilares: 2.0 cm	Pilares: (2.5+1) cm
	Vigas: 1.0 cm	Vigas: 1.5 cm	Vigas: (2.0+1) cm
	Lajes: 0.5 cm	Lajes: 1.0 cm	Lajes: (1.5+1) cm
Durabilidade	Não considera	Não considera	Considera
Armação de pilares	1	~ 1.3 x	~ 1.3 x
Modelos estruturais	Cálculo manual	Uso de microcomputadores	Consolidação
	Início do uso de mainframes		
Meio ambiente	Não considera	Considera	Considera

Fonte: Oliveira (2014).

Outros aspectos relevantes, quanto as propriedades do concreto, também foram atualizados pela ABNT (2014), tais como:

- i) Classes de resistência: dividido em dois grupos, sendo Grupo I: (C20 a C50) e Grupo II: (C55 a C90);
- ii) Módulo de elasticidade (E_{ci}):
 $E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}}$, para f_{ck} de 20 MPa a 50 MPa;
 $E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot (f_{ck}/10 + 1,25)^{1/3}$, para f_{ck} de 55 MPa a 90 MPa;

Esses parâmetros influenciam na qualidade do concreto empregado nas construções. Ressalta-se a evolução da aplicação dos materiais a partir da atualização das normas de concreto.

- b) metais

De acordo com Isaia (2010, p. 1077), os materiais metálicos não são puros, pois para ampliar algumas propriedades são constituídos pela combinação química de dois ou mais elementos metálicos (como o latão, liga metálica cobre-zinco).

As principais propriedades dos metais que interessam a construção civil são: aparência; densidade; dilatação e condutividade elétrica; resistência à tração aliada à proteção contra a corrosão; resistência ao choque, evitando ruptura sob a ação de uma carga instantânea; dureza, baixa resistência a fadiga.

O aço (ferro) é o material mais utilizado na construção civil devido à armação dos concretos. Mas outros metais, como alumínio (uso em esquadrias, barras, perfis); cobre (circuitos elétricos); chumbo (tubos e conexões para água e esgoto); zinco (proteção do aço contra corrosão); ferro (folhas de flandes, chapas galvanizadas, arames, telas, pregos, et.) também são importantes.

c) madeira

Advinda das árvores e arbustos lenhosos, possuem características de heterogeneidade e anisotropia que guardam estreita relação com a origem do ser vivo. Possui classificação que divide em dois tipos de espécies: as madeiras duras ou de lei, empregadas na construção com função estrutural; e as madeiras moles ou brancas, utilizadas em construções temporárias ou protegidas das intempéries.

As propriedades físicas da madeira podem ser alteradas em função de alguns fatores, tais como: o tipo de espécie botânica; a massa específica do material; a localização da peça no lenho; e a presença de defeitos e a umidade, de acordo com Ambrozewicz (2008, p. 292).

Em presença de umidade, outras propriedades influenciam na qualidade do produto, como: a retratilidade, capacidade da madeira alterar as dimensões em função da variação da umidade de seco para saturado, quanto menor a umidade melhor será o material; e a outra propriedade é a densidade, representada pela massa específica aparente.

Quanto às propriedades mecânicas da madeira, destacam-se: resistência à compressão, tração, flexão e cisalhamento, de um modo geral o material suporta bem, embora que essas condições estejam relacionadas a fatores como a anisotropia, a heterogeneidade e a capacidade de absorção de água das peças lenhosas.

Para Ambrozewicz (2012, p. 300), “vários são os usos da madeira na construção civil. Para utilização interna pesada tem-se a cobertura com as peças servindo de linhas, vigas, caibros e ripas, além de pranchas e tábuas; utilização leve externa ou internamente em andaimes, escoramentos e fôrmas de concreto; e ainda para outras aplicações como forros, painéis, lambris, esquadrias e assoalhos.”

d) materiais cerâmicos;

São produtos obtidos pela secagem e cozimento de materiais argilosos, os quais podem ser fabricados com dois tipos de matéria-prima: a primeira plástica (substâncias argilosas como também argila, caulim e talcos); a segunda matéria-prima é o desengorduraste: atuam reduzindo a retração e diminuindo a plasticidade (ex.: areia, carvão vegetal, etc.), como esclarece Ambrozewicz (2012, p. 319).

Para a construção civil os produtos cerâmicos podem ser divididos em duas categorias: materiais de argila e materiais de grês cerâmicos. Na primeira categoria estão inclusos os tijolos (vários tipos) e as telhas, os quais, de forma geral, apresentam elevada absorção de água e baixa resistência mecânica. Na segunda, incluem-se os revestimentos cerâmicos e materiais de alta vitrificação como a louça e o grês cerâmico (textura quase compacta – pisos).

Dentre as características mecânicas está a resistência à abrasão indicando resistência ao desgaste de superfície, causado pelo movimento, sobre o revestimento cerâmico, de pessoas ou objetos. Essa é uma peculiaridade importante na avaliação de desempenho no sistema de pisos previsto em ABNT (2013).

Quanto a esses materiais, pode-se dizer ainda que, conforme Callister (2013, p. 386), 60 anos atrás utilizava-se uma cerâmica tradicional proveniente da argila, mas com o progresso recente elevando-se o grau de conhecimento sobre as propriedades desses materiais, a nova geração de conhecimento causou um efeito importante, principalmente nas indústrias que dependem de componentes eletrônicos.

e) plásticos

São materiais formados pela combinação do carbono com o oxigênio, hidrogênio e outros elementos orgânicos ou inorgânicos, que ao final da produção caracteriza-se por um elemento sólido (AMBROZEWICZ, 2012, p. 346). Entretanto, antes do resfriamento, estando no estado líquido, propicia a moldagem de diversas formas.

Ambrozewicz (2012) acrescenta que, para a construção civil, esse tipo de material passou a ser fundamental no funcionamento de vários sistemas construtivos, uma vez que materiais como o cloreto de polivinila (PVC), fiberglass (fibra de vidro e resina de poliéster), acrílicos (plástico nobre com aparência próxima a vidros), e resinas epóxi (adesivo para o concreto, selantes, revestimento e pavimentação) passaram a ser fundamentais na funcionalidades dos sistemas, como, por exemplo, no sistema hidrosanitário, ou ainda, no revestimento de fachadas.

Outros componentes construtivos são produzidos a partir do compósito, tais como: poliestireno (utilizado na fabricação de assentos sanitários, peças hidráulicas de esgoto, dentre outros); poliestireno expandido (isopor); polietileno (utilização em lajes, proteção de paredes, etc.); náilon (utilizado em reforço de telhas plásticas, dobradiças, trincos, puxadores); neoprene (elastômetro usado para impermeabilização); silicones (utilizado como mastíque em vedação de juntas).

f) tintas, vernizes, lacas e esmaltes

As tintas são materiais de origem polimérica que possuem origem orgânica, baseados em hidrocarbonetos compostos por hidrogênio e carbono. São materiais importantes para a construção civil devido às características como baixa densidade, alta resistência elétrica, baixa condutividade térmica, ductilidade e elevada resistência à corrosão, (ISAIA, 2010, p. 1388).

Isaia (2010) acrescenta, também, que esses produtos, são frequentemente aplicados a pinturas às superfícies com as seguintes funções: proteger o material de ambiente corrosivo; melhorar a aparência do material; e isolamento elétrico, para o caso de proteção ao aço.

g) vidro

Para Ambrozewicz (2012, p. 364), “o vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida pelo resfriamento de uma massa de fusão; suas principais qualidades são a transparência e a dureza. Produzido através de matéria-prima preparada a partir da fusão entre vasilha onde se forma água com cinzas (60%), areia (5 a 12%), calcário (5 a 15%) e feldspato (7 a 18%). Após a fusão, o processo de resfriamento pode combinar várias tecnologias. ”

A classificação pode ser adotada quanto ao:

- a) Tipo: recozido, de segurança temperado, de segurança laminado, termo absorvente, termorefletor ou composto;
- b) transparência: transparente, translúcido ou opaco;
- c) coloração: incolor ou colorido;

- d) acabamento de superfície: liso, *float* (formação de lâmina sobre chumbo derretido), impresso, fosco, espelhado, gravado ou esmaltado;
- e) coloração: caixilhos, autoportantes ou mista.

A utilização deste material ocorre em diversas formas na construção civil: em janelas, portas, blocos, chapas planas, chapas curvas, elementos decorativos (espelhos), divisórias, dentre outras.

2.5.2 Degradação dos materiais

O desenvolvimento dos diversos tipos de materiais disponíveis para aplicação nas mais variadas atividades, tais como medicina, aviação, nanotecnologias e até mesmo na construção civil, passam a exigir que as cadeias industriais de produção de bens de consumo estabeleçam processos produtivos e de construção com maior rigor de qualidade.

Para a indústria da construção civil, observa-se que os materiais classificados anteriormente estão presentes nos processos de produção das construções. O envelhecimento deve ser uma preocupação constante, desde o início do planejamento da obra, uma vez que cada uma das fases de criação de um novo produto seja bem móvel perene ou imóvel durável exigem cuidados com durabilidade, vida útil e manutenibilidade.

Bertolini (2010, p. 13) expressa que o conhecimento do comportamento dos materiais em uso é importante, pois estão presentes em muitas fases da construção de um edifício ou de uma estrutura, desde o projeto até a demolição, conforme indicado na Figura 7. A partir desse desenvolvimento sequencial para construção de uma edificação ou estrutura, faz-se necessário atentar para os processos de degradação dos materiais e, por conseguinte, dos componentes e sistemas construtivos.

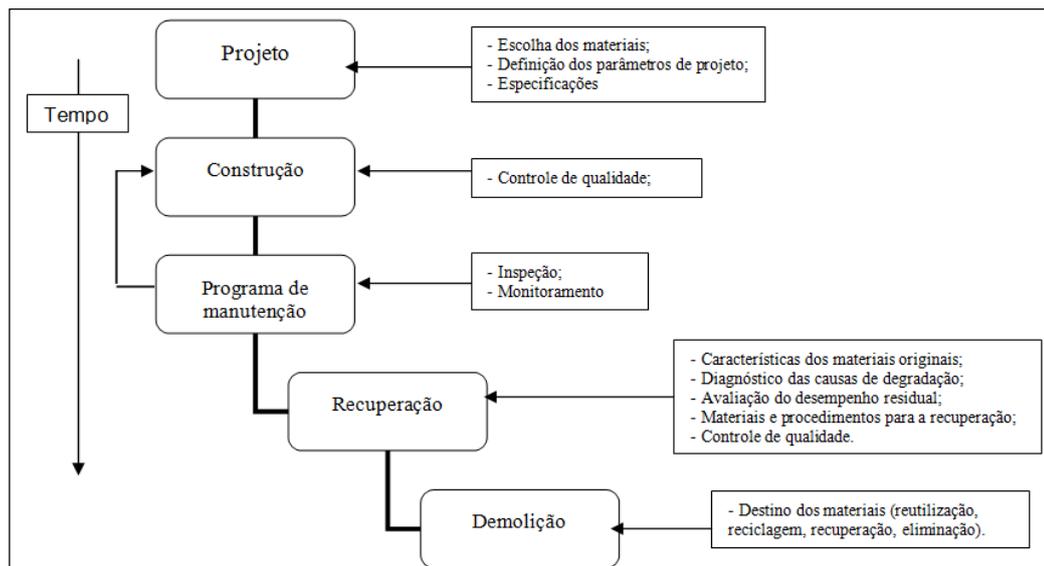


Figura 7: Organograma sequencial da vida de uma estrutura. Fonte: Bertolini (2010, p. 13) adaptado.

Para Bertolini (2010, p. 31), a degradação dos materiais é produzida pela interação físico-química do ambiente com os materiais, as quais podem ocorrer apenas depois do movimento dos agentes agressivos no ambiente ou no interior do material. A temperatura também pode influenciar, ao longo do tempo, nas transformações que o material pode sofrer. Assim, a partir da classificação dos materiais para construção civil, alguns mecanismos de degradação estão descritos a seguir:

a) Concreto:

Os principais mecanismos de deterioração, relação entre as causas e os efeitos, estão apresentados na Tabela 6, indicados por (Helene, 2001 apud Roque, 2005).

Tabela 6: Descrição dos mecanismos de degradação do concreto.

Mecanismo	Causa	Efeito	Sinais visíveis
Lixiviação.	Ação de águas ácidas que carreiam os compostos hidratados da pasta de cimento.	Risco de despassivação da armadura.	Exposição do agregado e eflorescência.
Expansão.	Ação de águas ou solo contaminados por sulfatos.	Risco da redução da dureza e resistência superficial do concreto.	Fissuras aleatórias e esfoliação do concreto.
Expansão por reação alcali-agregado.	Reação entre os álcalis do cimento e alguns agregados como opala, calcedônia, sílicas amorfas e certos calcários. Ocorre na presença de elevada umidade.	Risco de rompimento das estruturas de concreto em especial nas fundações.	Fissuras superficiais e profundas aleatórias em massas contínuas e ordenadas em estruturas delgadas.
Reações deletérias superficiais.	Proveniente das reações de agregados que contenham pirita na constituição mineralógica.		Acarreta manchas de ferrugem, cavidades e protuberâncias na superfície do concreto.
Despassivação da armadura por carbonatação.	Ocorre em ambientes de alternância entre molhagem e secagem da peça de concreto. Ação do gás carbônico que penetra por difusão reduzindo o pH do concreto.	Possibilita a instalação da corrosão e do risco de colapso da estrutura ou de parte dela.	Apresenta manchas de ferrugem, fissuras, destacamento do concreto, perda de seção resistente da armadura e da aderência.
Despassivação da armadura por cloretos.	Ação por difusão, impregnação ou absorção capilar por águas com altos teores de cloretos.	Não é perceptível a olho nu. Risco de despassivação da armadura com instalação da corrosão.	Os mesmos efeitos do item anterior.

Fonte: Roque (2005), adaptado.

b) metais:

Sabe-se que o aço (ferro) utilizado nas armaduras do concreto, como também na construção de estruturas metálicas, tem como principal fonte de degradação a corrosão. A corrosão, apesar de apresentar como manifestação patológica manchas avermelhadas na parte externa do concreto, pode ser considerada como vício construtivo oculto devido à dificuldade de ser diagnosticada, tratar e/ou controlar. A Tabela 7 classifica os principais tipos de ataques produzidos por corrosão.

Para Bertolini (2010, p. 47), a corrosão pode ser separada em corrosão úmida e seca. Para ocorrência do primeiro tipo é necessário que os materiais metálicos estejam em contato com soluções aquosas (água do mar ou doce, soluções ácidas ou alcalinas) ou ainda contato com ambientes que contenham água, como o solo, o concreto, as atmosferas úmidas, dentre outros. O segundo tipo estará presente sob a ocorrência de altas temperaturas.

Tabela 7: Descrição dos tipos de corrosão para os materiais metálicos.

Tipo de corrosão	Características
Uniforme (ou quase)	Toda a superfície do metal se corroi à mesma velocidade (ou com velocidade parecida);
Localizada	Certas áreas da superfície do metal se corroem a velocidade mais elevada do que outras por causa da heterogeneidade do metal, do ambiente ou da geometria da estrutura como um todo. O ataque pode variar de pouco localizado até a formação de pites (cavidades);
Pites	Ataque fortemente localizado em áreas específicas, que leva à formação de pequenos pite que penetram no metal e podem levar à perfuração da parede metálica;
Dissolução seletiva	Um dos componentes de uma liga (em geral, o mais reativo) é consumido seletivamente;
Ação conjunta da corrosão e de um fator mecânico	Ataque localizado ou fratura devida à ação sinérgica de um fator mecânico e da corrosão. Pode manifestar-se, por exemplo, na forma de corrosão-erosão, corrosão sob tensão, corrosão-fadiga.

Fonte: Bertolini (2010, p. 49).

c) madeira:

A madeira é um material higroscópico que pode absorver umidade tanto da água líquida diretamente como também da atmosfera. A água nas paredes das células da madeira, além de influir sobre as propriedades mecânicas e físicas, tem um papel importante no comportamento em uso da madeira, uma vez que regula as variações dimensionais, conforme identificado na Figura 8, e é determinante para o ataque biológico (BERTOLINI, 2010, p. 212).

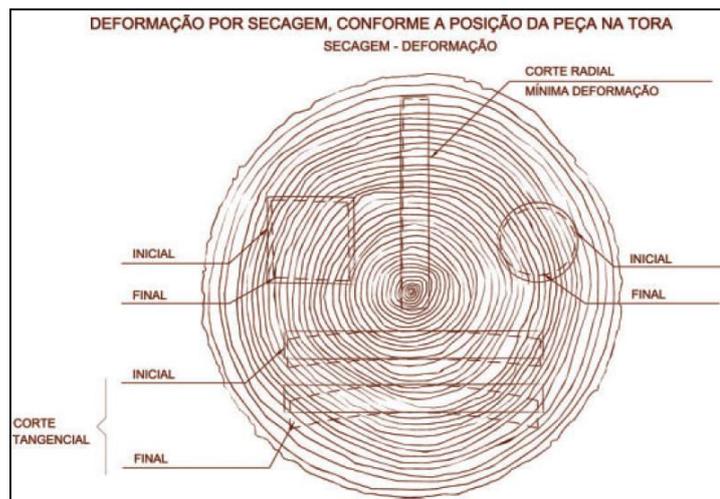


Figura 8: Desenho esquemático da deformação da madeira. Fonte: Gonzaga, 2006.

Assim, vê-se que os agentes agressivos mais importantes para contaminação e deterioração da madeira são os organismos vivos, cuja ofensiva é denominada de ataque biológico. Constituem esses agentes agressivos os fungos, insetos ou

bactérias, sob a presença de umidade. Os principais fatores ambientais que contribuem para proliferação desses organismos são:

- i) ambiente propício para a propagação dos agentes contaminantes;
- ii) a idade da estrutura da madeira, uma vez que depois de 50 anos parte das substâncias nutritivas não inibem o desenvolvimento da maior parte das larvas e dos fungos;
- iii) a variação de temperatura entre 20° e 30°C corresponde a máxima velocidade do ataque biológico, cessando para temperaturas abaixo de 0°C ou acima de 40°C;
- iv) umidade mínima entre 7% e 15% propiciam a infestação por insetos, enquanto que para o ataque de fungos a umidade acima de 20% torna-se perigosa e a umidade em torno de 35% a 50% é a condição mais perigosa;
- v) fatores atmosféricos também podem ser danosos à madeira, como a exposição direta a radiação solar, a chuva, no entanto sem a presença dos agentes biológicos esses fatores são minimizados.

d) materiais cerâmicos (vidros)

Em se tratando de material cerâmico referente a revestimento de fachada, Bauer (2015, p. 152) define que a expansão por umidade dos elementos cerâmicos é um exemplo de fenômeno que ocorre em um elemento específico do sistema de revestimento, provocando danos diretamente no elemento cerâmico os quais podem levar ao descolamento, dentre outras anomalias; as condições ambientais, a orientação cardinal (exposição), o nível de gravidade e a localização dos danos também contribuem para o surgimento de patologias.

e) materiais poliméricos (plásticos; tintas, vernizes, lacas e esmaltes, selantes e adesivos)

De acordo com Bertolini (2010, p. 224), os materiais poliméricos, apesar de serem compostos preparados para uma vida útil longa, podem sofrer alterações na sua estrutura e propriedades comprometendo a utilização. A princípio a degradação desses materiais podem estar relacionados a fenômenos físicos e químicos, sendo os principais fatores e mecanismos de degradação a influência da temperatura (radiação

ultravioleta e ações mecânicas) e do oxigênio (solventes orgânicos e umidade), os quais propiciando a degradação.

