



## DESEMPENHO ACÚSTICO: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS E ENSAIOS DE CAMPO PARA ISOLAMENTO DO RUÍDO AÉREO

**Michel Camilo (1); Fábila Andrade (2); Otávio Joaquim (3); Pedro Góis (4)**

(1) Graduado, Arquiteto e Urbanista, michel@tecomatl.com.br, Tecomat Engenharia, Rua Ilídio Sampaio, 90, Distrito Lima Campos, Icó/CE, 63043-000, (81\_99429-9712

(2) Doutora, Engenheira Civil, fkg@pol.br, Universidade de Pernambuco

(3) Doutor, Engenheiro Civil, otavio@tecomat.com.br, Universidade Federal de Pernambuco

(4) Mestre, Engenheiro Civil, pedro@tecomat.com.br, Universidade Católica de Pernambuco

### RESUMO

No Brasil, a norma de desempenho, NBR 15575 (ABNT, 2021), é utilizada como referência para a avaliação do isolamento acústico das vedações verticais internas, a qual apresenta critérios de perda de transmissão sonora (DnTw) em função do ambiente utilizado. Sendo assim, é essencial que na fase de elaboração de projeto sejam utilizadas ferramentas que permitam a estimativa do DnTw. Este trabalho tem por objetivo realizar uma análise comparativa entre os ensaios de campo e as simulações de isolamento acústico de 28 vedações verticais internas. As simulações foram realizadas utilizando o software SONarchitect ISO para a predição do isolamento acústico de vedações internas, executadas em paredes maciças de concreto, em 10 edifícios diferentes, sendo eles nos estados de Pernambuco, Paraíba e Bahia. Buscou-se avaliar ambientes com volumetrias não muito diferentes, para ter-se uma avaliação mais representativa. A análise comparativa mostra uma variação de, no máximo, 2 dB entre os resultados obtidos nas simulações e ensaios de campo. A análise quanto ao desempenho, mostra que as simulações tiveram 97% de acerto, se comparado com os resultados de campo. Portanto, conclui-se que a modelagem computacional é uma ferramenta confiável para avaliar-se o isolamento acústico de vedações verticais construídas em parede maciça de concreto, desde que sejam modeladas corretamente, e que sejam considerados seus desvios.

Palavras-chave: parede maciça de concreto, ensaio de campo, simulação computacional.

### ABSTRACT

In Brazil, the performance standard, NBR 15575 (ABNT, 2021), is used as reference for evaluating the sound insulation of internal vertical seals, which has loss of sound transmission criteria (DnTw) in function of the environment used. Therefore, it is essential that in the project elaboration phase, tools are used to take advantage of the estimation of the DnTw. This work aims to carry out a comparative analysis between the field tests and sound insulation simulations of 28 fences internal verticals. For the simulations the SONarchitect ISO software was used to the prediction of sound insulation for the internal seals, performed by massive concrete walls, in 10 different buildings in the states of Pernambuco, Paraíba and Bahia. We sought to evaluate environments with volumetry not very different, to have more representative evaluation. AN comparative analysis shows a variation of at most 2 dB between the results obtained in simulations and field tests. An analysis regarding the performance, shows that the simulations were 97% correct if compared with the field results. Therefore, it is concluded that a modeling computational is a reliable tool for evaluating constructed seals by solid concrete wall, provided they are correctly modeled, and that their deviations are considered.

Keywords: massive concrete wall, field tests, computational simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira vem a cada dia buscando oferecer conforto acústico aos usuários de edificações residenciais, sendo na maioria das vezes um diferencial para a valorização do empreendimento. No entanto, na maioria das vezes os ambientes não são projetados para atender os critérios mínimos de desempenho acústico (SILVA; WOERFFEL, 2016).

A pandemia da COVID 19 trouxe mudanças significativas na vida humana e para a sociedade em geral, segundo Di Negri et al (2020), entre elas: o trabalho em *home office*. A OMS (2020), reconheceu a necessidade em se modificar o modo de vida. Sendo assim, é imprescindível ter o isolamento acústico adequado, que segundo a definição de Carvalho (2010), consiste em reduzir os ruídos, dependendo dos ambientes e atividades que serão desenvolvidas no seu interior.

