

**DETECÇÃO DE PATOLOGIA EM REVESTIMENTO CERÂMICO
VISANDO UMA NOVA ALTERNATIVA DE ENSAIO NÃO DESTRUTIVO**

DIOGO FLORENCIO PESSANHA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

ABRIL - 2018

DETECÇÃO DE PATOLOGIA EM REVESTIMENTO CERÂMICO
VISANDO UMA NOVA ALTERNATIVA DE ENSAIO NÃO DESTRUTIVO

DIOGO FLORENCIO PESSANHA

Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e Tecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para a obtenção
de título de Mestre em Engenharia Civil.

Coorientador: José Augusto Pedro Lima

Orientador: Jonas Alexandre

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

ABRIL - 2018

DETECÇÃO DE PATOLOGIA EM REVESTIMENTO CERÂMICO
VISANDO UMA NOVA ALTERNATIVA DE ENSAIO NÃO DESTRUTIVO

DIOGO FLORENCIO PESSANHA

Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e Tecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para a obtenção
de título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovado em 12 de Abril de 2018.

Comissão Examinadora:

Prof. Leonardo Gonçalves Pedroti (D.Sc), UFV

Prof. Gustavo de Castro Xavier (D.Sc), UENF

Prof. José Augusto Pedro Lima (D.Sc), UENF
(Coorientador)

Prof. Jonas Alexandre (D.Sc.), UENF
(Orientador)

A meus queridos pais,

Waldir e Vanilda.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Marcelle, por ser tão importante na minha vida. Sempre ao meu lado, pondo-me para cima e me fazendo acreditar que posso mais do que imagino. Devido a seu companheirismo, amizade, paciência, compreensão, apoio, alegria e amor, este trabalho pôde ser concretizado.

Aos meus pais, Waldir e Vanilda, meu infinito agradecimento. Sempre acreditaram em minha capacidade e me deram força para crescer. Isso só me fortaleceu e me fez encarar as dificuldades apenas como um processo de crescimento e amadurecimento. Obrigado pelo amor incondicional!

Ao meu orientador, Professor Dr. Jonas, por aceitar-me como orientando e pelo seu apoio e amizade. Ao meu coorientador Professor Dr. José Augusto, por ter me conduzido nos ensaios. Nunca me esquecerei dos finais de semana que dedicou em me ajudar.

Finalmente, gostaria de agradecer à UENF e ao LECIV por abrirem as portas para que eu pudesse concretizar este projeto, minha DISSERTAÇÃO DE MESTRADO.

Sumário

RESUMO.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	3
1.2 Objetivo geral	3
1.3. Objetivos específicos	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Energia e sua conservação	4
2.1.1. Quantidade de movimento, impulso e colisões	5
2.1.2. Colisão de uma partícula contra uma superfície em posição horizontal.....	7
2.2 Ondas sonoras	11
2.2.1 Timbre.....	12
2.3 Revestimentos cerâmicos	12
2.3.1 Camadas de sistema do piso.....	12
2.3.2 Definição de placa cerâmica	13
2.3.3 Aderência dos pisos cerâmicos	15
2.4 Critérios de conformidades dos revestimentos cerâmicos	15
2.5 Patologias de revestimentos cerâmicos	15
2.5.1 Destacamentos de placas	16
2.5.2 Trincas, gretamentos e fissuras	17
2.5.3 Eflorescência	17
2.5.4 Deterioração das juntas	18
2.6 Ensaio de materiais	18
2.6.1 Ensaio não destrutivos	19
2.6.1.1 Emissão acústica.....	19
2.6.2 Ensaio destrutivos.....	20
2.7 Piezoeletricidade.....	20
2.8 Microfone	22
3 . METODOLOGIA	24
3.1 Reprodução da patologia	24
3.2 Determinação do coeficiente de restituição	27