Através de fenômenos físicos, que são reversíveis, ocorrem transições térmicas; envelhecimento; interação com líquidos; meteorização (ação combinada de determinados líquidos orgânicos e de forças de tração levando a ruptura de um material que a princípio era dúctil e passa a ser frágil); sendo a deterioração através do fenômeno químico, irreversível, assim ocorrerá degradação térmica, oxidação, efeito das radiações e interação com líquidos.

2.6 Operação, uso e manutenção das edificações.

2.6.1 Aspectos conceituais

Historicamente a manutenção pode ser dividida em três fases, conforme apresentado na Figura 9. Em todos os períodos a atividade de manutenção buscou preservar a finalidade e o desempenho dos sistemas em funcionamento. De acordo com Siqueira (2012, p. 16), “a manutenção tem como objetivo preservar as capacidades funcionais de equipamentos e sistemas em operação”.

A ABNT (2012) define manutenção como sendo um “conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes de atender as necessidade e segurança dos usuários”. Vê-se, portanto, que o enfoque sobre o conceito acrescenta a importância quanto à segurança e expectativas dos usuários, diferente da descrição anterior, mas ambas se complementam, pois não há como garantir satisfação do usuário sem que o bem ou produto esteja em perfeitas condições de operação e uso.

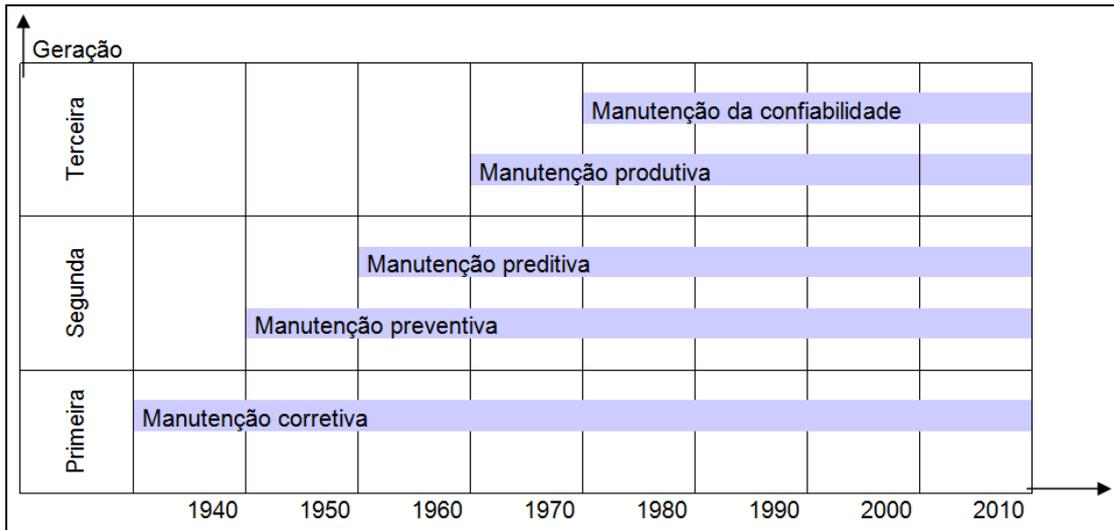


Figura 9: Esquema da evolução da manutenção ao longo do tempo. Fonte: Siqueira (2012, p. 4).

A manutenção pode ser classificada quanto ao tipo de intervenção a ser realizada na edificação ou sistema, conforme Siqueira (2012, p. 12) apresentada na Figura 10. Verifica-se que efetivamente as ações de manutenção visam preservar ou minimizar falhas evitando-se consequências significantes para os sistemas.

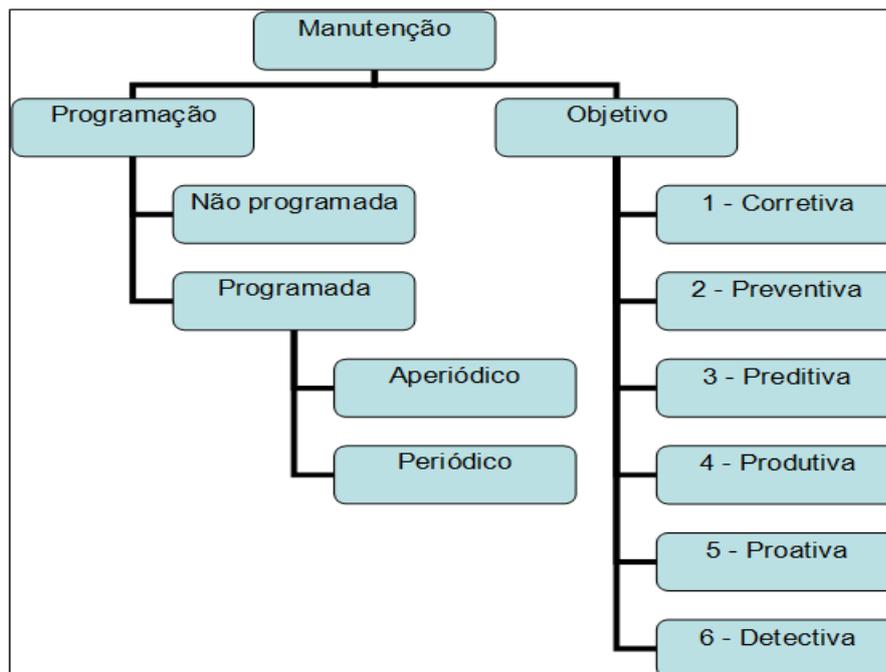


Figura 10: Organograma da classificação da manutenção. Fonte: Siqueira (2012), adaptado.

2.6.2 Falhas nos Sistemas

A permanente busca pela melhoria contínua nos processos produtivos leva as organizações a realizar periodicamente teste de qualidade nos produtos

disponibilizados no mercado. O ciclo de vida útil, dos diversos materiais e componentes de um sistema, pode ampliar ou reduzir a confiança em um determinado produto para o usuário.

Conforme descreve Slack et al (2012, p. 626), “a ocorrência de falhas é esperada para qualquer cadeia produtiva. Entretanto, para alguns produtos ou serviços uma falha pode representar o colapso total do sistema”. Exemplificando, pode-se observar um avião em voo, o fornecimento de energia elétrica para hospitais, a ruptura do sistema estrutural de uma edificação, dentre outros. O autor relata ainda que em algumas situações o nível de confiabilidade de um produto ou serviço não é apenas desejável, mas essencial.

Neste aspecto, vale ressaltar que quanto mais confiável uma organização produzir bens e serviços, maior será a vantagem competitiva. Assim, como não é possível eliminar completamente as falhas, é necessário o desenvolvimento de políticas que reduzam a incidência de falhas, e ao mesmo tempo, seja capaz de recuperar quando ocorrerem. De acordo com Slack et al (2002, p. 628), “há probabilidade de que, ao fabricar um produto ou prestar um serviço, as coisas possam sair erradas. Entretanto, aceitar que as falhas ocorrerão é possível só não se pode ignorá-las.”

Neste sentido, pode-se analisar que a construção de uma edificação de múltiplos andares, não é um processo produtivo simples, pois envolve diversos sistemas construtivos com características específicas, devendo a implantação desses sistemas, combinar satisfatoriamente evitando o surgimento de falhas no uso e operação do bem produzido.

As falhas podem ser agrupadas, para a construção civil, da seguinte forma:

a) Falha de projeto:

A qualidade na especificação de um projeto contribui para o bom desempenho de uma edificação. Entretanto, muitas vezes a perfeição está apenas no papel, ou no desenho. Ao se passar para o momento de transferência das informações prescritas para a real produção do objeto projetado, passa-se a lidar com as inadequações ou inconsistências não evidentes. De acordo com Slack et al (2012, p. 628), algumas

falhas de projeto ocorrem porque uma característica de demanda não foi bem observada ou foi mal calculada.

Verifica-se, portanto, que o projeto adequado trata de identificar as circunstâncias de produção do bem e transferir para o projeto as condições adequadas para o desenvolvimento adequado do produto. De acordo com ABNT (2013), é incumbência do projetista especificar materiais, produtos e processos que atendam ao desempenho mínimo definido pela norma, com base no desempenho declarado pelos fabricantes dos produtos a serem empregados na construção.

b) Falha de execução:

Nessa etapa faz-se necessário conhecer os mecanismos que provocam o desencadeamento das falhas. Conhecer o material, a forma de aplicá-lo e qual o seu comportamento após entrar em operação e uso, torna-se importante para compreensão dos efeitos das falhas. Esse conhecimento é fundamental para que sejam adotadas medidas preventivas, ou se necessário corretivas, no sentido de minimizar ou mesmo eliminar as falhas e a compreensão dos fatores que levam aos defeitos.

Para Siqueira (2012, p. 76), “o estudo do mecanismo das falhas objetiva classificar os tipos de comportamentos anômalos de materiais e equipamentos, e, através deles, identificar as atividades preventivas e corretivas adequadas a cada tipo”. Através do estudo matemático dos mecanismos de falha se verifica a determinação da taxa de falha de um sistema. Nesse sentido, Slack et al (2012, p. 631) aponta que a taxa de falha é calculada pela relação entre o número de falhas ocorridas pelo tempo em que essas falhas foram registradas e o sistema esteve em funcionamento.

$$\lambda(t) = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Tempo de operação}}$$

Eq. (3)

Onde: $\lambda(t)$ – taxa de falha.

Após a determinação da taxa de falhas é possível analisar o comportamento dos sistemas com base na curva de probabilidade condicional de falhas, denominada “curva da banheira”, apresentada na Figura 11. As condições de projeto, implantação e operação, levam aos componentes de um sistema apresentar períodos em que suas funções são interrompidas por apresentarem defeitos, esses períodos podem ser classificados em três fases: mortalidade infantil; vida normal; e desgaste, de acordo com Slack et al (2012).

A “curva da banheira” é definida através da distribuição de Weibull, aplicada a estudos relacionados a fadiga de metais (componentes eletrônicos, cerâmicas, capacitores e dielétricos). Amplamente empregada para definir o tempo de vida útil de produtos formados por várias partes (componentes ou elementos), que podem incorrer em erros ou falhas no primeiro uso ou teste. Esse modelo de distribuição apresenta uma variação crescente, decrescente ou constante, não ocorrendo alterações além disso, tornando-se assim, uma distribuição monótona. Entretanto, adequada para análise do ciclo de vida dos materiais a partir da taxa de falhas, (FREITAS, 1997).

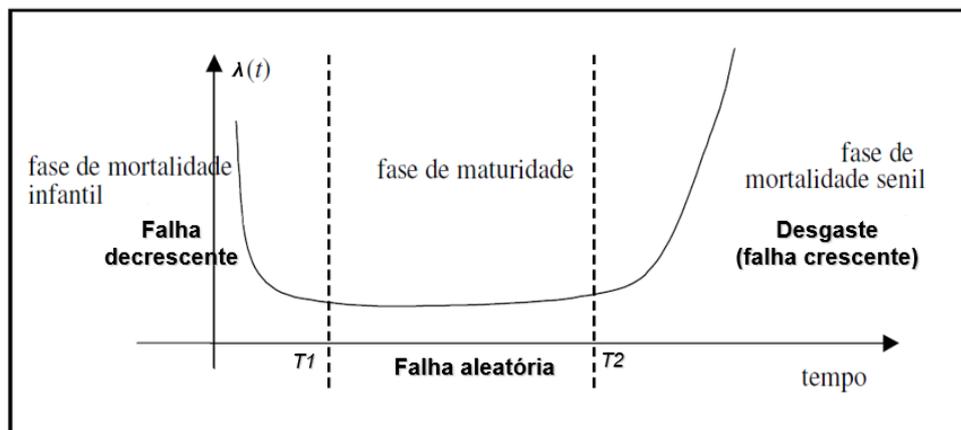


Figura 11: Curva da banheira - Taxa de falhas (λ) em função do tempo (t). Fonte: Wuttke e Sellitto, 2008 – adaptado.

Desse modo, vê-se à aplicabilidade da distribuição nos sistemas construtivos utilizados na construção civil, apesar de parte desses sistemas não possuírem componentes eletroeletrônicos, mas apresentam ciclo de vida relacionados a fadiga ou ao envelhecimento natural. Portanto, possuem tempo de vida útil.

Para Wuttke e Sellitto (2008, p. 7) esses períodos apresentam as seguintes características:

- a) Mortalidade infantil (antes de T1) – essa fase apresenta uma taxa de falhas alta, porém decrescente. São causadas por defeitos congênitos ou fraquezas, erros de projeto, peças defeituosas, processos de fabricação inadequados, mão-de-obra desqualificada, estocagem inadequada, instalação imprópria, partida deficiente, entre outras. A taxa de falhas diminui com o tempo, conforme os reparos de defeitos eliminam componentes frágeis ou à medida que são detectados e reparados erros de projeto ou de instalação.
- b) maturidade (vida normal - entre T1 e T2) - essa fase corresponde ao período de vida útil do sistema. Nesse intervalo o valor médio da taxa de falha é constante. As falhas ocorrem por causas aleatórias, externas ao sistema, tais como acidentes, liberações excessivas de energia, mau uso ou operação inadequada e são de difícil controle. Falhas aleatórias podem ser de natureza referente a: sobrecargas aleatórias, problemas externos de alimentação elétrica, vibração, impactos mecânicos, bruscas variações de temperatura, erros humanos de operação entre outros.
- c) mortalidade senil (desgaste – após T2) – nessa fase há crescimento da taxa de falhas que representa o início do período final de vida do componente ou sistema. Essa fase é caracterizada pelo desgaste do componente, corrosão, fadiga, trincas, deterioração mecânica, elétrica ou química, manutenção insuficiente entre outros.

2.6.3. Considerações sobre o sistema de qualidade

Conforme disposto em INMETRO (2011), o sistema de qualidade foi introduzido na cadeia de produção automobilística a partir do período da Revolução Industrial, 1913, quando os processos de produção de produtos e serviços passaram a ser em grandes volumes, a chamada produção em massa. Neste período, a relação capital/trabalho foi mais explorada, conforme apresentado na Figura 12.

Para a indústria mundial da construção civil, apenas a partir de 1945 percebeu-se a necessidade de melhoria dos processos construtivos devido à imperiosa urgência de construir habitações para os refugiados da 2ª guerra mundial.

O Sistema de Gestão de Qualidade, conforme com Melo (2005, p. 30), “promove adoção de uma abordagem de processo para o desenvolvimento, implantação e melhoria da eficiência de um sistema de gestão da qualidade para aumentar a satisfação do cliente, através do atendimento dos requisitos da ISO 9001:2000”.

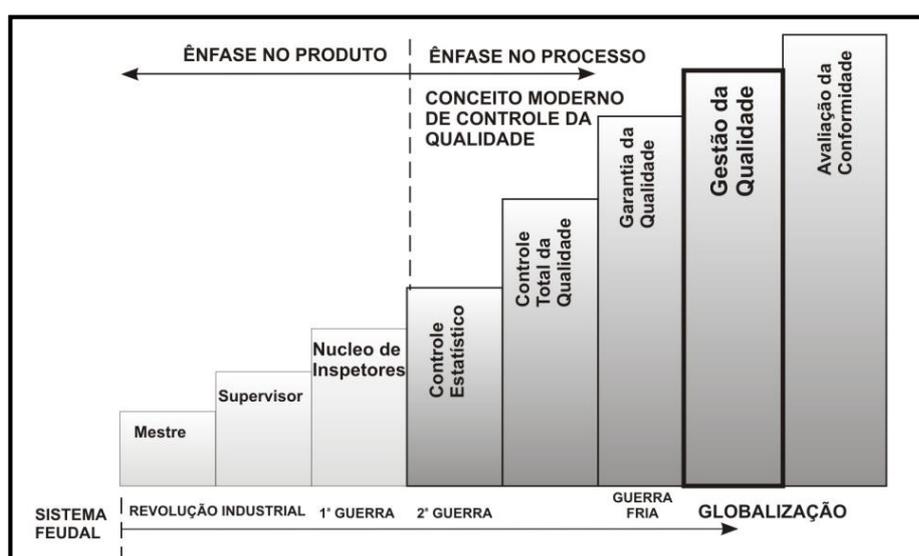


Figura 12: Gráfico da evolução da gestão da qualidade. Fonte: Adaptado de INMETRO (2011, p. 15).

Em Pernambuco, muitas empresas adotaram o sistema de qualidade para o controle dos processos produtivos de habitações e outras atividades correlatas a construção civil, visando atender aos requisitos de qualidade, no qual inclui a satisfação do cliente. Mas, para medir essa satisfação e atender as necessidades dos usuários, o atendimento pós-obra passou a fazer parte da gestão de qualidade das construtoras.

Para alcançar a certificação com sistema de qualidade, a partir da avaliação do INMETRO, requer empenho e determinação dos gestores das empresas. A Tabela 8 apresenta um resumo sobre a certificação no estado de Pernambuco.

Essa atividade consiste na prestação de serviço de manutenção corretiva, para todos os sistemas implantados na edificação. A referência para início e fim dessa atividade é o prazo de garantia da obra, o qual é detalhado a partir dos sistemas construtivos.

Neste contexto é que a Assistência Técnica Pós-obra (ATPO) pode ser utilizada no desenvolvimento da etapa de melhoria contínua na gestão da qualidade. Vê-se que na formação do banco de dados produzido a partir da identificação e registro dos problemas patológicos emergidos nos meses iniciais da entrada em operação e uso das construções serve como instrumento para retroalimentar o processo construtivo mitigando falhas.

Tabela 8: Empresas certificadas com sistema de qualidade – PE/2015

Área de Atuação	Número de empresas
Construção	27
Atividades Imobiliárias; Locações e Prestação de serviços	17
Extração de petróleo bruto e gás natural	0
Agricultura, Pecuária , Caça, Silvicultura	1

Fonte: INMETRO (2015)

Para Juran (1992), “a prioridade máxima no desenvolvimento de um produto são as características que o tornam vendável. A segunda prioridade é evitar falhas em serviço.” Assim, para que um sistema de gestão da qualidade funcione bem, a ponto de atender ao que determina a norma ISO 9000, faz-se necessário ouvir a necessidade do usuário, diagnosticar o problema por ele apresentado, fazer um prognóstico para a vida útil da solução e aplicar terapia corretiva a fim de manter a funcionalidade e o desempenho projetados.

A necessidade premente de reduzir falhas levou um grande número de empresas a adotar a análise de confiabilidade para projetos de produtos, utilizando-se de metodologias que incluam modelos de confiabilidade; de bancos de dados de índices de falhas, é o que define Juran (1992). O autor esclarece ainda que confiabilidade é, em essência, a probabilidade do produto continuar a operar durante um período especificado, em condições de operação pré-definida.

2.6.4 Modelo geral de Assistência Técnica Pós-obra (ATPO)

O Manual do Proprietário/Usuário, previsto pela ABNT (2012), exige que as empresas construtoras/incorporadoras prestem assistência técnica, corrigindo, reparando e/ou substituindo, sem ônus ao proprietário, os danos e defeitos constatados dentro dos prazos de garantia, estabelecidos em contrato e no próprio

Manual do Usuário disponibilizado ao proprietário/usuário na data de entrega da unidade habitacional.

A atividade da assistência técnica pós-obra revela que apesar dos cuidados e do planejamento para a realização de um empreendimento, atender as expectativas do usuário não é uma tarefa simples. Neste sentido, as novas versões da ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento e a ABNT NBR 15.575:2013 - Edificações habitacionais – Desempenho propõem uma revisão permanente dos processos construtivos, bem como da qualidade da informação disponibilizada ao usuário.