A indústria da construção civil tem buscado melhorar seus parâmetros de qualidade no conforto acústico das edificações. Portanto, em julho de 2013 entrou em vigor a NBR 15575, sendo revisada em 2021 (ABNT, 2021), Norma Brasileira de Desempenho de Edificações Habitacionais, que fornece uma base para o desempenho acústico das edificações.

A Norma de Desempenho, NBR 15575 (ABNT, 2021), quando se concerne a questão da saúde e do conforto, avalia o isolamento acústico das edificações residenciais, no que tange as vedações verticais, e também apresenta critérios de perda de transmissão sonora (DnTw), que consiste na redução da energia sonora transmitida entre dois ambientes. Essa Norma trata dos critérios de desempenho acústico para edificações residências, a fim de que os usuários tenham o conforto acústico mínimo.

O cumprimento da norma de desempenho tem se tornado uma tarefa árdua. Embora várias construtoras tenham essa iniciativa, faz-se necessário uma mudança de postura, a qual envolve a forma de projetar e construir, inclusive em relação ao conforto acústico ambiental (SILVA, WOELLEL, 2016).

Vindo ao encontro disso, o incentivo no desenvolvimento tecnológico para a avaliação da eficiência técnica e econômica vem ganhando mais espaço. Para Silva (2014), apenas 20,88% dos profissionais que desenvolvem projetos acústicos fazem uso de algum *software* de simulação computacional. Isso possibilita fazer mudanças ainda em fase de projeto, e consequentemente a redução de custo, o que não seria possível apenas em uma avaliação de campo.

## 2. OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise comparativa dos resultados de isolamento acústico de 28 vedações verticais internas, constituídas por parede maciça de concreto armado com 100 mm de espessura, que foram obtidos por simulações computacionais e ensaios de campo em 10 edifícios verticais habitacionais, já executados ou em fase final, a fim de identificar a diferença entre os resultados de isolamento acústico.

## 3. MÉTODO

O processo de construção desse artigo foi distribuído em quatro etapas:

1. Escolha e caracterização das obras e dos sistemas construtivos;
2. Coleta de dados (Ensaio de Campo);
3. Modelagem computacional;
4. Compilação e análise dos dados.

### 3.1. Escolha e caracterização das obras e dos sistemas construtivos

Foram analisadas 10 obras, num total de 28 vedações verticais internas. Todas as obras possuem o mesmo sistema construtivo, Parede Maciça de Concreto moldada *in loco* (PMC) de 100 mm com densidade de 25 KN/m<sup>3</sup>. Nesse processo, foi feita uma parceria com uma empresa para a obtenção das informações necessárias, como o acesso aos resultados de ensaios de campo, que já foram previamente realizadas pela empresa.

As obras estão localizadas nos estados de Pernambuco, Bahia e Paraíba, mais precisamente nas Regiões Metropolitanas. A Tabela 1, mostra o Estado que está localizado cada obra, o número da obra (de 01 a 10), e a construtora responsável (A à E).

Tabela 1 – Caracterização das obras.

LOCAL	OBRA	CONSTRUTORA
Recife/PE	01	A
Jaboatão dos Guararapes/PE	02	A
Paulista/PE	03	A
Salvador/BA	04	A
Salvador/BA	05	A
Paulista/PE	06	B
Jaboatão dos Guararapes/PE	07	B
Paulista/PE	08	C
João Pessoa/PB	09	D
Recife/PE	10	E

A Tabela 2 apresenta o tipo de vedação vertical e o piso de cada obra escolhida para o estudo. Este detalhamento é relevante, pois para a modelagem do sistema no SONArchitect esses são os dados de entrada.

Tabela 2 – Caracterização das vedações verticais.