3.2.1 Assentamento de piso sem patologia.....	29
3.2.2 Assentamento do piso com patologia	30
3.2.3 Parâmetros para cálculo de energia de impacto.....	30
3.2.4 Obtenção do coeficiente de restituição	34
3.3 Captura do som.....	36
3.4 Construção, funcionamento e fundamentação teórica do protótipo	36
4. APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
4.1 Comparativo dos métodos: coeficiente de restituição	41
4.2 Comparativo dos métodos: análise do som	42
4.3 Análise do protótipo nos primeiros instantes	52
5 Conclusões	55
5.1. Conclusão geral	55
5.2. Sugestão para estudos futuros	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXO A	63
APÊNDICE I.....	69
APÊNDICE II.....	82
APÊNDICE III.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Representação da queda de uma esfera sobre uma base horizontal.....	8
Figura 2- Subdivisão das faixas de frequência graves, médios e agudos.....	11
Figura 3 - Exemplo genérico de um sistema de piso e seus elementos.....	12
Figura 4 - a) Efeito piezométrico direto, b) Efeito piezométrico inverso.....	21
Figura 5 - Representação das cargas elétricas aprisionadas nos polímeros celulares após carregamento elétrico e deformação das cavidades pela aplicação de uma pressão externa - nesse caso, o som.....	22
Figura 6 - Diagrama de um microfone dinâmico.....	23
Figura 7 - Aparência da argamassa vencida. Traço feito com três horas.	25
Figura 8 – Preenchimento do tarso reproduzido para teste.	25
Figura 9 - Aparência em campo da patologia estudada.	26
Figura 10- Aparência a) dos cordões do substrato e b) da placa assentadas com patologia.....	26
Figura 11 - Construção da forma padronizada para o contrapiso.	28
Figura 12 - Formas de madeira de mesmo padrão sobre placas de concreto à espera da argamassa.....	28
Figura 13 - Sarrafeamento do contrapiso utilizando a forma como talisca.	28
Figura 14 - Medição da constante elástica: a) amortecedor elástico do protótipo; b) elástico comum ou elástico de látex nº18.	32
Figura 15 - Curva da constante elástica do elástico comum.	32
Figura 16 - Representação dos materiais em análise: a) esfera metálica b) cabo de madeira, c) b barra de aço, d) barra roscada e e) protótipo.	34
Figura 17 - Esquema mostrando o arranjo experimental.	35
Figura 18 - Arranjo da localização do microfones dinâmico e captador piezoelétrico em relação ao bloco.	36
Figura 19 - Detalhes do protótipo: a) estrutura, b) medidas da parte superior e c) medidas da parte inferior.....	37
Figura 20 - (a) Movimento de suspensão da barra e (b) Movimento de liberação da barra.....	38
Figura 21 – (a) Protótipo apoiado em uma superfície, (b) modelo em deformação e (c) modelo em repouso.	39
Figura 22– Amplitude do impacto utilizando o método da esfera na (a) P3s e (b) P3c.	43
Figura 23- Densidade espectral do impacto utilizando o método da esfera em (a) P3s e (b) P3c.....	44
Figura 24- Espectrograma do impacto utilizando o método da esfera na placa (a) P3s e (b) P3c.....	45
Figura 25– Amplitude utilizando o método do cabo de madeira na (a) P3s e (b) P3c.	45
Figura 26- Densidade espectral utilizando o método do cabo de madeira na (a) P3s e (b) P3c.....	45
Figura 27- Espectrograma utilizando o método do cabo de madeira na (a)P3s e (b) P3c.	46
Figura 28- Amplitude utilizando o método da barra de aço na (a) P3s e (b) P3c.	46
Figura 29- Densidade espectral utilizando o método da barra de aço na (a)P3s e (b) P3c.	47