O fluxograma que expressa a sequência de atuação da ATPO pode sofrer alterações de construtora para construtora, pois os problemas eclodem à medida que os processos construtivos são incipientes ou quando não ocorrem às manutenções previstas em projeto e no próprio Manual do Proprietário/Usuário, mas, de uma maneira geral, seguem a sequência apresentada na Figura 13.

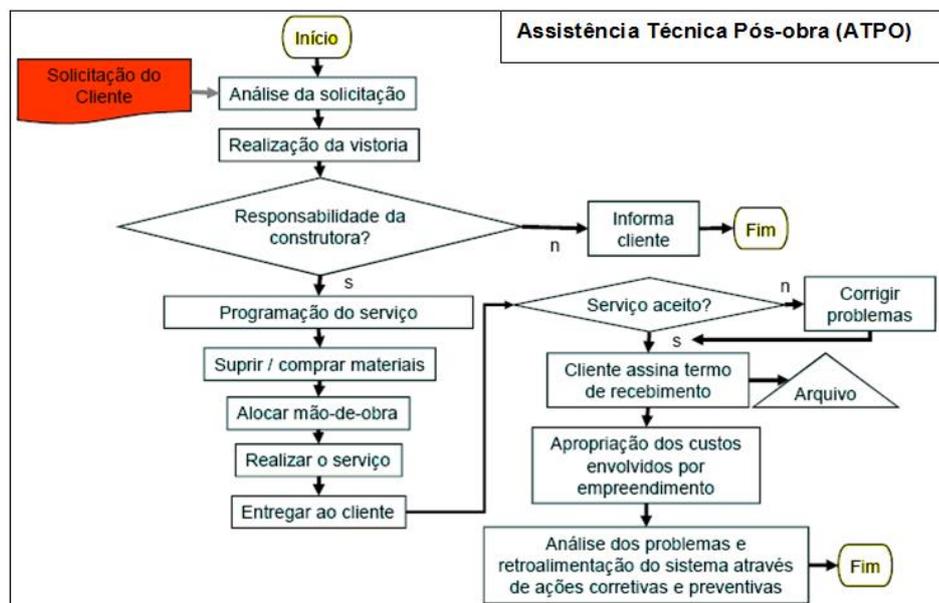


Figura13: Fluxograma esquemático da Assistência Técnica Pós-obra (ATPO). Fonte: Lordsleem (2012) adaptado.

Tomando como análoga a Medicina, é prática, ao examinar um paciente, o médico além de fazer uma *anamnese* acompanhada de uma avaliação clínica dos sintomas que acometem o paciente, solicitar exames laboratoriais para complementar a análise diagnóstica. Essa descrição deve ser a mais precisa possível a fim de que o médico possa evitar o agravamento do quadro clínico do paciente com o passar do

tempo. Da mesma maneira devem ser avaliadas as avarias registradas a fim de que sejam observadas com clareza as evidências de danos.

2.7 Considerações sobre o prazo de garantia das obras

2.7.1 Aspectos conceituais

Sob a ótica de Ferreira (2008, p. 427), entende-se por garantia “ato ou palavra com que se assegura obrigação, intenção, etc. ou documento assegurado da autenticidade e/ou boa qualidade de um produto ou serviço”. Para Del Mar (2007, p. 195), “garantia” corresponde ao prazo estabelecido na lei ou contrato, durante o qual o construtor responde pelo vício, independentemente de culpa.

O conceito apresentado para o termo garantia legal pela ABNT (2013, p. 8) corresponde ao “direito do consumidor de reclamar reparos, recomposição, devolução, ou substituição do produto adquirido, conforme legislação vigente”. A norma estabelece também o conceito para “garantia certificada”, ou seja, condições dadas pelo fornecedor por meio de certificado ou contrato de garantia para reparos, recomposição, devolução ou substituição do produto adquirido.

Vale ressaltar que a garantia de um produto ou serviço tem como pressuposto o recebimento, entrega ou mesmo a concessão de uso de um bem ou serviço em perfeitas condições, sem a presença de danos que impeçam a funcionalidade e o desempenho conforme planejado.

Neste sentido é que Corsini (2013, p. 26) lembra que “o Código de Defesa do Consumidor, em 1990, esclareceu questões referentes a prazos de reclamações e prescrição, assim como os prazos de garantias legais e contratuais”. A Lei Federal nº 8.078/1990 Seção II – da responsabilidade pelo fato do produto e do serviço - art. 12º descreve que:

“O fabricante, o produtor, o construtor, nacional ou estrangeiro, e o incorporador, respondem, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos decorrentes de projeto, fabricação, construção, montagem, fórmulas, manipulação, apresentação ou acondicionamento de seus produtos, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre sua utilização e riscos.”

Vê-se, portanto, que na maioria das formas de expressar sobre garantia, ou sobre modelos de garantia, ou ainda sobre o que deve ou não estar protegido por um determinado período de tempo denominado garantia, não indicam quais os parâmetros utilizados para definir esses prazos de garantia.

Neste sentido, não são mencionados nos textos das leis, e tão pouco nos manuais de operação e uso das edificações, como os responsáveis pela elaboração desses textos chegaram aos valores em anos de garantia aplicados a cada sistema ou componente de sistemas das construções.

Não obstante ao definido pela NBR 6118:2013 – Projetos de Estruturas de Concreto - acerca da durabilidade das estruturas, apresentadas no item anterior, verifica-se uma relação entre as condições de construção das peças estruturais e o período de vida útil proposto na NBR 15.575-2 – Edificações Habitacionais – Desempenho. Requisitos para os sistemas estruturais, conforme apresentado na Tabela C.6 da referida norma.

Del Mar (2007, p. 202) acrescenta a seguinte consideração a respeito dos prazos de garantia:

“há uma diversidade de produtos e serviços utilizados na construção de uma obra, com período de vida útil ou durabilidade diferentes. Daí não ser razoável que se pretenda – e, menos ainda, que se exija – que o período de responsabilidade ou o prazo de garantia da construção seja único, para todos os diversos materiais, componentes, elementos ou sistemas construtivos. são diversos os períodos de vida útil dos componentes, elementos e subsistemas construtivos, e os prazos de garantia estão relacionados aos respectivos períodos de desempenho.”

Diante do texto observa-se, portanto, uma vinculação entre o prazo de garantia e o desempenho esperado para a edificação. Entretanto, CBIC (2013, p. 34) destaca conceitualmente “que a vida útil é o período de tempo que um edifício e/ou seus componentes se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, mas alerta também que a vida útil não pode ser confundida com prazo de garantia legal ou contratual”.

Observa-se que para todos os produtos, bens ou serviços, independentemente do tipo da cadeia produtiva, são prescritas vida útil ou prazos de validade, indicando que há um tempo determinado, mesmo que longo, para utilização ou consumo do bem adquirido. Desse modo, de acordo com Bessa (2015, p. 99), “a contagem do prazo de

garantia inicia-se com a entrega efetiva do produto ou do término da execução dos serviços. Tratando-se de vício oculto, o prazo de decadencial inicia-se no momento em que ficar evidenciado o defeito”.

Nessa perspectiva, Bessa (2015) esclarece ainda que a dimensão temporal da garantia legal de produtos é invariavelmente mais ampla do que a garantia de fábrica dos produtos. Uma vez que a doutrina jurídica sustenta a aplicação do critério da vida útil como limite temporal para o surgimento do vício oculto. Enquanto que nos casos em que o vício é aparente, considerando a garantia legal, vale o estabelecido nos contratos contraídos sob a égide do Código de Defesa do Consumidor (CDC).

2.7.2 Manual do proprietário

O documento entregue ao usuário no ato do recebimento do bem imóvel, o manual do proprietário, deve apresentar uma descrição detalhada de todas as atividades de manutenção, operação e uso dos sistemas construtivos constituintes da edificação, mesmo aqueles não caracterizados pela NBR 15.575:2013, devendo obedecer assim aos dispositivos normativos vigentes e utilizados pela indústria da construção civil, como, por exemplo, a NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão.

As descrições de operação, uso e manutenção no estado de São Paulo e em Pernambuco estão relatadas no caderno Manual do Proprietário. Nesse contexto verifica-se que para Borges (2013, p. 13), os prazos de garantia atendem ao disposto na NBR 15.575:2013 tal que:

“os prazos constantes do Termo de Garantia – Aquisição e do Termo de Garantia Definitivo foram indicados em conformidade com a norma técnica NBR 15.575:2013. Assim sendo, os prazos referidos em tais documentos correspondem a prazos totais de garantia, não implicando soma aos prazos de garantias legal. Os prazos de garantia de materiais, equipamentos e serviços dos sistemas têm validade a partir da data do Auto de Conclusão do Imóvel.”

Assim, novamente se verifica que os prazos de garantia determinados no Manual do Proprietário não indicam os parâmetros escolhidos para deliberação dos valores em anos, destaca-se, no entanto, a diferença entre os prazos específicos para

materiais, equipamentos e serviços, os quais devem ser incorporados ao prazo de garantia de uma forma geral.

3.0 METODOLOGIA

3.1 Considerações iniciais

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa foi exploratória e descritiva. As técnicas utilizadas foram pesquisa documental, bibliográfica e por amostragem, uma vez que o banco de dados utilizados é procedente do setor de assistência técnica pós-obra de uma empresa construtora do Recife-PE.

O conceito de técnica de pesquisa é o conjunto de preceitos ou processos de que se serve uma ciência ou arte; é a habilidade para usar esses preceitos ou normas, a parte prática, (LAKATOS, 2006).

A pesquisa consistiu no estudo da NBR 15.575:2013 - Edificações habitacionais – Desempenho e da relação que os parâmetros definidos pela norma têm com os problemas patológicos constatados através da assistência técnica pós-obra de 8 (oito) empreendimentos.

O estudo sobre a NBR 15.575:2013 se desenvolveu a partir dos sistemas construtivos que subdivide a norma em seis partes. Os dados sobre assistência técnica pós-obra foram tratados estatisticamente, tendo sido determinadas as medidas de posição, ordenação, dispersão e de assimetria.

O universo amostral parte do levantamento de dados e informações pesquisadas da assistência técnica pós-obra (ATPO). O banco de dados disponibilizado apresentou 293 chamados com registros válidos para a pesquisa. Embora não estivessem relacionados diretamente ao controle de desempenho ou da vida útil das edificações, mas referente a gestão e controle da qualidade, foi possível relacionar com o que preconiza a ABNT (2013).

As atividades desenvolvidas para realização da pesquisa foram:

- a) Estudo da NBR 15.575:2013-Edificações habitacionais – Desempenho;
- b) realização de pesquisa documental e bibliográfica sobre os temas durabilidade, vida útil e desempenho das edificações;
- c) levantamento de dados e informações sobre assistência técnica pós-obra em empresas construtoras da Região Metropolitana do Recife (RMR).

Tendo sido contatadas três empresas, entretanto o trabalho se desenvolveu com as informações disponibilizadas por uma empresa;

- d) determinação e análise da taxa de falhas nos empreendimentos analisados;
- e) aplicação do método dos fatores para determinação a vida útil estimada (VUE) de cada edificação estudada após a entrada em operação e uso dos sistemas construtivos;

3.2 Assistência Técnica Pós-obra

Para as edificações analisadas, as datas de entrega da construção aos proprietários/usuários ou moradores/inquilinos, estão compreendidas entre os anos de 2005 e 2012, fato que ocorreu após a certificação da Prefeitura local com a entrega do “Habite-se”. Por conseguinte, o universo da pesquisa foi estabelecido entre os anos de 2005 e 2014 distribuídos em oito empreendimentos, caracterizados como residencial de múltiplos andares, variando entre 20 e 33 pavimentos.

A partir do universo amostral se verifica que partes das solicitações efetuadas pelos usuários a assistência técnica ocorreram nos primeiros anos após a entrega das obras, mas também foram registrados chamados após os prazos mínimos estabelecidos pelas empresas como garantia.

As informações prestadas pela construtora indicam que normalmente a equipe técnica que atua na ATPO são os mesmos profissionais que participaram da construção da edificação, mesmo nos casos em que houveram intervenções executadas por empresas terceirizadas.

Essas ocorrências se referem as avarias identificadas, inicialmente pelo usuário e posteriormente confirmados por profissional qualificado da construtora que realizou inspeção aos elementos ou componentes construtivos com mau funcionamento.

Os registros foram classificados por data do chamado, tipo de problema indicado pelo morador, confirmação do problema pelo técnico avaliador, período de tempo percorrido entre a entrega e a detecção do dano e o tempo de resposta. Este levantamento faz parte do sistema de qualidade gerenciado pela empresa para cada empreendimento entregue, visando à melhoria contínua do processo construtivo e consequentemente do tipo de produto entregue ao mercado.

Os atendimentos da ATPO, em sua maioria, foram realizados por profissionais da própria empresa, utilizando, para registro, formulários específicos em cada

ocorrência. No caso de mais de um registro para uma mesma unidade, verificou-se uma independência para anotação para cada tipo de ocorrência. Em caso de confirmação do problema, geralmente foi elaborada uma planilha de custo para autorização pelo coordenador/supervisor do sistema de gestão da qualidade, e, posteriormente, executada a correção necessária.

3.3 Análise estatística dos dados

De acordo com Martins (2011) “as pesquisas são realizadas por meio de estudo dos elementos que compõem uma amostra extraída da população que se pretende analisar. O conceito de população é intuitivo. Trata-se do conjunto de indivíduos ou objetos que apresentam em comum determinadas características definidas para o estudo. A amostra é um subconjunto da população.”

Sabe-se que, para melhor se estimar a representatividade de um grupo, quanto maior e mais detalhado for o universo amostral mais a análise estatística pode contribuir para a tomada de decisão. Entretanto, conforme esclarece Martins (2011) “as limitações de tempo, custo e as vantagens do uso das técnicas estatísticas justificam o uso de planos amostrais.”

A escolha do universo amostral está relacionada à facilidade de acesso aos dados e informações da empresa construtora, em função da disponibilidade da alta direção de permitir o acesso. Os diretores e coordenadores da construtora atuam de forma permanente na busca de melhores resultados.

Neste sentido foi possível compreender que a disposição da instituição em apoiar a pesquisa ora desenvolvida está ancorada na melhoria contínua no processo construtivo. Desse modo, existir empresas atentas a importância de contribuir com o estudo de tecnologias sejam de execução ou de avaliação, é fundamental para a construção civil.

O universo amostral é constituído por 293 registros de ocorrências de danos ou avarias em oito empreendimentos construídos na Região Metropolitana do Recife entre os anos de 2005 a 2012.

Com base em Larson (2010), tem-se que a coleta, organização, análise e interpretação de dados, os quais advêm de observações, contagens, medições e repostas, definem a estatística como ciência. Assim considerando, pois, que os dados e informações utilizados para aplicação do método dos fatores e determinação da taxa

de falhas de cada edificação, descritas anteriormente, podem ser acolhidos estatisticamente.

Após a tabulação, análise e tratamento dos dados foram definidos dois grupos amostrais. O primeiro é constituído pelo conjunto total de empreendimentos, portanto foi possível utilizar o total de ocorrências, 293, para determinação das medidas de posição, de dispersão e de assimetria. O segundo conjunto de dados constitui o fracionamento do total de ocorrências, utilizando-se o número de registros por empreendimento, tendo sido determinadas as VUE e da taxa de falhas por edificação.

3.4 Determinação da vida útil estimada

Para determinação da vida útil estimada (VUE) através do método dos fatores foi utilizada a seguinte sequência:

a) A partir de visita técnica à empresa construtora, foi realizado levantamento dos dados e informações pertinentes a assistência técnica pós-obra, a partir dos mapas do sistema de controle de qualidade de 11 (onze) empreendimentos. Após análise, verificou-se que apenas 8 (oito) edifícios possuíam catalogação da assistência técnica em condições de serem utilizados para essa pesquisa. Concluída as verificações, os dados e informações dos registros, foram tabelados em planilha Excel, conforme destacado na Tabela 9, onde estão descritos os aspectos relevantes identificados nas fichas de controle da ATPO, tais como:

- i) data do chamado, que passou a ser a data de observação da avaria;
- ii) a localização do problema, que caracterizou o sistema construtivo danificado;
- ii) a confirmação ou não do técnico da empresa sobre a ocorrência registrada, sendo considerada a partir dessa inspeção a data de início da manifestação patológica constatada;
- iv) a correção ou não do problema.

b) elaboração da tabela de referência com os pesos atribuídos aos fatores modificantes, conforme Tabela 10. A definição dos pesos levou em

consideração, além dos parâmetros previstos pela ISO 15.686:2000, aspectos relacionados a atuação da assistência técnica pós-obra, tais como:

- i) Indisponibilidade imediata para conferência e/ou consulta de projeto ou especificações;
 - i) localização aproximada de todos os empreendimentos, variando muito pouco na avaliação do ambiente interno e externo;
 - ii) registros de danos de sistemas construtivos não especificados pela NBR 15.575:2013, como o sistema elétrico, devido a relevância no número de ocorrências registradas;
 - iv) experiência dos profissionais de atuam no controle de qualidade da empresa.
- c) para os fatores modificantes, foram adotados pesos não inferiores a 0,8 ou superiores a 1,2, uma vez que, para este trabalho, foi adotado o Teorema de Tchebycheff, justificando o intervalo.

Tabela 9: Descrição dos dados da assistência técnica pós-obra para E01.