Obra	Local	Ano do Ensaio	Sistema de Vedação	Espessura	Acabamentos	Número de Ensaios
01	PE	2019	PMC	100 mm	Massa Corrida	2
02	PE	2019	PMC	100 mm	Massa Corrida	3
03	PE	2019	PMC	100 mm	Massa Corrida	3
04	BA	2019	PMC	100 mm	Selador + Textura	2
05	BA	2020	PMC	100 mm	Textura + Pintura	4
06	PE	2020	PMC	100 mm	Textura + Pintura	3
07	PE	2020	PMC	100 mm	Textura + Pintura	4
08	PE	2020	PMC	100 mm	Textura + Pintura	2
09	PB	2020	PMC	100 mm	Textura + Pintura	3
10	PE	2020	PMC	100 mm	Textura + Pintura	3

A Figura 1 representa o sistema de parede maciça de concreto de 100 mm, utilizada nesse estudo.

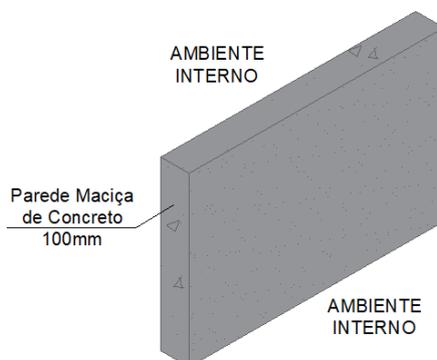


Figura 1 – Parede maciça de concreto de 100 mm.

### 3.2. Coleta de Dados (Ensaio de Campo)

Os ensaios de campo foram realizados em obras que estão localizadas nas regiões metropolitanas do Recife,

Salvador e João Pessoa, sendo de construtoras distintas. Nesse levantamento, foram coletados também o número de ensaios realizados. Vale ressaltar que os resultados foram coletados de um banco de dados de uma empresa parceira.

Os ensaios foram realizados conforme os procedimentos descritos na norma ISO 16283-1 (ABNT,2014). A Tabela 3 mostra as informações com o número da obra, número da vedação e os resultados encontrados em campo.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de campo.

Obra	Número da Vedação	Ensaio - DnTw(dB)
01	01	44
	02	50
02	03	44
	04	53
	05	53
03	06	44
	07	53
	08	53
04	09	45
	10	42
05	11	41
	12	41
	13	43
	14	44
06	15	42
	16	46
	17	50
07	18	41
	19	42
	20	48
	21	45
08	22	42
	23	44
09	24	45
	25	44
	26	42
10	27	44
	28	43

### 3.3. Simulação Computacional

Essa etapa consiste na modelagem computacional, que tem por objetivo obter os resultados de isolamento das vedações verticais internas, na fase de projeto. Nesse trabalho, foram usados três *softwares*: AutoCAD (2021), INSUL (version 9.0) e SONarchitect (version v2.2). O AutoCAD é utilizado na primeira fase da modelagem, servindo como ferramenta de desenho. O INSUL é utilizado para caracterizar a isolação sonora das vedações, no qual foi simulada a parede maciça de concreto, com  $R_w$  de 45dB e densidade que varia de 22-25 KN/m<sup>3</sup>. Tais parâmetros foram obtidos pelo banco de dados do INSUL e através de referências bibliográficas como o Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais (CBIC, 2013). O SONarchitect, que é o principal software para o cálculo e obtenção do isolamento (DnTw), cujos cálculos são baseados na Norma ISO 12354 (ISO, 2017). O que possibilita fazer a modelagem do objeto a ser analisado.

O processo de modelagem computacional é dividido em quatro etapas:

1. A primeira etapa é a preparação do desenho no AutoCAD, sendo realizado uma breve análise do projeto em DWG. Em seguida o desenho é deixado apenas com as informações necessário para a modelagem;
2. Na segunda etapa é feita a modelagem no SONarchitect, onde são inseridas as informações iniciais

do projeto, tais como: nome do empreendimento e requisitos de desempenho, bem como inicia-se uma planta baixa, e por conseguinte, inserindo as informações de pé esquerdo e os materiais que compõe a edificação;

3. Na terceira etapa são definidos os materiais do empreendimento, conforme especificado na ficha técnica do projeto, sendo eles: vedações externas, vedações internas e sistema de piso.