Figura 30- Espectrograma utilizando o método da barra de aço na (a)P3s e (b) P3c.	47
Figura 31- Amplitude utilizando o método da barra roscada na (a)P3s e (b) P3c.	48
Figura 32- Densidade espectral utilizando o método da barra roscada na (a)P3s e (b) P3c.	48
Figura 33- Espectrograma utilizando o método da barra roscada na (a)P3s e (b) P3c.	49
Figura 34- Amplitude utilizando protótipo na (a)P3s e (b)P3c.	49
Figura 35- Densidade espectral utilizando o protótipo na (a)P3s e (b) P3c.	50
Figura 36- Espectrograma utilizando protótipo na (a)P3s e (b) P3c.	50
Figura 37- Amplitude após 45 minutos do assentamento na (a)P4s e (b)P4c.	52
Figura 38- Amplitude após 4 horas do assentamento na (a)P4s e (b)P4c.	53
Figura 39- Amplitude após 16 horas do assentamento na (a)P4s e (b)P4c.	53
Figura 40 - Amplitude após 24 horas do assentamento na (a)P4s e (b)P4c.	53
Figura 41- Amplitude após 40 horas do assentamento na (a)P4s e (b)P4c.	54
Figura A 1- Resultado da análise do impacto da esfera com a P1s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	83
Figura A 2- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P1s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	83
Figura A 3- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P1s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	84
Figura A 4- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P1s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	84
Figura A 5- Resultado da análise do impacto do cursor do protótipo com a P1s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	85
Figura A 6- Resultado da análise do impacto da esfera com a P1c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	86
Figura A 7- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P1c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	86
Figura A 8- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P1c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	87
Figura A 9- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P1c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	87
Figura A 10- Resultado da análise do cursor do protótipo com a P1c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	88
Figura A 11- Resultado da análise do impacto da esfera com a P2s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	89
Figura A 12- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P2s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	89
Figura A 13- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P2s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	90
Figura A 14- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P2s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	90
Figura A 15- Resultado da análise do impacto do cursor do protótipo com a P2s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	91
Figura A 16- Resultado da análise do impacto da esfera com a P2c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	92
Figura A 17- Resultado da análise do impacto da madeira com a P2c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	92

Figura A 18- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P2c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	93
Figura A 19- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P2c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	93
Figura A 20- Resultado da análise do impacto do percursor do protótipo com a P2c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	94
Figura A 21- Resultado da análise do impacto da esfera com a P3s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	95
Figura A 22- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P3s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	95
Figura A 23- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P3s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	96
Figura A 24- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P3s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	96
Figura A 25- Resultado da análise do impacto do percursor do protótipo com a P3s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	97
Figura A 26- Resultado da análise do impacto da esfera com a P3c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	98
Figura A 27- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P3c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	98
Figura A 28- Resultado da análise do impacto do barra de aço com a P3c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	99
Figura A 29- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P3c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	99
Figura A 30- Resultado da análise do impacto do percursor do protótipo com a P3c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	100
Figura A 31- Resultado da análise do impacto da esfera com a P4s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	101
Figura A 32- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P4s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	101
Figura A 33- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P4s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	102
Figura A 34- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P4s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	102
Figura A 35- Resultado da análise do impacto do prototipo com a P4s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	103
Figura A 36- Resultado da análise do impacto da esfera com a P4c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	104
Figura A 37- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P4c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	104
Figura A 38- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P4c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	105
Figura A 39- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P4c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	105
Figura A 40- Resultado da análise do impacto do percursor do protótipo com a P4c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	106
Figura A 41- Resultado da análise do impacto da esfera com a P5s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	107
Figura A 42- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P5s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	107