Item	Data do chamado			Assistência Técnica Pós-obra – Conjunto de dados – E01				
	Dia	Mês	Ano	Data de início do serviço	Unidade (Apto)	Tipo de problema informado pelo cliente	Tipo de problema detectado pelo Inspetor da Empresa (causa)	Problema corrigido (sim ou não)
1	19	2	2008	26-02-2008	1701	Vazamento WC Suíte	Vazamento Joelho 45° 100mm-esgoto	sim
2	17	3	2008	24-03-2008	1601	Água não escoar para o ralo da varanda	Falha na aplicação do revestimento - piso	sim
3	17	3	2008	24-03-2008	1601	Vazamento no forro da jardineira	Falha na impermeabilização	sim
4	17	3	2008	15-04-2008	1901	Piso do box do WC social sem caimento	Falha na aplicação do revestimento - piso	sim
5	19	5	2008	07/01/2008	NC	Mancha de infiltração no piso do Hall principal	Água percola através do encontro da esquadria com o piso	sim
6	19	5	2008	07/01/2008	NC	Infiltração no teto da garagem próximo à casa de bomba da piscina	Falha na impermeabilização	sim
7	19	5	2008	07/01/2008	NC	Infiltração na casa de bateria do semienterrado	Falha na impermeabilização do trecho afetado	sim
8	20	5	2008	NC	101	Infiltração interna na parede da suíte do casal	Tubulação perfurada pela instalação de painel para espelho	não
9	4	6	2008	NC	1201	Infiltração no forro da varanda	Infiltração pela esquadria instalada pós-obra	não
10	4	6	2008	07/01/2008	1201	Infiltração no peitoril da sala	Falha na junta vertical de movimentação	sim
11	30	6	2008	07/02/2008	1901	Infiltração na parede da fachada do quarto 1	Falta de caimento em um trecho da placa de ar condicionado	sim
12	29	7	2008	08/04/2008	NC	Os poços dos elevadores estão com água	Falha na impermeabilização	sim
13	26	8	2008	10/01/2008	1801	Infiltração na parede interna do Q1	Perfuração da prumada de água pluvial da varanda pelo rodapé	Sim
14	26	8	2008	10/01/2008	1801	Piso da varanda não está escoando água	Falha no caimento da cerâmica aplicada	Sim

Continuação da Tabela 9.								
Item	Data do chamado			Assistência Técnica Pós-obra – Conjunto de dados – E01				
	Dia	Mês	Ano	Data de início do serviço	Unidade (Apto)	Tipo de problema informado pelo cliente	Tipo de problema detectado pelo Inspetor da Empresa (causa)	Problema corrigido (sim ou não)
15	26	8	2008	10/01/2008	1801	Alisar da porta de entrada social e serviço estão com problema	Alisar com polia	sim
16	26	8	2008	23-09-2008	2101	Infiltração no capeação superior da sala	Fissura no rejunte da fachada	sim
17	26	8	2008	23-09-2008	2101	Infiltração no forro da varanda	Fissura no rejunte do capeação externo	sim
18	10	9	2008	23-09-2008	1501	Infiltração no forro da varanda	Fissura no rejunte do capeação externo	sim
19	3	11	2008	11/04/2008	601	Fluxo de água do apto reduz durante aspiração da piscina	Desregulagem da válvula redutora de pressão (térreo)	sim
20	3	11	2008	NC	NC	Válvula do teto do 7º andar com vazamento	Falta de manutenção da válvula em uso e falta de rodízio com a válvula reserva	Administradora do Condomínio
21	3	11	2010	NC	601	Fissuras diversas no teto (forro de gesso) e em algumas paredes		não
22	22	4	2010	30-04-2010	301	Cerâmica da cozinha solta	Falha no rejunte	sim
23	22	4	2010	30-04-2010	301	Falta colocação de perfil no hall social	Falta de aplicação do perfil	sim
24	22	4	2010	NC	301	Ralo do tanque retornando água	Necessária troca de sifão	não
25	22	4	2010	05/04/2010	Administradora do Condomínio	Fissura na parede da garagem (semi-enterrado)	Fissura entre o concreto e a alvenaria	sim
26	22	4	2010	NC	Administradora do Condomínio	Tubulação vazando no hall do 2º andar		não
27	2	5	2011	27-05-2011	Administradora do Condomínio	Infiltração pelo poço do elevador e teto do pav. Garagem	Infiltração nas paredes do poço de elevadores	sim
28	16	2	2011	NC	401	Fissuras no forro de gesso da sala e quarto	Proveniente de provável reforma nos aptos do prédio provocando vibrações	não

NC – Não consta nos registros da Assistência Técnica Pós-obra.

d) para determinação da VUE foi aplicada a Equação 1:

A partir do estudo verifica-se que para determinação da vida útil de projeto, faz-se necessário estimar quais as condições iniciais de operação e uso dos sistemas construtivos pode influenciar na vida útil da construção, uma vez que a catalogação dos danos observados foi registrada no período inicial de operação e uso da edificação.

Para determinar o intervalo de confiança foi adotada a Equação 2:

Para a pesquisa foram adotados pesos a todos os fatores modificantes o que define a mesma expressão para o cálculo do intervalo de confiança para a VUE das edificações analisadas.

3.3 Determinação da taxa de falhas

A taxa de falhas mede a frequência com que as falhas ocorrem. É calculada pela razão entre o número de falhas em um determinado período de tempo. Assim para determinar a taxa de falhas dos sistemas construtivos, a partir dos dados registrados pela ATPO, adotou-se que as falhas seriam as ocorrências registradas (ex. avarias na tubulação de água ou esgoto nas unidades) durante o intervalo de tempo compreendido entre a data de entrega da obra, ou seja, data da entrada em operação e uso da edificação, e a data de registro do episódio, sendo o tempo medido em meses, conforme apresentado na Tabela 11.

Para apresentar a sequência do cálculo da determinação da taxa de falhas serão utilizados os dados e informações do E08. Neste empreendimento foram identificadas 79 (setenta e nove) ocorrências que depois de agrupadas por data de ocorrência geraram 18 (dezoito) tipos de falhas. O primeiro mês a registrar avarias para essa edificação foi o sexto mês após a data da entrada em operação e uso, para o qual foi adotado a nomenclatura M6 e o último mês foi o vigésimo terceiro para o qual foi adotado M23.

Tabela 11: Apresentação do número de ocorrências e taxa de falhas de E08.

2012		
Período de tempo decorrido (meses)	Nº de ocorrências	Taxa de falhas (λ)
M6	5	0,83
M7	12	1,71
M8	6	0,75
2013		
M9	6	0,67
M10	5	0,50
M11	5	0,45
M12	4	0,33
M13	4	0,31
M14	5	0,36
M15	5	0,33
M16	6	0,38
M17	5	0,29
M18	5	0,28
M19	1	0,05
M20	1	0,05
2014		
M21	1	0,05
M22	2	0,09
M25	1	0,04

Fonte: a autora.

Considerando que estatisticamente esta é uma amostra com um número inferior a 30 elementos, optou-se por determinar a média anual da taxa de falhas para todos os empreendimentos.

Estabelecendo relação com a “curva da banheira” onde as falhas iniciais de um sistema podem ser consideradas como falhas bruscas compreendidas no estágio de mortalidade infantil. Nesse estágio as falhas ocorrem por causas de peças defeituosas ou por uso inadequado. Para efeito da pesquisa para todas as edificações adotou-se o estágio inicial o período compreendido por 05 (cinco) anos após a entrega da construção aos usuários.

Vale ressaltar, no entanto, que, tomando como base a curva da banheira, os sistemas tendem a sofrer interrupções por falhas na operação e uso, durante toda a vida útil, ocorrendo ainda dois períodos importantes: o de vida normal onde podem ocorrer falhas aleatórias; e o período de desgaste, considerado de morte do sistema ou componente.

Dentre os empreendimentos analisados tem-se o seguinte quadro referente ao estágio de vida da edificação.

E01 estágio inicial – data de entrega Janeiro de 2007

- data do último registro Maio 2011
- E02 estágio inicial – data de entrega Dezembro de 2007
data do último registro Agosto de 2011
- E03 – estágio normal - data de entrega Julho de 2005
data do último registro Julho de 2011
- E04 – estágio normal - data de entrega Março de 2005
data do último registro Novembro de 2011
- E05 – estágio inicial - data de entrega Setembro de 2009
data do último registro Julho de 2013
- E06 – estágio normal - data de entrega Abril de 2004
data do último registro Outubro de 2010
- E07 – estágio normal - data de entrega Maio de 2003
data do último registro Abril de 2009
- E08 – estágio inicial - data de entrega Maio de 2012
data do último registro Maio de 2014

Optou-se por fazer a determinação da taxa de falhas da amostra global, correspondendo ao total de falhas detectadas nos oito empreendimentos. Nesse sentido, considerando que, após a determinação da taxa de falhas, para o qual foram agrupadas as ocorrências, a amostra global passou a ser considerada com 93 registros, portanto, um número maior que 30 elementos, cabendo, por conseguinte análise estatística desses dados. Para este plano amostral foram determinadas as medidas de posição, ordenação, dispersão e de assimetria. Posteriormente foram elaborados os gráficos histograma da frequência absoluta e o gráfico da frequência relativa.

- a) Amostra Global - todos os Empreendimentos

Após determinadas a taxa de falhas por empreendimento, passou-se a fase de determinação da taxa de falhas global. Para determinação da taxa de falhas global foi necessário tratamento estatístico da amostra, resultando na determinação da média igual a $\bar{X} = \sum \frac{X_i}{n}$ e desvio padrão $S_n = \sqrt{V}$, sendo $V = \frac{1}{N-1} \sum (x_i - x_m)^2$. A fim de eliminar valores fora do padrão foi calculando o score $Z_i = (X_i - X_m) / S_n$, tem-se que para a amostra os valores com score $Z_i > 3$ foram descartados, onde:

\bar{X}	- média aritmética
V	- variância amostral
Xi	- variável inicial
Xm	- variável final
n	- número de observações para amostra
Zi	- escore padronizado
Sn	- desvio padrão amostral

Assim passaram a ser estatisticamente representativos 80 dos 93 valores. A Tabela 12 apresenta todos os valores de taxa de falha da amostra global.

Tabela 12: descrição dos valores calculados para taxa de falhas global.

Distribuição da taxa de falhas - amostra global													
0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
0,06	0,06	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11
0,14	0,15	0,17	0,18	0,18	0,20	0,21	0,21	0,25	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29
0,29	0,31	0,33	0,33	0,35	0,36	0,36	0,38	0,45	0,50	0,57	0,58	0,63	0,67
0,75	0,75	0,80	0,83	1,00	1,15	1,27	1,71						

*Os itens em negrito são os valores descartados.

Fonte: a autora.

A partir dos valores determinados foram definidas as medidas de posição (média, mediana e moda), ordenação (quartis, decis e percentis), dispersão (amplitude total, variância, desvio padrão) e de assimetria (1º e 2º coeficiente de Pearson).

4.0 APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS FATORES E DA TAXA DE FALHAS

4.1 Introdução

Atualmente a determinação da vida útil estimada das construções deve basear-se na NBR 15.575:2013. Assim, para relacionar as informações produzidas pela ATPO e a referida norma foi utilizado o método dos fatores, visando determinar a vida útil estimada (VUE) para cada empreendimento estudado, como também foi determinada a taxa de falhas de cada sistema construtivo, conforme prevê a NBR 15.575:2013 no planejamento da vida útil.

Desse modo, pretende-se estabelecer de forma objetiva qual a influência que os danos construtivos, sejam visíveis ou ocultos, produzem para a redução a vida útil de referência (VUR), tomando como base o banco de dados da ATPO.

Os empreendimentos construídos pela empresa atendem a padrões construtivos intermediários e superiores, de acordo com aqueles adotados na região, além de obedecer às normas vigentes, como a Lei n.º 15.563, de 27 de dezembro de 1991.

4.2 Características gerais e localização dos Empreendimentos

Todos os empreendimentos estão localizados na Região Metropolitana do Recife, entre os municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes, indicando uma uniformidade nas condições ambientais podendo ou não contribuir para o surgimento de manifestações patológicas capazes de interferir no desempenho e funcionalidade das obras, uma vez que para a pesquisa adotou-se a zona bioclimática nº8, ABNT (2013, p. 38), como referência.

As edificações estão caracterizadas na Tabela 13 com a descrição do tipo de uso, da tipologia construtiva, do número de pavimentos por edifício, para os quais foi adotada uma média de 04 unidades habitacionais por andar, correspondendo a uma média de 1.200 unidades habitacionais.

Tabela 13: Descrição da caracterização dos empreendimentos.

Caracterização dos Empreendimentos						
Item	Tipo de uso	Tipologia construtiva	Nº de pavimentos	Data de entrega da obra	Foi entregue Manual do Proprietário (sim ou não)	Nomenclatura
1	Residencial	Concreto Armado	24	Janeiro/2007	sim	E01
2	Residencial	Concreto Armado	28	Dezembro/2007	sim	E02
3	Residencial	Concreto Armado	23	Julho/2005	sim	E03
4	Residencial	Concreto Armado	26	TORRE A - Março/2005	sim	E04
4	Residencial	Concreto Armado	26	TORRE B – Janeiro/2006	sim	E04
5	Residencial	Concreto Armado	30	Setembro/2009	sim	E05
6	Residencial	Concreto Armado	21	Abril/2004	sim	E06
7	Residencial	Concreto Armado	20	Mai/2003	sim	E07
8	Residencial	Concreto Armado	26	Mai/2012	sim	E08

Fonte: Dados da ATPO - adaptado.

4.3 Demonstrativo dos dados e informações coletadas

Os dados e informações coletadas foram agrupados de duas formas, a primeira com o total das ocorrências e a segunda por empreendimento. A Tabela 14 mostra o quantitativo de ocorrências por empreendimento.

Tabela 14: Número de ocorrências por empreendimento.

Número de ocorrências por edificação								
E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	Total de ocorrências registradas
28	30	7	31	33	83	2	79	293

Fonte: Dados da ATPO - adaptado.

As edificações E03 e E07 não podem ser analisadas estatisticamente de maneira isolada, pois contém um pequeno número de chamados registrados. As ocorrências de danos catalogadas para esses dois empreendimentos estão contidas na amostral total, a partir de onde foi determinada a taxa de falha global.

Considerando ainda que há uma variação entre o número de eventos por edificação, onde E06 apresenta um alto número de registros, 83, em relação a E07 que registrou apenas 2 casos de avarias, são danos que, de alguma forma, causaram transtornos ao usuário, conseqüentemente, foram ocorrências considerados no âmbito global dos eventos.

Vale ressaltar que para as situações de pequenas amostras, ou seja, com um conjunto com quantidade menor que 30 elementos, é possível gerar uma análise de confiança, conforme prevê Larson (2010). Os vários tipos de ocorrências constatadas estão relacionados na Tabela 15. A descrição inicial do problema pelo registrado pelo usuário algumas vezes não coincidia com a avaliação do técnico, mas a definição final sobre qual o tipo de problema patológico sempre ficou sob responsabilidade do avaliador.

Nos registros dos dados analisados, constatou-se que o responsável pela inspeção averigua se o item danificado está ou não dentro do prazo de garantia; em seguida, eram verificadas as prováveis causas dos danos, se decorrente do mau uso ou da má instalação. Após a confirmação da avaria, o técnico normalmente descrevia em ficha específica os problemas constatados, abrindo assim, uma ordem de serviço para a realização do conserto ou substituição do componente avariado.

Após o levantamento dos danos registrados pelos usuários, incluindo aqueles apontados pelos administradores do condomínio, responsáveis pela manutenção nas áreas comuns, as ocorrências foram agrupadas seguindo a mesma sequência dos sistemas construtivos definidos pela NBR 15.575:2013, a partir das recomendações expressa na Tabela C.6 da ABNT (2013, p. 47).

Desse modo, as avarias foram agrupadas de acordo com o sistema construtivo, tal que:

- a) Para o sistema de vedações verticais interna e externa (SVVIE) – danos em fachadas; fissura em platibanda; falhas nas vedações de esquadrias; fissuras nas paredes internas;
- b) para o sistema de cobertura (SC) – danos na impermeabilização da coberta; ausência de calhas ou danos na drenagem pluvial de coberta;
- c) para o sistema hidrosanitário (SH) – danos nas instalações de bombas; de ar condicionado; de gás; e danos na própria rede de água e esgoto;
- d) para o sistema elétrico (SE) – danos nas instalações de antena; e danos na própria rede elétrica;

- e) para outros (O) – danos em pinturas; vidros; instalação para aquecimento solar.

Tabela 15: Relação do número de ocorrências por tipo

Item	Tipo de ocorrência	Total de registros por tipo de ocorrência
1	Acessório	2
2	Coberta	2
3	Esquadria (infiltração; falha na vedação; empenamento; etc..)	60
4	Estrutura (estruturas auxiliares)	5
5	Fachada	34
6	Fissura (vigas e paredes; revestimento de fachada; etc..)	11
7	Impermeabilização	27
8	Instalação contra incêndio	0
9	Instalação de antena externa	5
10	Instalação de ar condicionado	5
11	Instalação de gás	3
12	Instalação de telefonia	4
13	Instalação Elétrica	24
14	Instalação Hidrosanitária (assentamento de peças; tubos e conexões; etc.)	83
15	Instalação para aquecimento solar	1
16	Outros (Pintura, Vidros, etc..)	2
17	Piso	23
18	Teto (forro de gesso)	2
Total de ocorrências		293

Fonte: Dados da ATPO - adaptado.

Após a conclusão dos serviços de correção das avarias realizado pela equipe da ATPO, era solicitado ao usuário uma avaliação do atendimento realizado, desde o atendimento ao chamado até a qualidade do serviço executado, considerando-se inclusive o tempo resposta entre o comunicado do dano e a correção do defeito.

A fim de apresentar a relação das avarias registradas pela ATPO e os sistemas construtivos (ABNT, 2013), foi elaborada a Tabela 15. Há uma diferença numérica entre os totais por ocorrências apresentados na Tabela 14 e os valores totais da Tabela 15. Essa diferença é consequência do agrupamento das ocorrências, uma vez que na Tabela 14 manteve-se a identificação dos danos originalmente registrados, de acordo com as fichas catalogadas pela ATPO, preparadas para atender ao sistema de qualidade, enquanto que as descrições apresentadas na Tabela 16 indicam o agrupamento por sistema construtivo.

Após o tratamento e análise dos dados foi possível observar quais os sistemas construtivos com o maior percentual de avarias apontadas pelos usuários e confirmadas pelos técnicos da construtora.

Tabela 16: Demonstrativo do total de ocorrências por sistema construtivo

Ocorrências relacionadas aos Sistemas Construtivos (ABNT NBR 15.575:2013)										
Item	Sistema Construtivo	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	Total
1	ESTRUTURAL	1	2	0	3	1	0	2	0	9
2	PISO	9	6	0	3	3	4	0	11	36
3	SVVIE	9	16	4	15	12	35	0	9	100
4	COBERTURA	2	0	1	6	1	4	0	0	14
5	HIDROSANITÁRIO	7	6	2	3	14	22	0	42	96
6	ELÉTRICO*	0	0	0	0	2	17	0	15	34
7	OUTROS * (PINTURA, VIDROS, ETC)	0	0	0	1	0	1	0	2	4
Total por empreendimento		28	30	7	31	33	83	2	79	
Total não corrigido		6	7	3	8	3	9		26	
Total de ocorrências - 100%										293
Total de problemas não corrigidos - 21%										62

* Sistemas não definidos pela NBR 15.575:2013.

Fonte: Dados da ATPO - adaptado.

4.4. Fatores Modificantes

Para determinação da *vida útil* dos sistemas construtivos de uma edificação, faz-se necessário, dentre outros aspectos, conhecer a vida útil prevista para materiais e componentes, fornecida pelos fabricantes. A partir dessas informações os projetistas definem a *vida útil de projeto* para cada sistema ou componente da edificação.

O projetista estabelece, também, uma programação para a realização de manutenções, recuperações ou substituições dos componentes ao longo da vida útil da edificação. Todavia, não é possível confirmar se essas atividades de manutenção previstas serão realizadas pelos usuários, assim os fatores de segurança incluídos na elaboração dos projetos se tornam importantes para evitar danos ou defeitos no início da operação e uso da edificação.

A ABNT-1 (2013, p 10) prevê que “as negligências no cumprimento integral dos programas definidos no manual de operação, uso e manutenção da edificação, bem como ações anormais do meio ambiente, irão reduzir o tempo de vida útil, podendo este ficar menor que o prazo teórico calculado com vida útil projetada. ”

Todos esses aspectos influenciam na vida útil da construção. Nesse contexto, a aplicação do método dos fatores para determinar a *vida útil estimada* (VUE) dos sistemas construtivos após a realização de intervenções de manutenção executadas pela Assistência Técnica propicia a condição de redefinição dos parâmetros adotados para a determinação da vida útil de projeto (VUP), uma vez que a vida útil estimada (VUE) sofre redução antes mesmo da realização das intervenções de manutenção previstas pelo projetista ou descritas no Manual do Usuário.

Os prazos adotados para a VUR, de cada sistema construtivo, serão os mesmos indicados pela ABNT NBR 15.575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho. As principais características que influenciam na VUE através dos fatores modificantes, estão apresentadas na Tabela 10, onde foram atribuídos pesos para cada sistema construtivo formando um arcabouço geral, de modo que cada empreendimento analisado recebe uma parametrização específica.

A elaboração do arcabouço geral leva em consideração os danos que ocorreram nos primeiros cinco anos da entrada em operação e uso dos empreendimentos, visto que esse é o período que corresponde ao prazo de garantia definido em ABNT (2013). Os valores da vida útil estimada (VUE`s), de cada sistema construtivo, que foram determinadas podem ser utilizadas como uma proposição para atualização da vida útil de projeto (VUP), podendo ser adotada para a nova VUP o valor igual ao da VUE calculada.