4. Feita a modelagem e inseridos os dados de entrada, o SONarchitect calcula e fornece os resultados de isolamento de cada vedação que se deseja analisar, que neste caso é o valor global de isolamento entre ambiente (DnTw).

Após a conclusão dessas etapas, o modelo pode ser calculado através do software, simulando os valores de isolamento obtidos por vedação. Como pode ser observado nas Figura 2, O verde representa o atendimento ao nível mínimo de desempenho e o vermelho o não atendimento.

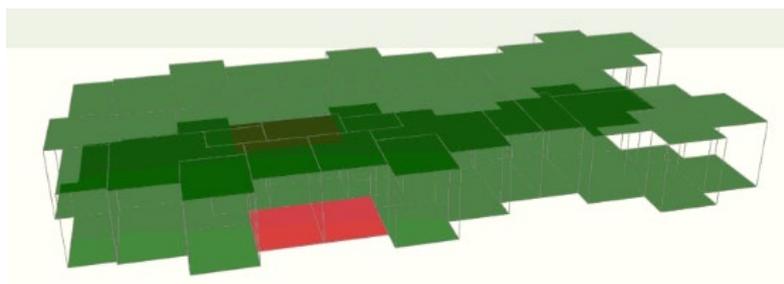


Figura 2 – Fluxo da modelagem computacional.

Os resultados de isolamento acústico (DnTw) das vedações, obtidos por simulação computacional, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Simulação computacional.

Obra	Número da Vedação	Simulação – DnTw (dB)
01	01	43
	02	51
02	03	43
	04	51
	05	51
03	06	43
	07	51
	08	51
04	09	43
	10	43
05	11	43
	12	43
	13	43
	14	45
06	15	43
	16	44
	17	50
07	18	43
	19	43
	20	48
	21	47
08	22	42
	23	44
09	24	46
	25	44
	26	43
10	27	42
	28	42

### 3.4. Compilação dos dados

A análise dos resultados foi feita através de uma tabela resumo, na qual são apresentados os resultados obtidos na simulação computacional e nos ensaios de campo, bem como a diferença entre eles. Depois foram elaborados alguns gráficos representando os mesmos resultados, possibilitando uma análise crítica visual. Também foi feito uma análise comparativa dos resultados de isolamento quanto ao desempenho, o qual tem critérios estabelecidos para norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2021)..

Por último, não menos importante, foi analisado a influência da geometria arquitetônica nos resultados de isolamento.

## 4. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos na pesquisa, bem como a análise de algumas situações a partir desses dados.

### 4.1. Análise comparativa

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos em todas as simulações e ensaios de campo, e a diferença entre os resultados obtidos nos dois métodos (simulação e ensaio de campo).

Tabela 5 – Resumo dos resultados

Obra	Número da Vedação	Simulação DnTw (dB)	Ensaio DnTw (dB)	Diferença entre os Resultado
01	01	43	44	1
	02	51	50	1
02	03	43	44	1
	04	51	53	2
	05	51	53	2
03	06	43	44	1
	07	51	53	2
	08	51	53	2
04	09	43	45	2
	10	43	42	1
05	11	43	41	2
	12	43	41	2
	13	43	43	0
	14	45	44	1
06	15	43	42	1
	16	44	46	2
	17	50	50	0
07	18	43	41	2
	19	43	42	1
	20	48	48	0
	21	47	45	2
08	22	42	42	2
	23	44	44	0
09	24	46	45	2
	25	44	44	0
	26	43	42	1
10	27	42	44	2
	28	42	43	1

A média geral dos resultados obtidos nas simulações e nos ensaios foram, respectivamente, 45,13 dB e 45,29 dB. Também foi calculado o desvio padrão das diferenças entre os resultados de simulação e ensaio de campo, sendo de 0,76 dB .

Portanto, com essa média geral das simulações é possível afirmar que o sistema de parede maciça de concreto com 100 mm de espessura, não apresenta grandes preocupações para atendimento ao critério de 40 dB, da norma de desempenho (sala/sala e cozinha/cozinha). Entretanto, fica no limite para o critério de 45 dB, situações que envolvem ambientes de dormitório.