Figura A 43- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P5s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	108
Figura A 44- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P5s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	108
Figura A 45- Resultado da análise do impacto do percursor do protótipo com a P5s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	109
Figura A 46- Resultado da análise do impacto da esfera com a P5c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	110
Figura A 47- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P5c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	110
Figura A 48- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P5c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	111
Figura A 49- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P5c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	111
Figura A 50- Resultado da análise do impacto do percursor do protótipo com a P5c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	112
Figura A 51- Resultado da análise do impacto da esfera com a P6s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	113
Figura A 52- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P6s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	113
Figura A 53- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P6s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	114
Figura A 54- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P6s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	114
Figura A 55- Resultado da análise do impacto do percursor do protótipo com a P6s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	115
Figura A 56- Resultado da análise do impacto da esfera com a P6c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	116
Figura A 57- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P6c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	116
Figura A 58- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P6c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	117
Figura A 59- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P6c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	117
Figura A 60- Resultado da análise do impacto do percursor do protótipo com a P6c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.	118
Figura A 61- Resultado da P4s com 45 minutos em função da a) amplitude, b) densidade espectral e c) espectrograma.	120
Figura A 62- Resultado da P4c com 45 minutos em função da a) amplitude, b) densidade espectral e c) espectrograma.	120
Figura A 63- Resultado da P4s com 4 horas em função da a) amplitude, b) densidade espectral e c) espectrograma.	121
Figura A 64- Resultado da P4c com 4 horas em função da a) amplitude, b) densidade espectral e c) espectrograma.	121
Figura A 65- Resultado da P4s com 16 horas em função da a) amplitude, b) densidade espectral e c) espectrograma.	122
Figura A 66- Resultado da P4c com 16 horas em função da a) amplitude, b) densidade espectral e c) espectrograma.	122
Figura A 67- Resultado da P4s com 24 horas em função da a) amplitude, b) densidade espectral e c) espectrograma.	123

Figura A 68-Resultado da P4c com 24horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.....	123
Figura A 69-Resultado da P4s com 40horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.....	124
Figura A 70-Resultado da P4c com 40horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.....	124
Figura A 71-Resultado da P4s com 50horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.....	125
Figura A 72-Resultado da P4c com 50horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.....	125

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Características das placas cerâmicas escolhidos para execução do trabalho.	27
Tabela 2 - Nomenclatura dos pisos e características das placas cerâmicas assentadas sem e com patologia.	29
Tabela 3- Valor do coeficiente elástico do protótipo e do elástico nº 18.	33
Tabela 4- Valores da massa e altura para um mesmo valor de energia.	33
Tabela 5 - Representação dos coeficientes de restituição referente a uma energia de patamar pré-estabelecida para os pisos sem patologia.	41
Tabela 6 - Representação dos coeficientes de restituição referente a uma energia de patamar pré-estabelecida para os pisos com patologia.	41

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1-Resultado do coeficiente de restituição na P1s com os cinco métodos	70
Quadro 2-Resultado do coeficiente de restituição na P2s com os cinco métodos	71
Quadro 3-Resultado do coeficiente de restituição na P3s com os cinco métodos	72
Quadro 4-Resultado do coeficiente de restituição na P4s com os cinco métodos	73
Quadro 5-Resultado do coeficiente de restituição na P5s com os cinco métodos	74
Quadro 6- Resultado do coeficiente de restituição na P6s com os cinco métodos ...	75
Quadro 7-Resultado do coeficiente de restituição na P1c com os cinco métodos	76
Quadro 8-Resultado do coeficiente de restituição na P2c com os cinco métodos	77
Quadro 9-Resultado do coeficiente de restituição na P3c com os cinco métodos	78
Quadro 10-Resultado do coeficiente de restituição na P4c com os cinco métodos ..	79
Quadro 11-Resultado do coeficiente de restituição na P5c com os cinco métodos ..	80
Quadro 12- Resultado do coeficiente de restituição na P6c com os cinco métodos .	81