Essa proposição baseia-se na descrição da própria ABNT (2013, p. 10) que afirma ser a “VUP uma estimativa teórica de tempo que compõe o tempo de vida útil. O tempo de VU pode ou não ser confirmado em função da eficiência e registro das manutenções, de alterações no entorno da obra, fatores climáticos, etc.”. Os resultados da análise do conjunto de dados da ATPO após aplicação do MF minoram a VUP, uma vez que os sistemas e componentes que sofreram intervenção, pela própria empresa, resultam em uma nova contagem de prazos para a VUP, adotando-se os valores calculados pela VUE.

Desta forma temos que:

$$VUP = VUE_{\text{calculada pelo MF}}$$

Eq. (4)

A partir dessas observações é possível sugerir que os prazos de garantia dos sistemas construtivos passem a vigorar a partir do terceiro ano da data de entrega da obra, período em que se verificou uma drástica redução no registro de danos e avarias

nas edificações. No período inicial da entrada em operação e uso da edificação, correspondendo em média a três anos, são realizadas intervenções de ajuste dos sistemas instalados.

4.4.1 Aplicação do Método dos Fatores

A NBR 15.575:2013 prevê em cada uma de suas partes, requisitos, critérios e métodos de avaliação, para análise do desempenho das edificações. Assim, para examinar a conformidade nos empreendimentos estudados, no tocante ao desempenho, foram realizadas análises nos dados e informações produzidas através da ATPO.

Alguns métodos de avaliação previstos pela norma, exigem a efetiva utilização de corpos de prova. O requisito referente a estanqueidade para o sistema de vedações verticais externas, exige apenas inspeção e constatação de manchas de infiltração.

Neste contexto, o critério para avaliação, apresentado nas Tabelas 11 e 12, de acordo com ABNT-4 (2013, p.23), apresenta as condições de exposição que devem suportar as vedações verticais externas, incluindo esquadrias condicionadas a exposição nas diferentes regiões brasileiras, a partir das definições exibidas na norma.

Desse modo, foi possível verificar que os dados e informações coletadas através da ATPO, indicaram a presença de danos que levam a edificação a não conformidade com a norma de desempenho. Nos itens 9, 16 e 17 da Tabela 8 pode exemplificar a condição descrita. Tendo sido realizada a mesma sequência analítica para as oito edificações analisadas.

a) Empreendimento E01

O empreendimento E01 foi entregue definitivamente para moradia em janeiro de 2007. Foram registradas ocorrências de danos pela ATPO nos anos de 2008, 2010 e 2011, o que corresponde a quatro anos e quatro meses de operação e uso, uma vez que o último registro ocorreu em maio de 2011.

Para determinação da VUE de cada sistema construtivo do E01 foram adotados pesos levando em consideração a Tabela 9 (arcabouço geral) como também os registros de ocorrência específicos para essa edificação, conforme está demonstrado na Tabela 17.

Para essa edificação, verificou-se uma redução da VUR em todos os sistemas, sendo o sistema estrutural (SE) com o menor percentual de 5% e os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE), Piso e Hidrosanitário apresentaram 28%. Os demais sistemas variam no intervalo entre 5% e 28%. O SVVIE e de Sistema de Pisos registraram o maior número de ocorrências.

Desse modo verifica-se que a edificação E01 tem, de forma global, uma redução na vida útil de referência (VUR) em 16%. Entretanto deve-se levar em consideração o intervalo de confiança previsto na ISO 15.686:2000.

Tabela 17: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E01

Item	Tipo de Ocorrência - Sistemas NBR 15.575	Nº de ocorrências (ATPO)	VUR (anos) NBR 15.575 - Tab. C.6	Fatores Modificantes (pesos)							VUE (anos) aplicação do MF (ISO 15.686)
				A	B	C	D	E	F	G	
1	ESTRUTURAL (auxiliares)	1	20	1,2	1,1	1	1	1	0,9	0,8	19
2	PISOS	9	13	1	1	0,9	1	1	1	0,8	9
3	SVVIE	9	13	0,95	1	0,95	1	0,9	1	0,8	9
4	COBERTURA	2	13	0,9	1,1	0,9	1	1	1,1	0,8	10
5	HIDRO	7	20	0,9	1	1	1	1	0,9	0,8	14
6	ELÉTRICA**	0	20								20
7	OUTROS *(Pinturas, Vidros, etc.)	0	8								8
Total de ocorrências		28									

Fonte: a autora.

Para determinar o intervalo de confiança foi adotado o que segue:

I. Considerando o Sistema Estrutural (estruturas auxiliares):

$$\Delta VUE = VUE \times \sqrt{(\Delta VUR/VUR)^2 + (\Delta A/A)^2 + \dots + (\Delta G/G)^2}$$

$$\Delta VUE = VUE \times \sqrt{((2/20)^2 + (0,12/1,2)^2 + (0,11/1,1)^2 + (0,1/1,0)^2 + (0,1/1,0)^2 + (0,09/0,9)^2 + (0,08/0,8)^2)}$$

$$\Delta VUE = VUE \times \sqrt{((2/20)^2 + 7 \times (0,1)^2)}$$

$$\Delta VUE = VUE \times 0,2828 = 19 \times 0,2048 = 5,37 \approx 5,0 \text{ anos.}$$

Desse modo $VUE_{SE} = 20 \pm 5,0$ anos.

II. Considerando o Sistema de Piso:

$$\Delta VUE = VUE \times \sqrt{((1,3/13)^2 + (0,11/1,1)^2 + (0,11/1,1)^2 + (0,08/0,8)^2 + (0,1/1,0)^2 + (0,1/1,0)^2 + (0,11/1,1)^2 + (0,08/0,8)^2)}$$

$$\Delta VUE = VUE \times \sqrt{((1,3/13)^2 + 7 \times (0,1)^2)}$$

$$\Delta VUE = VUE \times 0,2828 = 9 \times 0,2828 = 2,5452 \approx 3,0 \text{ anos.}$$

Desse modo: $VUE_{SP} = 13 \pm 3,0$ anos.

Conseqüentemente, como foram adotados, para a pesquisa, pesos a todos os fatores modificantes, a variação para a VUE de cada sistema construtivo será de determinada em função da VUR específica, calculando-se da mesma forma utilizada para o SE e SP, o que define um mesmo intervalo de confiança médio entre 20% e 30% para a VUE das edificações analisadas.

b) Empreendimento E02

As ocorrências de danos registradas através da ATPO, para o empreendimento E02, estão compreendidas entre os anos de 2009, 2010 e 2011. A edificação, foi disponibilizada definitivamente para moradia/usuários em dezembro de 2007, correspondendo a três anos e sete meses de operação e uso. A Tabela 18 apresenta os pesos específicos atribuídos para determinação da VUE.

Se verifica uma redução em todos os sistemas construtivos, para o sistema estrutural (SE) tem-se o menor percentual correspondendo a 5%, e os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) e hidrosanitário em 42%. Os demais sistemas variam no intervalo entre 5% e 42%. Note que, nessa edificação não foram constatadas avarias no sistema de cobertura, embora tenham sido verificados danos no serviço de impermeabilização, estes foram atribuídos ao sistema de piso.

O SVVIE registrou o maior número de ocorrências e a maior diferença percentual entre a VUR e a VUE, situação igual a E01. Desse modo verifica-se que a edificação E02 tem, de forma global, uma redução na vida útil de referência (VUR) de 16%.

Tabela 18: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E02.

Item	Tipo de Ocorrência - Sistemas NBR 15.575	Nº de ocorrências (ATPO)	VUR (anos) NBR 15.575 - Tab. C.6	Fatores Modificantes							VUE (anos) aplicação do MF (ISO 15.686)
				A	B	C	D	E	F	G	
1	ESTRUTURAL (auxiliares)	2	20	1,2	1,1	1	1	0,9	1	0,8	19
2	PISOS	6	13	0,9	1	0,95	1	1	1	0,8	9
3	SVVIE	16	13	0,95	0,9	0,95	1	1	1	0,8	9
4	COBERTURA	0	13								13
5	HIDRO	6	20	0,95	0,9	0,9	1	1	0,95	0,8	12
6	ELÉTRICA**	0	20								20
7	OUTROS **(Pinturas, Vidros, etc.)	0	8								8
Total de ocorrências		30									

Fonte: a autora.

c) Empreendimento E03

A obra foi disponibilizada aos proprietários/usuários em julho de 2005, correspondendo a seis anos de operação e uso, uma vez que o último registro data de julho de 2011. As ocorrências de danos registradas através da ATPO estão compreendidas entre os anos de 2009, 2010 e 2011.

Na sequência será apresentada a Tabela 19 com os valores atribuídos aos pesos dos fatores modificantes referente à E03. Note-se que esta edificação apresentou um baixo número de avarias registradas. Entretanto ainda é possível observar que o sistema de vedações verticais internas e externas contribui de forma significativa para manter a construção com um alto percentual de redução da VUR global, correspondendo a 14%.

Neste caso, verifica-se uma redução da VUR no sistema de vedações verticais internas e externas (SVVIE) de 35%, no sistema de cobertura em 28% e no sistema hidrosanitário em 36%, não havendo registros para os demais sistemas. Foi observado, também que, embora a edificação tenha sido entregue para moradia no ano de 2005, apenas em 2009 os danos observados pelos usuários passaram a ser registrados, havendo um lapso temporal não analisado.

Tabela 19: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E03.

Item	Tipo de Ocorrência - Sistemas NBR 15.575	Nº de ocorrências (ATPO)	VUR (anos) NBR 15.575 - Tab. C.6	Fatores Modificantes							VUE (anos) aplicação do MF (ISO 15.686)
				A	B	C	D	E	F	G	
1	ESTRUTURAL (auxiliares)		20								20
2	PISOS		13								13
3	SVVIE	4	13	1	1	0,9	1	1	0,95	0,8	9
4	COBERTURA	1	13	1	1,1	1	1	1	0,9	0,8	10
5	HIDRO	2	20	1	1,1	1	1	1	0,8	0,8	14
6	ELÉTRICA**		20								20
7	OUTROS <small>** (Pinturas, Vidros, etc.)</small>		8								0
Total de ocorrências		7									

Fonte: a autora.

As correções de danos apontados pelos usuários, ultrapassam o prazo de garantia previsto pela ABNT (2013), mas não chegam a igualar-se a VUR atribuída pela mesma norma.

d) Empreendimento E04

A edificação E04 foi entregue aos proprietários/usuários em março de 2005, correspondendo a seis anos oito meses de operação e uso, sendo o último registro datado de novembro de 2011. As ocorrências de danos registradas estão compreendidas entre 2008, 2009, 2010 e 2011.

Os valores atribuídos aos pesos dos fatores modificantes referente à E04 estão descritas na Tabela 20. É possível observar que nessa edificação o SVVIE mantém um alto número de problemas registrados. Entretanto, diferenciada das demais, o E04 registrou 3 (três) chamados referentes ao sistema estrutural, sendo esses relacionados ao surgimento de fissuras em elementos estruturais principais, como vigas e paredes de fachada.

Para o Sistema Estrutural foram atribuídas avarias descritas como “trabalho da estrutura”, “vidros estourando da porta do hall”, “surgimento de muitas fissuras em vigas e paredes de fachada”. Após análise *in loco* do avaliador da empresa, manteve a indicação de problemas patológicos na estrutura.

A ABNT (2013) para estrutura principal determina a vida útil de referência de no mínimo 50 anos, tendo sido esse o valor adotado para o E04.

Tabela 20: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E04.

Item	Tipo de Ocorrência - Sistemas NBR 15.575	Nº de ocorrências (ATPO)	VUR (anos) NBR 15.575 - Tab. C.6	Fatores Modificantes							VUE (anos) aplicação do MF (ISO 15.686)
				A	B	C	D	E	F	G	
1	ESTRUTURAL	3	50	1,2	1,1	0,9	1	1	1	0,8	48
2	PISOS	3	13	0,9	0,9	0,9	1	1	1	0,9	9
3	SVVIE	15	13	0,9	1	0,9	1	0,9	1	0,9	9
4	COBERTURA	6	13	0,9	1,1	0,9	1	0,9	1,1	0,8	9
5	HIDRO	3	20	1	0,9	0,9	1	1	0,9	0,8	12
6	ELÉTRICA**		20								20
7	OUTROS *(Pinturas, Vidros, etc.)	1	8	1,1	0,9	1	1	1	1	0,9	7
Total de ocorrências		31									

Fonte: a autora.

Para essa obra se verifica uma redução da VUR no SE igual a 4%, no SP em 42%, no SVVIE igual a 34%, no SC 31%, no SH em 40% e em OUTROS (pintura, vidros, etc.) correspondeu uma redução de 13%. Assim os SP e SH apresentam os maiores percentuais de redução de VUR, totalizando uma redução global de 22%.

e) Empreendimento E05

A edificação E05 foi entregue aos proprietários/usuários em setembro de 2009. Como último registro catalogado pela assistência técnica ocorreu em 2013, o intervalo entre a entrega da obra e esse registro, corresponde a quatro anos de operação e uso. Observou-se ainda que, entre os anos de 2010, 2011, 2012 e 2013 foram anotadas ocorrências de danos pela ATPO da empresa, as quais estão representadas na Tabela 21.

Neste caso verifica-se uma redução da VUR, para todos os sistemas, exceto aqueles relacionados a pintura, vidros, dentre outros. Os percentuais de redução da VUR são: para o SE de 5%, para SP de 39%, para SVVIE de 31%, para SC de 15%, para SH de 40% e para o S. Elétrico de 30%. Por conseguinte, a VUR de E05, apresenta uma redução global de 23%.

Tabela 21: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E05.

Item	Tipo de Ocorrência - Sistemas NBR 15.575	Nº de ocorrências	VUR (anos) NBR 15.575 - Tab. C.6	Fatores Modificantes							VUR (anos) aplicação do MF
				A	B*	C	D	E	F	G	
1	ESTRUTURAL (auxiliares)	1	20	1,2	1,1	0,9	1	1	1	0,8	19
2	PISOS	3	13	0,9	1	0,9	1	1	1	0,8	9
3	SVVIE	12	13	0,95	0,95	0,95	1	0,9	1	0,8	9
4	COBERTURA	1	13	1	1,1	0,9	1	1	1,1	0,8	11
5	HIDRO	14	20	0,9	1	0,9	1	1	0,9	0,8	12
6	ELÉTRICA**	2	20	1	1	0,9	1	1	1	0,8	14
7	OUTROS *(Pinturas, Vidros, etc.)		8								8
Total Ocorrências		33									

Fonte: a autora.

f) Empreendimento E06

Este empreendimento apresenta um número elevado de avarias constatadas, 83 registros, o maior volume anotado, descritos na Tabela 22. Não há alterações significativas no número de pavimentos entre os edifícios, sendo E06 o segundo mais alto com 30 pavimentos. Quase todos os sistemas apresentaram danos, exceto o sistema que caracteriza serviços como pintura e aplicação de vidros. Foi possível observar, também, que os registros correspondem ao período de cinco anos, entre 2005 e 2009.

Tabela 22: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E06.

Item	Tipo de Ocorrência - Sistemas NBR 15.575	Nº de ocorrências (ATPO)	VUR (anos) NBR 15.575 - Tab. C.6	Fatores Modificantes							VUE (anos) aplicação do MF (ISO 15.686)
				A	B	C	D	E	F	G	
1	ESTRUTURAL (auxiliares)		20								20
2	PISOS	4	13	1,1	1	1	1	1	0,9	0,8	10
3	SVVIE	35	13	0,95	1	0,9	1	1	1	0,8	9
4	COBERTURA	4	13	0,9	1,1	0,9	1	1	1,1	0,8	10
5	HIDRO	22	20	1	0,9	0,8	1	1	0,9	0,8	13
6	ELÉTRICA**	17	20	0,9	1	0,9	1	1	1	0,8	14
7	OUTROS *(Pinturas, Vidros, etc.)	1	8	1	1	1	1	1	0,9	0,8	6
Total de ocorrências		83									

Fonte: a autora.

Em abril de 2004 a edificação E06 foi entregue aos usuários. Considerando que o último registro anotado ocorreu em outubro de 2009, tem-se que a edificação possui os seguintes percentuais de redução da VUR: para SP em 21%, para SVVIE em 32%,

para SC em 22%, para SH em 35% e para o S. Elétrico em 32% e para OUTROS de 28%. Por conseguinte, a VUR de E06, apresenta uma redução global de 24%.

O empreendimento E06 possui mais de 10 anos de operação e uso. Entretanto as anotações registradas através da ATPO restringem-se a um período de apenas cinco anos, período exato dos prazos máximos de garantias.

g) Empreendimento E07

Nos dados levantados da ATPO para essa edificação, foram encontrados registros de ocorrências apenas para o ano de 2009, relacionado ao Sistema Estrutural. E07 foi entregue aos usuários em maio de 2003, resultando em cinco anos e onze meses de operação e uso. Conforme indica a Tabela 23.

Tabela 23: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E07.

Item	Tipo de Ocorrência - Sistemas NBR 15.575	Nº de ocorrências (ATPO)	VUR (anos) NBR 15.575 - Tab. C.6	Fatores Modificantes							VUE (anos) aplicação do MF (ISO 15.686)
				A	B	C	D	E	F	G	
1	ESTRUTURAL (auxiliares)	2	20	0,95	1,1	0,9	1	1	1	0,9	17
2	PISOS		13								13
3	SVVIE		13								13
4	COBERTURA		13								13
5	HIDRO		20								20
6	ELÉTRICA**		20								20
7	OUTROS **(Pinturas, Vidros, etc.)		8								8
Total de ocorrências		2									

Fonte: a autora.

Considerando, portanto, não haver registros para os demais sistemas em E07, não foi possível determinar a redução percentual para VURglobal. Apenas para o sistema estrutural verificou-se uma redução da vida útil de referência em 15%.

h) Empreendimento E08

Para a edificação E08 o tempo de operação e uso corresponde a dois anos, pois a data de entrega da obra foi maio de 2012, e o último registro de ocorrências constatado, para esta pesquisa, foi maio de 2014. Foram registrados, nessa

edificação, o maior número de ocorrências através da ATPO, conforme descrição da Tabela 24.

Tem-se que para a edificação E08 os percentuais de redução da VUR foram: para SP, 3%; para SVVIE, 35%; para SC, 31%; para SH, 42% e para o S. Elétrico, em 35% e para OUTROS de 13%. Por conseguinte, a VUR de E06, apresenta uma redução global de 23%.

Tabela 24: Descrição dos pesos para os fatores modificantes em E08.

Item	Tipo de Ocorrência - Sistemas NBR 15.575	Nº de ocorrências (ATPO)	VUR (anos) NBR 15.575 - Tab. C.6	Fatores Modificantes							VUE (anos) aplicação do MF (ISO 15.686)
				A	B	C	D	E	F	G	
1	ESTRUTURAL (auxiliares)	0	20								20
2	PISOS	11	13	1,1	1,1	1	1	1	0,9	0,8	12,6
3	SVVIE	9	13	0,95	1	0,95	1	1	0,9	0,8	9
4	COBERTURA	0	13	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	9
5	HIDRO	42	20	0,9	1	0,9	1	1	0,9	0,8	12
6	ELÉTRICA**	15	20	0,9	1	0,9	1	1	0,9	0,9	13
7	OUTROS **(Pinturas, Vidros, etc.)	2	8	1	1,1	1	1	1	0,9	0,9	7
Total de ocorrências		79									

Fonte: a autora.