A Figura 3, ilustra um gráfico de colunas, mostrando como a discrepância entre os resultados é pequena. A cor verde representa os resultados obtidos nas simulações e a cor azul os resultados dos ensaios realizados em campo.

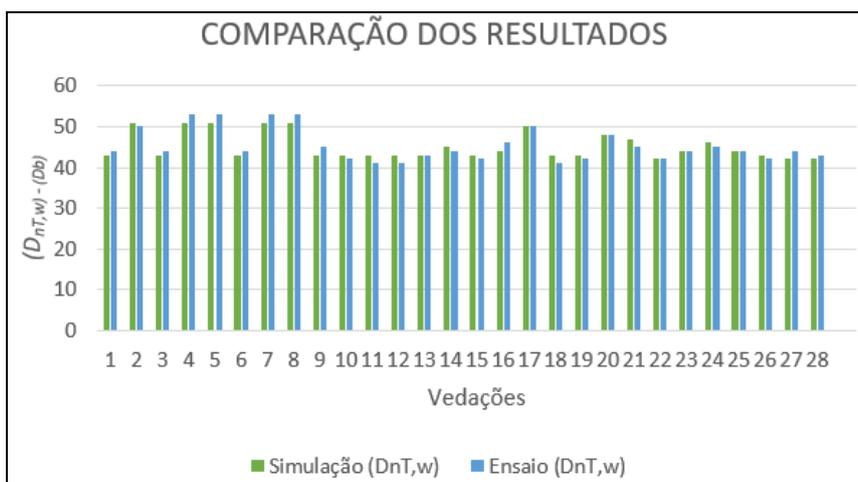


Figura 3 – Gráfico comparativo entre os resultados de simulação e campo.

#### 4.2. Análise quanto ao desempenho

Analisando a precisão dos resultados obtidos em campo e na simulação através da Figura 4, verifica-se que a simulação computacional é uma excelente ferramenta na predição do isolamento acústico. Os resultados não sofreram muita variação com os resultados de campo e, além disso, atenderam aos critérios mínimos exigidos na norma de desempenho.

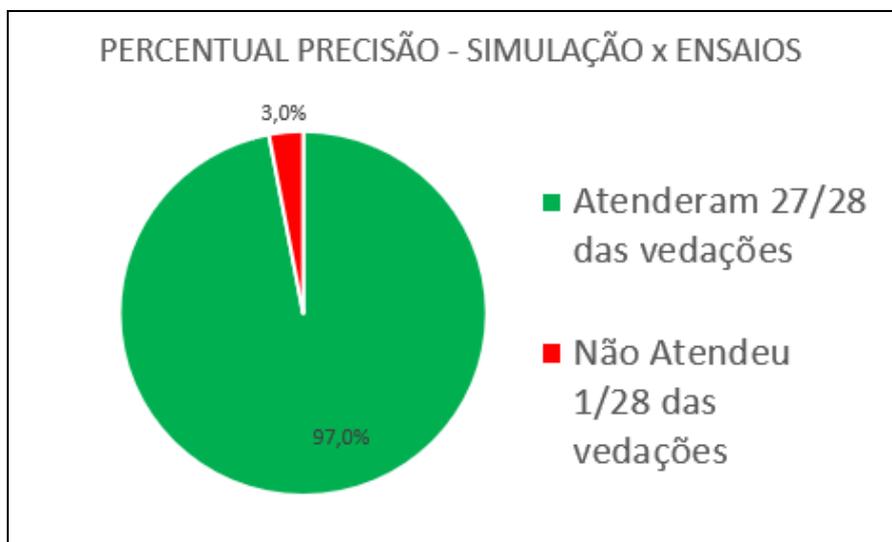


Figura 4 – percentual de precisão dos resultados (simulação x ensaio).

#### 4.3. Análise quanto a geometria arquitetônica

A Tabela 6 mostra a relação dos resultados de isolamento com a geometria dos ambientes analisados (volume e perímetro).