Após determinação da vida útil estimada (VUE) de todos os empreendimentos (E01 a E08), conforme apresentado na Tabela 25, verifica-se que, de acordo com Zarzar Jr. (2007) o planejamento da vida útil pode ser aplicado as construções existentes e as novas, uma vez que para as edificações em uso caberá um planejamento melhor quanto a programação de manutenção.

Para as novas edificações a utilização de bancos de dados iguais ou equivalentes ao da ATPO ensinará melhores definições da VUP, pois o conhecimento adquirido com os testes e avaliações realizadas, permitem ampliação do conhecimento acerca dos componentes e operacionalização dos sistemas construtivos.

Tabela 25: Descrição da redução percentual da VUR das edificações.

Empreendimento	VUE _{global}
E01	Redução de 16% da VUR _{global}
E02	Redução de 16% da VUR _{global}
E03	Redução de 14% da VUR _{global}
E04	Redução de 22% da VUR _{global}
E05	Redução de 23% da VUR _{global}
E06	Redução de 24% da VUR _{global}
E07	Redução de 15% da VUR _{se}
E08	Redução de 23% da VUR _{global}

Fonte: a autora.

A partir dos dados globais, os sistemas que mais incidiram problemas, conforme apresentado na Figura 14, foram: SVVIE, com 34%; o Sistema Hidrosanitário, com 33%; os Sistemas de Piso e Elétrico, com 12%. Esses percentuais indicam, portanto, a necessidade de melhoria para implantação desses sistemas. Ressalte-se que, embora o Sistema Elétrico não esteja relacionado de forma direta na ABNT NBR 15.575:2013, a Tabela C.6 da norma, expressa VUP para instalações prediais embutidas e aparentes.

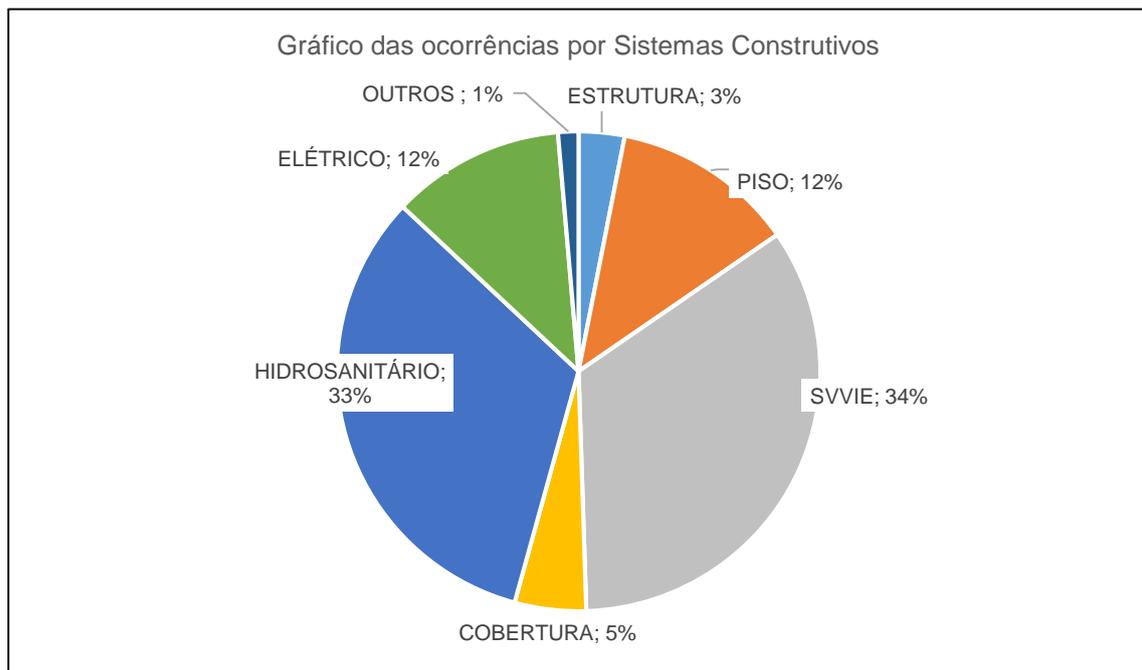


Figura 14: Gráfico da distribuição percentual dos danos por sistema construtivo. Fonte: Dados da ATPO - adaptado.

4.4.2 Determinação da Taxa de Falhas

O total de ocorrências registradas foi de 293. Para o cálculo da taxa de falhas, onde a unidade de tempo foi o agrupamento das ocorrências por mês, permitiu o tratamento estatístico em 80 unidades da amostra.

Conforme foi apresentado no capítulo 2, para medir as falhas de um sistema pode ser usado o cálculo da taxa de falhas, a qual é calculada pelo número de falhas em um determinado período de tempo (SLACK et al, 2002). Assim, foram determinadas a taxa de falhas para cada empreendimento analisado, com base no banco de dados da ATPO.

A partir do tratamento dos dados, foram identificadas as datas em que ocorreu o problema patológico registrado pelo usuário e a data da resolução da avaria. Os dados da ATPO também indicam qual o problema patológico registrado e se foram confirmados pelos técnicos da construtora. Com essa informação, foi possível relacionar o tipo falha e por quanto tempo ocorreu. Foi adotado como tempo percorrido o intervalo entre a data de entrega da obra e a data de registro da ocorrência.

A variação da taxa de falhas ficou compreendida entre 0,02 a 1,71. Essa variação indica que para $\lambda=0,02$ existiu a falha, mas sem muitas repetições do defeito, ou seja, uma baixa taxa de falhas, enquanto que para $\lambda=1,71$ mostra que o número de repetições do defeito foi alto, ou seja, uma alta taxa de falhas. Assim, uma baixa taxa de falhas representa que ocorreu o defeito poucas vezes, e o inverso indica que o sistema parou de funcionar por várias vezes impedindo um bom desempenho.

a) Empreendimento E01

A edificação E01 apresentou os primeiros registros de falha, em um dos sistemas construtivos, depois de decorridos treze meses da data de entrega da obra. O maior número de danos registrados ocorreu no primeiro ano de vida da construção. Nos anos seguintes o número de falhas foi menor. Assim, considerando a classificação das falhas, é possível adotar para E01 uma predominância de falha por mortalidade infantil, quando ocorre no início da vida útil do componente, conforme apresentado na Figura 15.

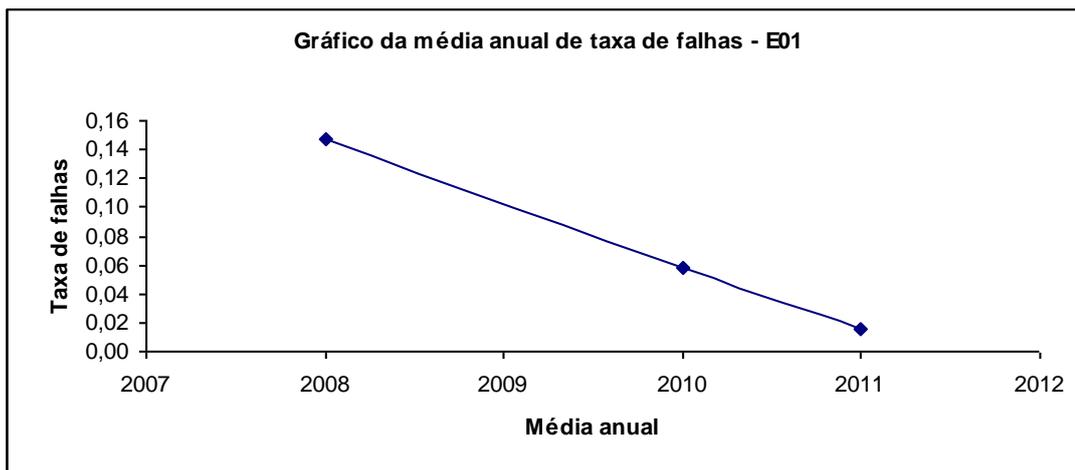


Figura 15: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E01. Fonte: a autora.

Conforme descrito anteriormente, optou-se para essa pesquisa determinar a média da taxa de falhas de cada empreendimento e representar graficamente este indicador. Verificando-se que há um elevado índice de falhas nos primeiros anos de vida das edificações e nos anos subsequentes passa a decrescer. Essa situação ocorre de forma semelhante para os oito empreendimentos estudados.

b) Empreendimento E02

Os primeiros registros de falhas para E02 ocorreram no início do segundo ano após a data de entrega da obra. O maior número de danos registrados ocorreu em 2009. Os registros posteriores foram catalogados até 5 (cinco) anos após a entrada em operação e uso dos sistemas, correspondendo ao ano de 2010.

Neste sentido, é possível considerar a classificação das falhas a partir do mecanismo de mortalidade infantil, quando as falhas iniciais ocorrem em função de peças ou componentes defeituosos, não necessariamente pela falta de manutenção ou pelo mau uso dos sistemas, mas pela possibilidade de ocorrerem defeitos no início da operação dos sistemas construtivos.

Vê-se também, que não há uma redução acentuada na taxa de falhas nos anos seguintes. As falhas ultrapassam a fase de mortalidade infantil, adotado para a pesquisa como sendo de 5 (cinco) anos, sendo observadas já no período de vida normal da construção, fase de maturidade. Nesta fase as falhas são consideradas aleatórias, conforme representado na Figura 16.

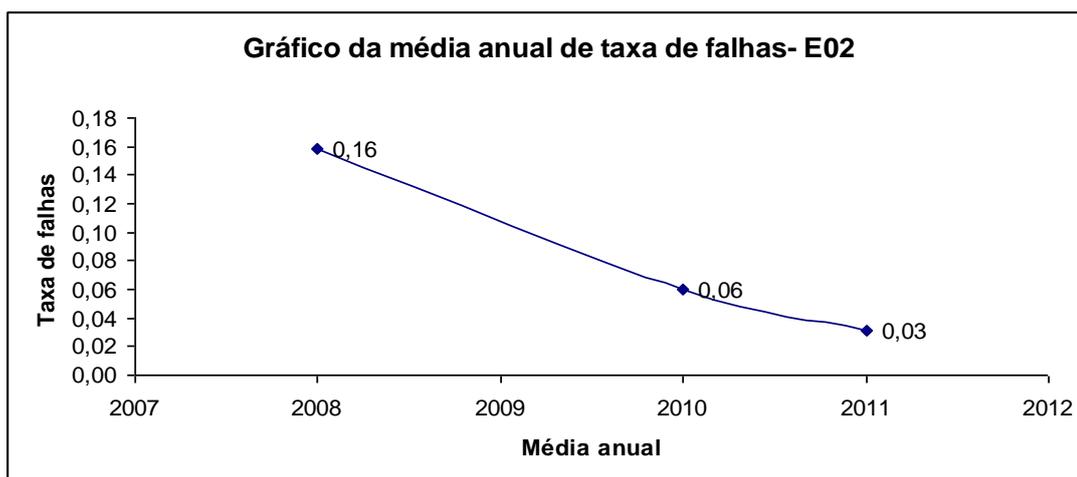


Figura 16: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E02. Fonte: a autora.

Destaca-se que as ocorrências relacionadas aos anos de 2010 e 2011 para E02, foram descritas pelos técnicos da construtora como serviços relacionados a falhas na implantação dos sistemas e/ou dos componentes, de acordo com o banco de dados da ATPO, apresentado no Quadro 3, não havendo características de avarias decorrentes da operação ou uso dos sistemas.

Quadro 3: Descrição das ocorrências registradas para E02

Data do chamado			Assistência Técnica Pós-obra (ATPO)		
Dia	Mês	Ano	Unidade (Apto)	Tipo de problema informado pelo cliente	Tipo de problema detectado pelo Avaliador (causa)
4	10	2010	702	Vazamento na Prumada do wc Suíte2.	Falha de material (junção da prumada de gordura estava trincada).
3	8	2010	2502	Infiltração na viga do WC Suíte 1 (acima da esquadria).	Falha no contramarco e rejunte de silicone externo.
16	4	2010	802	Infiltração pela parede da Suíte de frente.	Fora do prazo de garantia.
8	4	2010	2502	Infiltração na viga do WC Suíte 1 (acima da esquadria).	Falha na aplicação do silicone da esquadria do WC.
29	4	2010	2402	Infiltração na viga do WC Suíte 2 (jardineira).	Falha no bidim – descolado.
29	4	2010	Administradora do Condomínio	Vazamento do SF para o pavimento da garagem.	Falha na impermeabilização.
22	3	2010	901	Vazamento pelo pto. hidráulico da máquina de lavar.	Realizadas modificações no revestimento ocasionando furo na tubulação.
15	8	2011	701	Infiltração na fachada.	Falha na aplicação de silicone.
13	7	2011	2302	Infiltração na Suíte 2 (próx. a esquadria da jardineira).	Falha na junta de dilatação.
17	6	2011	2502	Infiltração na parede externa da Suíte 1.	
14	2	2011	Administradora do Condomínio	Fissuras na garagem, rampa e coberta.	Fissura.

Fonte: Dados da ATPO – adaptado.

c) Empreendimento E03

Essa edificação apresentou, de forma geral, uma média anual de taxa de falhas baixa. A primeira ocorrência catalogada para E03 ocorreu após o terceiro ano da entrada em operação e uso da construção. Os danos foram registrados entre 2009 e 2011.

Considerando que esse tenha sido de fato a primeira ocorrência, apesar da grande diferença em relação aos outros empreendimentos, esse aspecto contribui para reforçar que os danos observados podem ter sido causados por fatores como sobrecarga, acidentes, falta de manutenção, ou mau uso dos sistemas, dentre outras, classificando as falhas como aleatórias, ou seja, dentro do intervalo de vida normal.

Desse modo, a partir da classificação das falhas como aleatória, indicado na Figura 17, que reflete uma predominância da taxa constante, sem a representatividade de falhas no início das atividades dos sistemas construtivos. A partir do último ano de registros, 2011, a tendência é que a obra siga o curso normal para o desgaste, uma vez que essa construção foi entregue em julho de 2005.

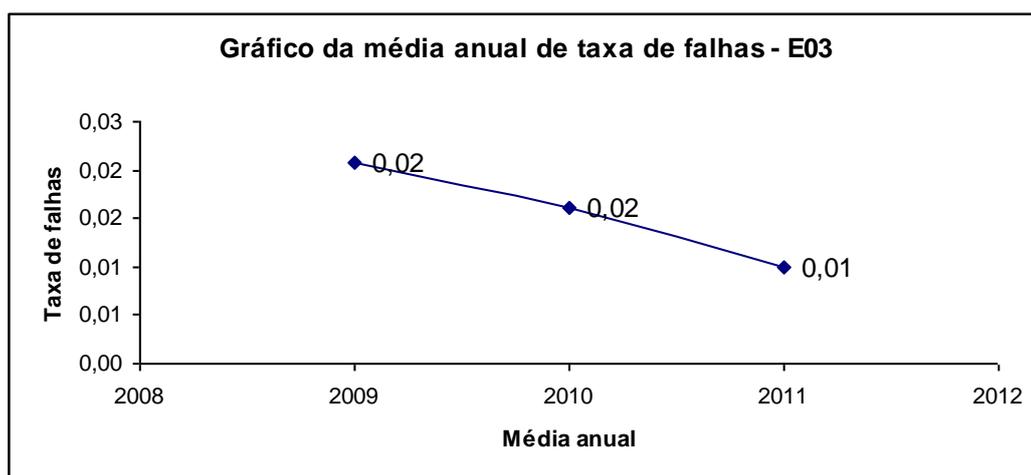


Figura 17: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E03. Fonte: a autora.

d) Empreendimento E04

A edificação E04 assemelha-se a E02, pois também foi realizado o primeiro registro de dano após o terceiro ano de entrada em operação e uso da construção. A edificação apresentou anualmente um número relativamente alto de falhas, com valores para $\lambda = 0,08$.

Com essas características é possível classificar a taxa de falhas dentro do estágio de vida normal, com ocorrências causadas por fatores aleatórios. Os danos foram registrados entre 2008 e 2011, totalizando quatro anos de controle técnico sobre a qualidade do funcionamento dos sistemas.

Considerando, portanto, a classificação das falhas adotada para E04, de acordo com a Figura 18, nota-se um alto índice no ano de 2008, mas uma redução para os anos seguintes, 2009 e 2010. A partir de 2011, a taxa de falhas volta a se elevar. Ressalte-se que, para Slack et al (2002), a curva da banheira apresenta, para uma fase posterior a vida normal, a fase de desgaste quando então as falhas passam a ser crescente.

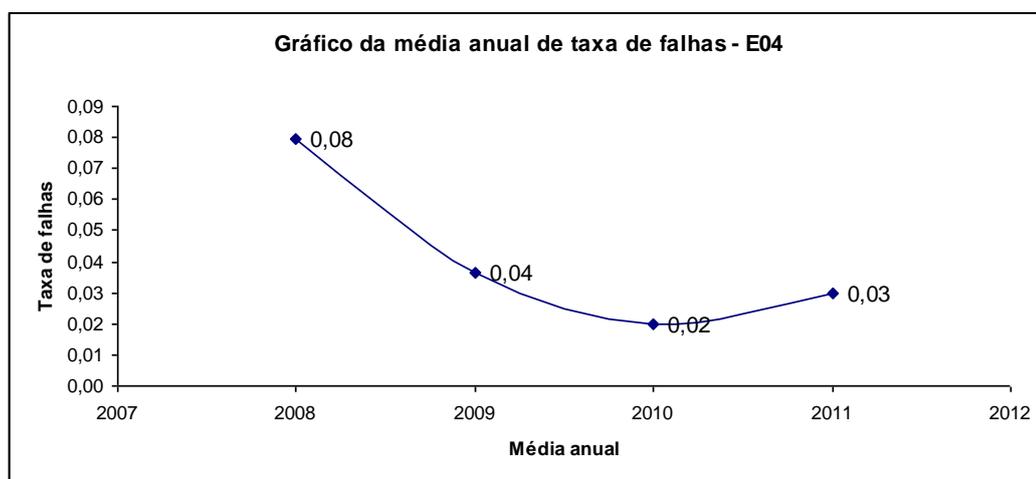


Figura 18: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E04. Fonte: a autora.

e) Empreendimento E05

As avarias iniciais dos sistemas construtivos, após a entrega definitiva de E05, permitiram classificar a taxa de falhas como mortalidade infantil. O número maior de falhas foi registrado no primeiro ano de vida da construção, 2010, tendo sido catalogado outros problemas ainda nos anos seguintes 2011, 2012 e 2013.

Verifica-se que, no período inicial do uso do empreendimento, os problemas apontados pelos usuários estavam relacionados ao mau funcionamento ou a má instalação de componentes dos sistemas construtivos, características semelhantes a E02, o que possibilita estabelecer uma relação com o tipo e a qualidade do material empregado.

Vê-se, portanto, que a determinação da taxa de falhas dos sistemas construtivos de E05, corresponde à definição conceitual apresentada por Siqueira

(2012) tal que “nos mecanismos de falhas por mortalidade infantil ocorre uma perda brusca da capacidade funcional no início da vida útil do item. ”

Em geral, falhas desta espécie são oriundas de defeitos incipientes introduzidos antes do período operacional”. A Figura 19 apresenta alto valor médio para a taxa de falhas referente ao ano inicial da construção e na sequência a redução brusca da taxa, conduzindo a uma estabilização da taxa de falhas.

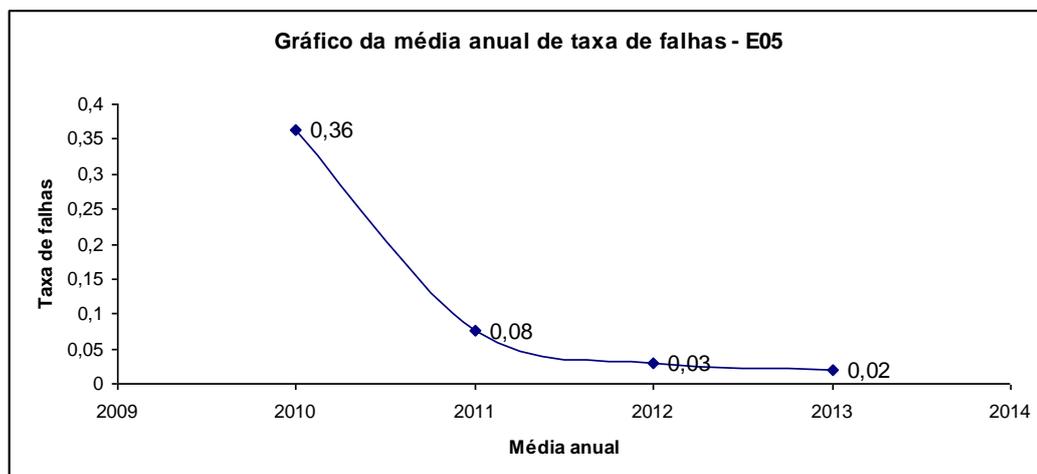


Figura 19: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E05. Fonte: a autora.

f) Empreendimento E06

A edificação E06 apresenta um alto número de registro de falhas no primeiro ano de vida da construção. Verifica-se, também que, não foram apontados novos problemas entre o segundo e o quinto ano da entrada em operação do empreendimento, catalogando-se apenas uma ocorrência no quinto ano.

A reta representada na Figura 20, comprova a redução acentuada dos problemas inicialmente constatados. Entretanto, não altera a condição comum as outras edificações, iniciar a operação com alto índice de falhas e nos anos subsequentes ocorrer uma redução.

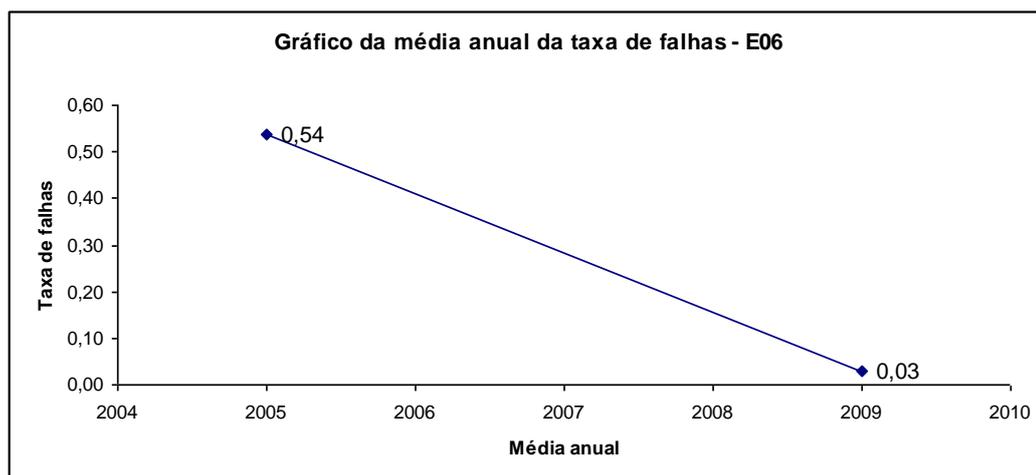


Figura 20: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E06. Fonte: a autora.

Diante deste contexto, é possível classificar a taxa de falhas para E06 como mortalidade infantil. Para Siqueira (2012), os erros que podem contribuir para um alto índice de defeitos no início da operação de um sistema estão inseridos na falta de especificações adequadas em projeto, relacionadas ao controle de qualidade, a fabricação, estocagem e transporte dos componentes, a instalação de peças defeituosas, a montagem ou a ativação dos mecanismos.

Essa edificação entrou em operação em abril de 2004, período em que as condições de qualidade da construtora passaram a ser controlada de maneira mais efetiva, com a implantação do programa de gestão da qualidade em 2003. Por conseguinte, é possível considerar ainda pouca influência da ATPO neste empreendimento, pois a falta de registros de danos nos anos entre 2006 e 2008 não foi esclarecido.

g) Empreendimento E07

Considerando que foram registradas apenas duas ocorrências para o E07, não foi possível definir a taxa de falhas do empreendimento. Entretanto, essas ocorrências foram somadas a análise global da taxa de falhas, e influenciaram no percentual de redução da amostra global.

De uma forma geral, para a edificação E07, não foram encontrados no banco de dados da ATPO, registros de danos que permitissem uma análise dos sistemas construtivos, pois as ocorrências catalogadas foram específicas para o sistema

estrutural. Entretanto, devido a robustez da construção, a influência na redução da vida útil da construção de maneira global, foi pequena.

Para E07, as reclamações dos usuários, refletiram desconforto e insegurança, o que deve ser evitado. De acordo com a ABNT-1 (2013, p. 15), no item durabilidade e manutenibilidade, o requisito manutenção do sistema estrutural indica que “para que seja alcançada a Vida Útil de Projeto (VUP) para a estrutura e seus elementos, devem ser previstas e realizadas manutenções preventivas sistemáticas e, sempre que necessário, manutenções com caráter corretivo. Estas últimas devem ser realizadas assim que o problema se manifestar, impedindo que pequenas falhas progridam às vezes rapidamente para extensas patologias.”

h) Empreendimento E08

Os problemas apontados pelos usuários do E08, passaram a ser registrados antes do término do primeiro ano da entrada em operação e uso da construção, 2012, as primeiras intervenções na edificação ocorreram nos primeiros seis meses de uso.

Além de classificar a taxa de falhas dentro do estágio de mortalidade infantil, uma vez que se constatou um número alto de registros de danos até o segundo ano, 2013, embora tenha ocorrido uma redução brusca em 2014. Figura 21 apresenta alto valor médio inicial para a taxa de falhas e na sequência uma redução brusca da taxa, conduzindo a uma estabilização dos erros.

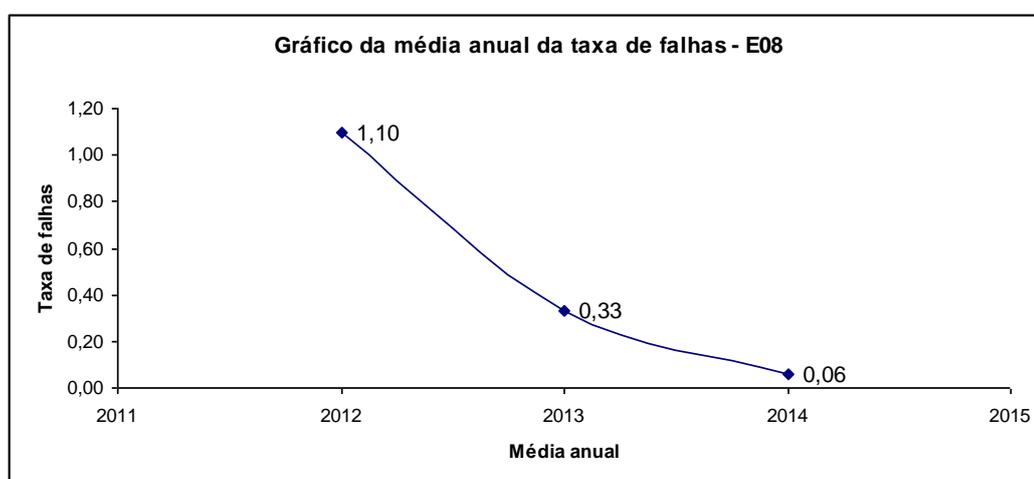


Figura 21: Gráfico da média anual da taxa de falhas para E08. Fonte: a autora.

Amostra Global - todos os Empreendimentos

Analisando os dados e informações a partir da amostra global, apresentada na Tabela 26, constata-se que a tendência da taxa de falhas se manter classificada no estágio de mortalidade infantil é representativa, tanto quanto em relação ao estudo individualizado por empreendimento. Apesar da eliminação dos valores extremos da amostra, os quais indicavam taxa de falhas muito acima da média, não há significativa alteração na frequência de ocorrência.

As representações gráficas contribuem para melhor compreensão do período de tempo em que predominam a possibilidade de surgimento de defeitos. Note-se que, mesmo considerando que todas as edificações estudadas foram construídas por uma única empresa, a qual possui processos construtivos com características específicas a incorporadora, o estudo aponta para uma necessária revisão na determinação da vida útil de projeto (VUP) dos sistemas, como também nos prazos de garantia previstos na ABNT NBR 15.575-1:2013.

Tabela 26: Valores estatísticos para a amostra global.

Intervalo de Classes (Taxa de falhas)	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	%
[0,01-0,07]	44	0,5500	55
[0,08-0,14]	12	0,1500	15
[0,15-0,21]	7	0,0875	9
[0,22-0,28]	6	0,0750	8
[0,29-0,35]	7	0,0875	9
[0,36-0,42]	3	0,0375	4
[0,43-0,49]	1	0,0125	1
Somatórios	80	1	100

Fonte: a autora.

Tendo sido determinado os seguintes valores para as medidas estatísticas:

- ✓ Número de amostras => $n = 80$
- ✓ Amplitude => $R = X_{\max} - X_{\min} = 0,44$
- ✓ Número de classes => $K = 1 + 3,3 \log(n) = 7,28$ adotado $K = 7$
- ✓ Tamanho do intervalo => $h = R / K = 0,06$
- ✓ Média amostral => $\bar{X} = \sum X_i / n = 0,11$
- ✓ Variância amostral => $V = 1 / (n-1) \sum (X_i - X_m)^2 = 0,01$

- ✓ Desvio padrão $\Rightarrow S_n = \sqrt{V^2} = 0,12$
- ✓ Mediana $\Rightarrow M_d = l_{Md} + (N/2 - \sum M_d) * h / F_{Md} = 0,07$, onde
 - l_{Md} - Limite inferior classe M_d ;
 - n - Tamanho de amostras;
 - $\sum M_d$ - Soma das freq. Anteriores;
 - h - Amplitude da classe M_d ;
 - F_{Md} - Frequência da classe M_d ;
- ✓ Moda $\Rightarrow M_o = l_m + \Delta_1 / (\Delta_1 + \Delta_2) * h = 0,05$
 - l_m - Limite inferior da classe de maior frequência;
 - h - Amplitude da classe;
 - Δ_1 - Diferença entre a frequência da classe modal e da classe imediatamente anterior;
 - Δ_2 - Diferença entre a frequência da classe modal e da classe imediatamente posterior
- ✓ Primeiro Quartil (Q_1) - passa 25% do valor da amostra
 - $Q_1 = l_{Q_1} + (N / 4 - \sum f) * (h / F_{Q_1}) = 0,04$
 - l_{Q_1} - Limite inferior da classe;
 - n - Tamanho da amostra;
 - $\sum f$ - Somatório das frequências anteriores;
 - h - amplitude da classe Q_1 ;
 - F_{Q_1} - frequência da classe Q_1
- ✓ Terceiro Quartil (Q_3) - passa 75% do valor da amostra
 - $Q_3 = l_{Q_3} + (N / 4 - \sum f) * (h / F_{Q_3}) = 0,19$
 - l_{Q_3} - Limite inferior da classe;
 - n - Tamanho da amostra;
 - $\sum f$ - Somatório das frequências anteriores;
 - h - amplitude da classe Q_1 ;
 - F_{Q_3} - frequência da classe Q_1
- ✓ Assimetria: distribuição assimétrica: Média > Mediana > Moda
- ✓ Coeficiente de Pearson
 - 1º - $As = (\bar{X} - M_o) / S_n = 0,53$
 - 2º - $As = (Q_3 + Q_1 - 2M_e) / (Q_3 - Q_1) = 0,61$
 - Para $As > 0$ tem-se uma assimetria positiva

A partir desses valores calculados, foram elaborados os gráficos representados pelas Figuras 22 e 23. O primeiro gráfico apresenta os intervalos de taxa de falhas onde estão concentrados o maior quantitativo de danos, que apesar de serem taxas com valores baixos, indicando poucas ocorrências, mas de um mesmo tipo, presente em todas as edificações, assim de alta frequência. O segundo gráfico mostra a frequência relativa da taxa de falhas apresentando que as taxa de falhas iniciais somam mais de 50% do total de ocorrências.

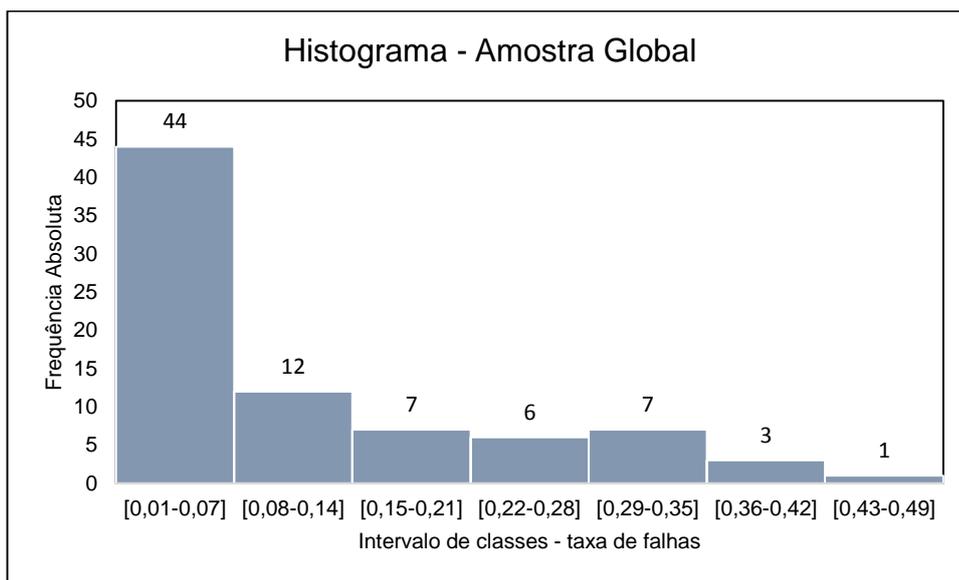


Figura 22: Histograma da frequência absoluta da amostra global. Fonte: a autora.

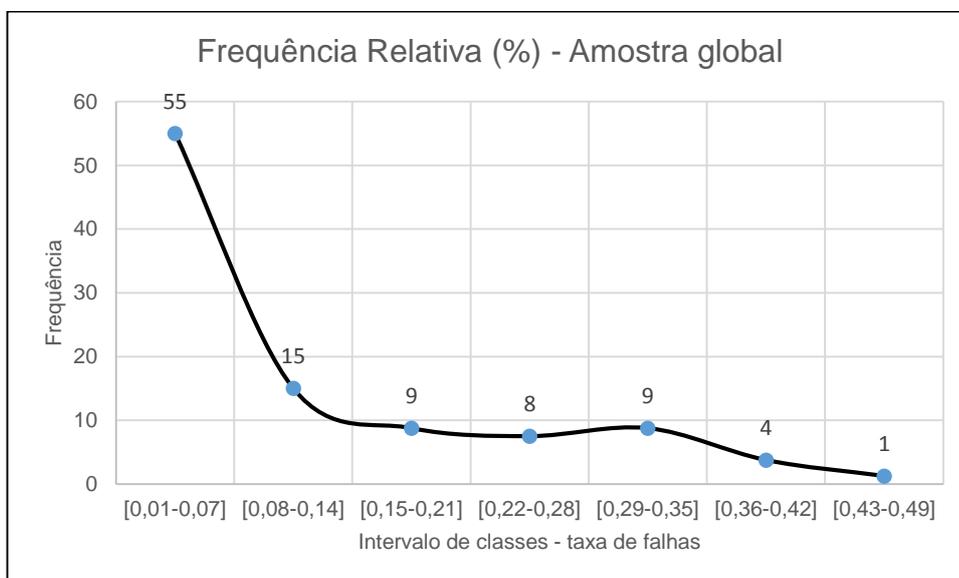


Figura 23: Gráfico da frequência relativa da amostra global. Fonte: a autora.

A fim de identificar como os danos catalogados podem afetar o grau de segurança das edificações estudadas para a pesquisa, após determinada a taxa de falhas, a partir do banco de dados da ATPO, verifica-se que, de acordo com Zarzar Jr. (2007), as falhas podem ser caracterizadas quanto às consequências.

Essas consequências podem estar relacionadas a perigo a vida, como por exemplo, em caso de colapso estrutural de uma edificação, para essa situação a falha estaria relacionada à categoria 1. O Quadro 4, apresenta a descrição das consequências e categorias das falhas, conforme Zarzar Jr. (2007).

Quadro 4: Descrição das categorias e consequências das falhas.

Categoria	Consequências	Exemplos
1	Perigo de vida	Colapso repentino da estrutura
2	Risco de acidente	Piso do degrau frouxo
3	Perigo de saúde	Penetração séria de umidade
4	Reparos onerosos	Extenso Escoramento exigido
5	Onerosos por causa da repetição	Substituição dos acessórios da janela
6	Interrupção do uso do prédio	Falha no aquecimento
7	Segurança comprometida	Fechadura da porta quebrada
8	Nenhum problema excepcional	Substituição de fixação da luminária

Fonte: Zarzar Jr. (2007) adaptado de ISO 15.686:2000.

Desse modo, destaca-se a importância em inspecionar, diagnosticar e recuperar os danos identificados nos sistemas construtivos, pois a falta de manutenção ou a não correção dos problemas constatados, está diretamente relacionado aos fatores de segurança, habitabilidade e sustentabilidade da construção. Adotando-se tais providências é possível ampliar a confiança nas obras.

A taxa de falhas contribui para análise de confiança das edificações, uma vez que o enquadramento da taxa de falha na “curva da banheira”, para a maioria dos casos se manteve entre a fase infantil e a normal, conforme apresentado na Figura 24, o que demonstra um nível de defeitos iniciais que não afetaram as condições de funcionalidade e habitabilidade dos empreendimentos por longo tempo, uma vez que as correções necessárias sejam realizadas adequadamente.

Assim, faz-se necessário que os padrões construtivos se adequem aos requisitos e critérios de desempenho definidos pela NBR 15.575:2013. Embora se verifique uma variação da taxa de falhas nos oito empreendimentos, essas não alteram a condição inicial das obras de apresentar falhas bruscas, embora decrescente, indicando a necessidade de replanejamento dos processos construtivos, principalmente na fase de execução da superestrutura e das instalações.