Tabela 6 – Análise comparativa quanto ao desempenho e volumetria dos ambientes

Número da Vedação	Volume do ambiente de emissão (m <sup>3</sup> )	Volume do ambiente de recepção (m <sup>3</sup> )	Simulação – DnTw (dB)	Ensaio – DnTw (dB)
01	36,37	36,37	43	44
02	24,19	24,19	51	50
03	35,46	35,46	43	44
04	22,46	22,46	51	53
05	18,41	18,41	51	53
06	36,37	36,37	43	44
07	19,66	19,66	51	53
08	24,19	24,19	51	53
09	36,37	36,37	43	45
10	36,37	36,37	43	42
11	36,37	36,37	43	41
12	36,37	36,37	43	41
13	16,02	16,02	43	43
14	18,24	18,24	45	44
15	30,94	30,94	43	42
16	30,94	30,94	44	46
17	48,28	48,28	50	50
18	33,80	33,80	43	41
19	33,80	33,80	43	42
20	20,60	20,60	48	48
21	20,60	20,60	47	45
22	30,94	30,94	42	42
23	30,94	30,94	44	44
24	37,46	37,46	46	45
25	18,26	18,26	44	44
26	23,52	23,52	43	42
27	21,28	21,28	42	44
28	21,28	21,28	42	43

A ISO 12354 (ISO, 2017) aponta que: quanto mais semelhantes forem as formas geométricas dos ambientes, maior será a precisão dos resultados. Desta forma, como as obras escolhidas neste estudo possuem uma forma geométrica simples, bem como o tamanho dos ambientes (salas, cozinha e dormitórios), os resultados têm uma precisão de 97%. Observa-se ainda que o volume do ambiente de emissão é o mesmo do ambiente de recepção, situação que ocorre pelo padrão das obras construídas em paredes maciças de concreto.

## 5. CONCLUSÕES

Portanto, com base em todos os processos desenvolvidos neste trabalho, pode-se mostrar a excelente relação entre as simulações computacionais e os ensaios de campo, na predição do isolamento acústico e atendimento ao desempenho mínimo.

Quanto aos resultados analisados, das 28 vedações estudadas, todas ficaram dentro da margem de  $\pm 2$  dB, mostrando que essa pode ser uma dispersão possível de ser utilizada por projetistas.

A precisão entre os resultados, quanto ao atendimento ao desempenho acústico, foi de 97%. Desta forma, é possível afirmar que a simulação computacional é uma ferramenta confiável para fazer análise de projetos desenvolvidos com vedações em parede maciça de concreto, bem como por formas geométricas simples.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, F. K. G. D. **Análise Do Desempenho Acústico Das Vedações Verticais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de Pernambuco. Escola Politécnica de Pernambuco. Recife, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013. Coletânea.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 12999-1:2014** – Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics -Part 1: Sound insulation.
- CBIC. Brasil adota novos padrões de qualidade para construção de casas e apartamentos, 2013. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/sala-de-imprensa/noticias/brasil-adota-novos-padroes-de-qualidade-para-construção-de-casas-e-apartamentos> Acesso em: 20 set. 2014.
- DE NEGRI, Fernanda; ZUCOLOTO, Graziela; MIRANDA, Pedro; KOELLER, Priscila. **Ciência e Tecnologia frente à pandemia: Como a pesquisa científica e a inovação estão ajudando a combater o novo coronavírus no Brasil e no mundo**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/182-corona>. Acesso em 16 nov. 2020.
- MATEUS, D. **Acústica das edificações e controle de ruído**. 2008. Disponível em: Acesso em agosto/2019
- OTAVIO JOAQUIM, D. SILVA J. **Avaliação de desempenho acústico de edificações segundo a NBR 15575 na região metropolitana do Recife – Edifícios Residenciais**. Dissertação de mestrado, Recife, 2014.
- SILVA, R. M. C. D. **Avaliação Acústica de Edifícios Habitacionais** - Análise dos Coeficientes de Ponderação Associados aos Índices de Desempenho Acústico de Habitações. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, p. 109. 2014.
- SILVA, D. C. D. O. D.; WOELFFEL, B. Desempenho acústico para edificações habitacionais a partir de critérios adotados pela ABNT NBR 15575/2013. **Revista Científica Faesa**, Vitória, 2016. 31-37.