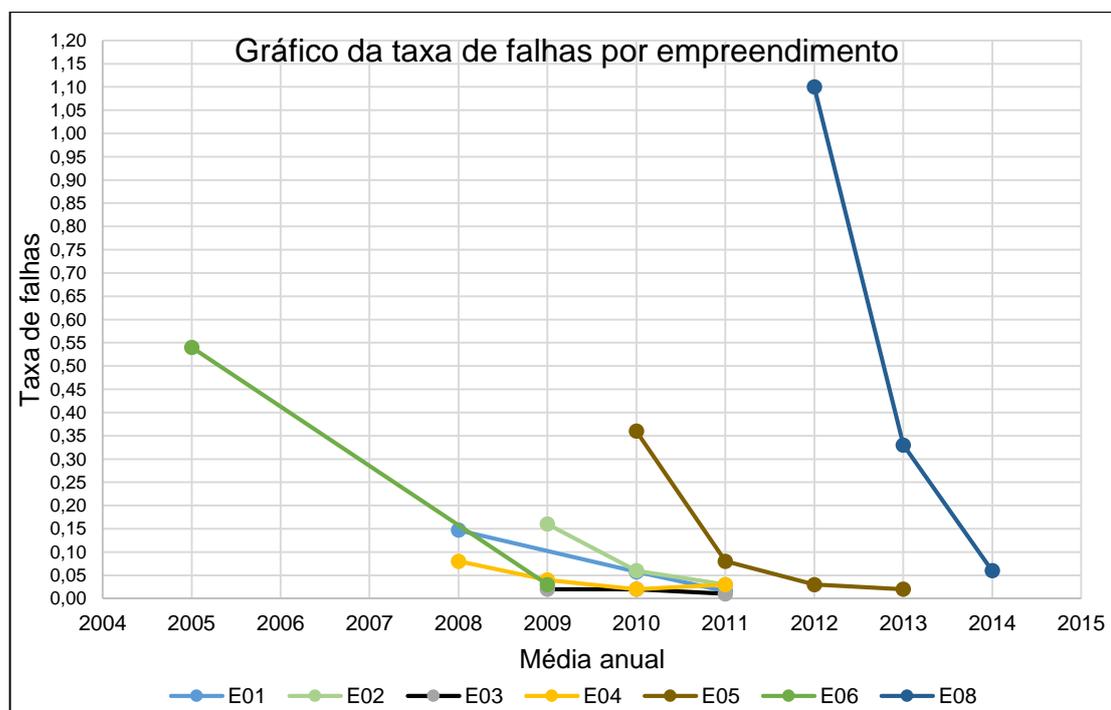


Figura 24: Gráfico das curvas de taxa de falhas (λ) por empreendimento. Fonte: a autora.

A relação entre os valores redefinidos para VUE e as taxa de falhas calculadas, demonstram a redução da VUP e da VU de cada componente dos sistemas que apresentaram avarias. Existe, portanto, a necessidade de um reposicionamento dos prazos de garantia de cada item danificado, no caso das edificações estudadas, pois, os danos registrados impossibilitaram, por um determinado período de tempo, a utilização integral do imóvel.

4.4.3 Síntese da avaliação de desempenho

Após a determinação da vida útil estimada através do método dos fatores e da determinação da taxa de falhas, foi possível constatar a frequência, o período e o

padrão das falhas registradas, que conseqüentemente influenciam reduzindo a vida útil de projeto dos sistemas construtivos empregados nas obras.

Dissociar o desempenho esperado das construções, definido pelo construtor/usuário, e os valores calculados da vida útil estimada (VUE), pode criar um intervalo imperceptível entre o efetivo desgaste das edificações e a percepção do risco que a falta de manutenção adequada pode acarretar, podendo assim causar situações de temeridade indesejadas.

Os requisitos e critérios determinados pela ABNT (2013, p. 11), para os diversos sistemas construtivos, estabelecem parâmetros para o enquadramento da edificação em determinado nível de desempenho. Para tanto, considera-se, o nível de desempenho mínimo (*M*) “em função das necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e de economia” devidamente atendidas. Entretanto, para as edificações que possuem enquadramento de desempenho de intermediário (*I*) a superior (*S*), devem ser atendidos requisitos específicos para cada sistema construtivo, inclusive especificados em projeto, conforme determina a norma.

Analisando cada empreendimento pode-se observar que:

a) Quanto ao E01:

- O sistema estrutural, apesar de registrar avarias, não sofreu danos que afetassem o desempenho mínimo;
- o sistema de piso não atendeu ao item 10.3 – Estanqueidade de sistemas de pisos de áreas molháveis da habitação;
- o sistema de SVVIE não atendeu aos itens 10.1 – Infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas (fachadas) e 14.3 – Manutenibilidade dos sistemas de vedações verticais internas e externas;
- o sistema de cobertura não atendeu ao item 7.4 – Solicitações em forros;
- o sistema hidrosanitário não atendeu ao item 10.1 – Estanqueidade das instalações dos sistemas hidrossanitários de água fria e água quente, referente ao critério 10.1.3 – Estanqueidade das instalações de esgoto e de águas pluviais.

b) Quanto ao E02:

- O sistema estrutural, apesar de registrar avarias, não sofreu danos que afetassem o desempenho mínimo;
- o sistema de piso não atendeu aos itens 9.2 Requisito – Segurança na circulação e 10.4 – Estanqueidade de sistemas de pisos de áreas molhadas;
- o sistema de SVVIE não atendeu ao item 7.2 Requisito – Deslocamentos, fissuração e ocorrência de falhas nos sistemas de vedações verticais internas e externas;
- o sistema hidrosanitário não atendeu aos itens 16.1 Requisitos – Funcionamento das instalações de água e 16.2 Requisito – Funcionamento das instalações de esgoto.

c) Quanto ao E03:

- O sistema de SVVIE não atendeu ao item 7.2 Requisito – Deslocamentos, fissuração e ocorrência de falhas nos sistemas de vedações verticais internas e externas;
- o sistema de cobertura não atendeu ao item 14.1 Requisito – Vida útil de projeto dos sistemas de cobertura;
- o sistema hidrosanitário não atendeu ao item 14.2 Requisito – Manutenibilidade das instalações hidráulicas, de esgotos e de águas pluviais.

d) Quanto ao E04:

- O sistema estrutural atendeu parcialmente ao item 7.2 Requisito – Estabilidade e resistência do sistema estrutural e demais elementos com função estrutural (Elementos com função de vedação - paredes e divisórias, não estruturais - devem ter capacidade de transmitir à estrutura seu peso próprio e os esforços externos que sobre eles diretamente venham atuar, decorrentes de sua utilização);
- o sistema piso não atendeu ao item 14.4 Requisito – Resistência ao desgaste em uso;
- o sistema de SVVIE não atendeu ao item 10.1 Requisito – Infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas (fachadas);
- o sistema de cobertura não atendeu aos itens 7.3 Requisito – Solicitações dinâmicas em sistemas de coberturas e em coberturas-terraço acessíveis

aos usuários e 10.1 Requisito – Condições de salubridade no ambiente habitável (10.1.5 Critérios - Estanqueidade para SC impermeabilizado);

- o sistema hidrosanitário não atendeu ao item 14.2 Requisito – Manutenibilidade das instalações hidráulicas, de esgotos e de águas pluviais.

e) Quanto ao E05:

- O sistema estrutural, apesar de registrar avarias, não sofreu danos que afetassem o desempenho mínimo;

- o sistema piso não atendeu ao item 7.5 Requisitos – Cargas verticais concentradas (resistir a cargas verticais concentradas previsíveis nas condições normais de serviço, sem apresentar ruína ou danos localizados nem deslocamentos excessivos);

- o sistema de SVVIE não atendeu aos itens 10.1 – Infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas (fachadas) e 14.2 Requisito – Vida útil de projeto dos sistemas de vedações verticais internas e externas (manter a capacidade funcional e as características estéticas, ambas compatíveis com o envelhecimento natural dos materiais durante a vida útil de projeto);

- o sistema de cobertura não atendeu ao item 10.1 Requisito – Condições de salubridade no ambiente habitável (10.1.5 Critérios - Estanqueidade para SC impermeabilizado);

- o sistema hidrosanitário não atendeu ao item 14.1 Requisito – Vida útil de Projeto das instalações hidrosanitária (14.1.3 Critério – Durabilidade dos sistemas, elementos, componentes e instalação).

f) Quanto ao E06:

- O sistema piso não atendeu ao item 17.2 Requisito – Homogeneidade quanto à planeza da camada de acabamento do sistema de piso;

- o sistema de SVVIE não atendeu aos itens 7.2 Requisito – Deslocamentos, fissuração e ocorrência de falhas nos sistemas de vedações verticais internas e externas e 10.1 Requisito – Infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas (fachadas);

- o sistema de cobertura não atendeu ao item 10.1 Requisito – Condições de salubridade no ambiente habitável (10.1.5 Critérios - Estanqueidade para SC impermeabilizado);
- o sistema hidrosanitário não atendeu aos itens 9.2 Requisito – Risco de explosão, queimaduras ou intoxicação por gás (9.2.2 Critério – Instalação de equipamentos a gás combustível) e 14.2 Requisito – Manutenibilidade das instalações hidráulicas, de esgotos e de águas pluviais.

g) Quanto ao E07:

- O sistema estrutural atendeu parcialmente ao item 7.3 Requisito – Deformações ou estados de fissuração do sistema estrutural (não ocasionar deslocamentos ou fissuras excessivas aos elementos de construção vinculados ao sistema estrutural, levando-se em consideração as ações permanentes e de utilização, nem impedir o livre funcionamento de elementos e componentes da edificação, tais como portas e janelas, nem repercutir no funcionamento das instalações.).

h) Quanto ao E08:

- O sistema de piso não atendeu aos itens 10.3 – Estanqueidade de sistemas de pisos de áreas molháveis da habitação e 9.2 Requisito – Segurança na circulação (9.2.2 Critério – Frestas);
- o sistema de SVVIE não atendeu aos itens 7.2 Requisito – Deslocamentos, fissuração e ocorrência de falhas nos sistemas de vedações verticais internas e externas e 10.1 Requisito – Infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas (fachadas);
- o sistema hidrosanitário não atendeu aos itens 14.1 Requisito – Vida útil de Projeto das instalações hidrosanitária (14.1.2 Critério – Projeto e execução das instalações hidrosanitária e 14.1.3 Critério – Durabilidade dos sistemas, elementos, componentes e instalação) e 10.1 Requisito – Estanqueidade das instalações dos sistemas hidrossanitários de água fria e água quente (10.1.2 Critério – Estanqueidade à água de peças de utilização).

5.0 CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS

5.1 Conclusões

A estimativa de vida útil dos materiais e componentes que constituem os sistemas construtivos passou a ser fundamental para as construções. Isso se dá, não apenas como referencial teórico sobre o tempo em que um sistema pode sobreviver e desempenhar as funções para que foi projetado de forma expressiva, mas sobretudo por ser um referencial para a indústria da construção civil.

Visando apresentar os resultados obtidos pela pesquisa realizada, serão descritas a seguir as principais conclusões:

- A partir dos resultados obtidos com a identificação da vida útil estimada (VUE) dos sistemas através da aplicação do método dos fatores, constatou-se uma redução média de 20% da VUR, significando que a previsão inicial da VUP poderá não ser cumprida.

- O estudo identificou também que as anomalias constatadas refletem a utilização de materiais e/ou componentes inadequados ou mau instalado, apresentando o sistema de vedação vertical interno e externo (SVVIE), 34%; hidrosanitário (SH), 33%; piso (SP), 12% e elétrico (SE), 12%. Esses foram os percentuais de ocorrências. Neste aspecto, cabe ressaltar a responsabilidade solidária dos fornecedores de materiais.

- No que se refere a taxa de falhas, verificou-se, matematicamente, a frequência com que ocorreram os danos e em que período. A afinidade com prazos de 5 (cinco) anos para garantia, admitida pela norma de desempenho, pode ser estabelecida. Contudo as edificações estudadas não entraram na fase normal (ocorrências aleatórias) ou de desgaste, visto que os danos catalogados estão majoritariamente nos primeiros 5 (cinco) anos da entrada em operação e uso das edificações.

- Em decorrência da determinação da taxa de falhas constatou-se também que a curva de probabilidade condicional de falha (curva da banheira) representa o comportamento típico do mecanismo de falha de cada um dos sistemas construtivos estudados. Entretanto as avarias observadas, em muitos casos, foram provenientes da má execução do serviço, não cabendo, portanto, a contagem do prazo de garantia, em especial para os casos de vícios ocultos (não aparentes).

- Considerando, portanto, que existe uma variação no nível de desempenho mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), disposto na ABNT (2013), se torna inadequada a indicação de prazos de garantia iguais para os três níveis de desempenho, uma vez que há uma variação na qualidade e durabilidade dos materiais e componentes empregados nas construções, devendo, assim o prazo de garantia estar relacionado diretamente ao nível de desempenho da construção.

- Verificou-se que, nas oito edificações analisadas, ocorreu um decréscimo de falhas após a fase inicial. No entanto, a edificação entregue em 2004 e a que foi entregue em 2012 mantiveram frequências semelhantes de taxa de falha, o que corresponde a necessidade de melhoria na fase inicial de projeto.

- Foi observada uma alta frequência de falha inicial para as diversas construções estudadas. E, embora a massa de dados disponível seja pequena, as análises efetuadas sugerem padrões de falhas.

5.2 Futuros Trabalhos

Para possíveis trabalhos futuros pode-se sugerir:

- Ampliar a pesquisa com a construção de um banco de dados robusto, a partir das ocorrências coletadas em empresas colaboradoras, referente a assistência técnica pós-obra ou equivalente, a partir da reformulação da norma de concreto armado em 2003. Isso permitiria a criação de uma tabela de degradação referente a cada material ou componente utilizado nas construções, desde que o dado coletado apresente a condição da edificação após a entrada em operação e uso;

- Uma vez que a degradação induzida e o envelhecimento natural dos materiais exigem constantes estudos dos mecanismos que os afetam esses elementos quando aplicados aos sistemas construtivos em uso. Assim, estudar a introdução da análise fatorial dos sistemas ou a aplicação de outros métodos probabilísticos para definição da vida útil de projeto ampliará o nível de informação que será disponibilizada ao usuário, como também, acrescentará elementos concretos para determinação do prazo de garantia das construções.

REFERÊNCIAS

Ambrozewicz, P. H. L. Materiais de construção. São Paulo. Editora PINI, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro. NBR 15.575-1:2013.

_____. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro. NBR 15.575-2:2013.

_____. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para sistemas de piso. Rio de Janeiro. NBR 15.575-3:2013.

_____. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais e internas e externas. Rio de Janeiro. NBR 15.575-4:2013.

_____. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro. NBR 15.575-5:2013.

_____. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrosanitários. Rio de Janeiro. NBR 15.575-6:2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro. NBR 6118:2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Manual de operação, uso e manutenção das Edificações - Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro. NBR 14.037:2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro. NBR 5674:2012.
Ballesterro-Alvarez, M. E. Gestão da qualidade, produção e operações. Editora Atlas. São Paulo, 2010.

Bauer, E., Castro, E. K. e Silva, M. N. B. Estimativa da degradação de fachadas com revestimento cerâmico: estudo de caso de edifícios de Brasília. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581786>. Acesso em 27-11-2015.

Bertolini, Luca. Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção. Tradução: Leda Maria Marques Dias Beck. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Bessa, L. R. Vícios dos produtos e as três garantias do consumidor: um cenário de desinformação. Revista do Direito do Consumidor. Vol. 100. Instituto Brasileiro de Política e Direito do Consumidor. São Paulo, 2015.

Borges, C. A., Ferraz Neto, J. R., Oliveira, A.L. Manual do Proprietário. Editoração: SINDUSCON-SP e SECOVI-SP. São Paulo, 2013.

Brasil. [Código de proteção e defesa do consumidor (1990)]. Legislação brasileira de proteção e defesa do consumidor: Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990, 7. ed. – Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2013. 260 p. Disponível em: <http://bd.camara.leg.br>

Callister, W. D. Ciência e engenharia dos materiais: introdução. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2013.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC. Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15.575:2013. Fortaleza; Gadiolo Cipolla Comunicação, 2013.

Comunicação Técnica nº 172395. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). São Paulo, 2014. Site. www.ipt.br.

Corsini, R. Gestão da Assistência Técnica. Revista Guia da Construção No. 45. Ano 66. ISSN 1984-6673. Editora PINI. São Paulo, 2013.

Cotrim, A. A. B. B. Instalações Elétricas; revisão e adaptação técnica José Aquiles Baesso Gromoni e Hilton Moreno. 5ª. Edição. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2009.

Creder, H. Instalações Elétricas. 11ª. Edição. Rio de Janeiro. Livros Técnicos Científicos – LTC, 1991.

Cruz, M. C. da. Confiabilidade de equipamentos de informática: estudo a partir de dados de manutenção. Monografia de especialização em Gerência de Produção e Tecnologia. Departamento de Economia, Contabilidade e Administração da Universidade de Taubaté. São Paulo, 2014. 64 p.

Del Mar, C. P. Falhas, responsabilidades e garantias na construção civil. São Paulo. Ed. PINI, 2007.

Ferreira, A. B. H. Mini Aurélio: o microdicionário da língua portuguesa dicionário. 7ª. Edição. Curitiba: Ed. Positivo, 2008.

Freitas, M. A. Confiabilidade: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados. Belo Horizonte: Fundação Chistiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1997. 309 p.

Gonzaga, A. L. Madeira: uso e conservação. Brasília, DF: IPHAN/MONUMENTA, 2006. 246 p.: il.; 28 cm. – (Cadernos Técnicos; 6)

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS. Disponível: ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2015/estimativa_2015_TCU.pdf população estimada. Acesso em 20-11-2015.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Empresas com Sistema da Qualidade ISO 9001 válidos com marca de credenciamento Inmetro. Disponível em:

http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pdf/Livro_Qualidade.pdf. Acesso em 28-11-2015.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. O movimento da qualidade no Brasil. Brasília, 2011 Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pdf/Livro_Qualidade.pdf. Acesso em 03-03-2015.

International Standard. Building and construction assets – service life planning. Part 1: General Principles. ISO 15.686-1:2000 (E). Disponível em <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15686:-1:ed-2:v1:en>. Acesso em 28-10-2014.

_____ Building and construction assets – service life planning. Part 1: General Principles. ISO 15.686-1:2011 (E). Disponível em <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15686:-1:ed-2:v1:en>. Acesso em 28-10-2014.

Isaia, G.C. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2ª. Ed. São Paulo, IBRACON, 2010. 2v.

Juran, J. M. A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços. Tradução de Nivaldo Montingelli Jr. São Paulo: Pioneira, 1992.

Larson, Ron e Farber, Betsy. Estatística aplicada; tradução: Luciane Ferreira Pauleti Vianna. 4ª. Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

Lordsleem Jr., A. C. Gestão da Manutenção. Aula 2. Escola Politécnica de Pernambuco. Universidade de Pernambuco. Recife, 2012. Notas de aulas 36 p.

Melo, R. M. de. Análise dos processos de implementação do sistema de gestão da qualidade baseados na Norma ISO 9001:2001 em empresas da construção civil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia de Produção. Recife, 2005. 124 folhas.

Oliveira, R. A. de. Novas prescrições normativas: concretos especiais, desempenho e inspeções de estruturas de concreto. Notas de aula. 30 p. Recife, 2014.

Possan E. Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2010. 265 p.

Revista Guia da Construção On line, nº 145. Ano 66. Agosto, 2013. Site: www.construcaomercado.com.br. Acesso em: 12/2014.

Roque, J. A., Moreno Junior, A. L. Considerações sobre vida útil do concreto. In: 1º. Encontro Nacional de Pesquisa - Projeto-Produção em Concreto Pré-moldado. Anais em meio digital. São Carlos - São Paulo, 2005

Siqueira, I. P. de. Manutenção Centrada na Confiabilidade: manual de implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012. 408 p.

Slack, N., Chambers, S. e Johnston, R. Administração da produção. Tradução Oliveira, M. T. C e Alher, F. 2ª Ed. São Paulo. Atlas, 2002.

Wuttke, R.A. e Sellitto, M. A. Cálculo da disponibilidade e da posição da curva da banheira de uma válvula de Processo Petroquímico. In:Revista Produção *On line*. Vol. VIII. Num VI. Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2008. 23 p.

Zarzar Júnior, F. C. Metodologia para estimar a vida útil de elementos construtivos baseada no método dos fatores. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica, 2007. 173 p.