ÍNDICE DE SIGLAS E ABREVIATURAS

E_P - Energia potencial

E_{Pg} - Energia potencial gravitacional

E_{Pe} - Energia potencial elástica

E_C - Energia cinética

E_M - Energia mecânica

m - massa

h - altura

g - gravidade

v - velocidade

k - constante elástica

x - deformação

\vec{p} - momento linear

e - coeficiente de restituição

λ - comprimento de onda

f - frequência

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

PEI - Instituto de Porcelana e Esmalte

AC - Argamassa colante

Ps - Placa cerâmica sem patologia

Pc - Placa cerâmica com patologia

Lch - Canal esquerdo parte superior dos gráficos

Rch - Canal direito parte inferior dos gráficos

ÍNDICE DE EQUAÇÃO

$E_{Pg} = mgh$	Equação 1..... 4
$E_{Pe} = \frac{k.x^2}{2}$	Equação 2..... 5
$E_C = \frac{mv^2}{2}$	Equação 3..... 5
$E_M = E_C + E_{Pg} + E_{Pe}$	Equação 4..... 5
$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	Equação 5..... 6
$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \vec{p}_n$	Equação 6..... 6
$e = \frac{\text{velocidade relativa imediatamente depois da colisão}}{\text{velocidade relativa imediatamente antes da colisão}}$	Equação 7..... 7
$v_B = \sqrt{2gh_1}$	Equação 8..... 8
$v'_B = \sqrt{2gh_2}$	Equação 9..... 9
$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$	Equação 10..... 9
$h_1 = \frac{0,052}{m \cdot g}$	Equação 11..... 31
$h_2 = \frac{h_1 \cdot x'}{x}$	Equação 12..... 36

RESUMO

Na construção civil, há um crescente investimento na manutenção e reparação de construções devido a anomalias construtivas, como por exemplo as patologias nos pisos com revestimento cerâmico. Entre as patologias mais comuns, destaca-se o destacamento de placas cerâmicas, que é caracterizado pela perda de aderência de algumas placas à sua base de assentamento. Devido à probabilidade de acidentes envolvendo os usuários e os custos de reparo, este trabalho tem o objetivo de apresentar uma nova ferramenta de ensaio não destrutivo, fundamentada na resposta cinética e acústica de um protótipo, que, ao percutir sobre a placa cerâmica com patologia, produz um som característico resultante e uma perda significativa de energia, permitindo identificar a patologia em seu estágio inicial. Para a realização do experimento, utilizou-se placas cerâmicas assentadas com e sem patologias; em seguida, determinou-se o coeficiente de restituição das placas. Os sons dos impactos nas placas também foram captados por um microfone dinâmico e um captador piezoelétrico e processados por meio do programa Realtime Analyzer, que produz gráficos que relacionam frequência, amplitude, energia sonora e tempo. Os resultados obtidos pelo protótipo foram comparados com outros quatro métodos: esfera metálica, cabo de madeira, barra de aço e barra roscada. Pode-se concluir nos resultados a eficiência do protótipo na detecção da patologia estudada, apresentando vantagens em relação ao manuseio e à percepção da resposta cinética e acústica.

Palavras-chave: revestimento cerâmico, patologia, protótipo, impacto.

ABSTRACT

In construction, there is a growing investment in the maintenance and repair of constructions due to constructive anomalies, such as pathologies in floors with ceramic coating. Among the most common pathologies, the detachment of ceramic plates stands out, which is characterized by the loss of adhesion of some plates to their base of settlement. Due to the probability of accidents involving users and repair costs, this work has the objective of presenting a new non destructive testing tool, based on the kinetic and acoustic response of a prototype, which, on the ceramic plate with pathology, produces a characteristic sound resulting and a significant loss of energy, allowing to identify the pathology in its initial stage. For the accomplishment of the experiment, ceramic plates settled with and without pathologies were used; then the coefficient of restitution of the plates was determined. The impact sounds on the boards were also picked up by a dynamic microphone and a piezoelectric pickup and processed through the Realtime Analyzer program, which produces charts that relate frequency, amplitude, sound energy and time. The results obtained by the prototype were compared to four other methods: metal sphere, wood cable, steel bar and threaded rod. The efficiency of the prototype in the detection of the studied pathology can be concluded in the results, presenting advantages in relation to the handling and the perception of the kinetic and acoustic response.

Keywords: ceramic coating, pathology, prototype, impact.

INTRODUÇÃO

Na construção civil, os revestimentos cerâmicos continuam a ser amplamente utilizados, pois oferecem elevada durabilidade, bom desempenho técnico e vastas possibilidades estéticas. Apesar da evolução da indústria e dos métodos de fixação, continua a ser um revestimento confrontado frequentemente com graves patologias (BENTO, 2010).

A ocorrência de patologias diminui a vida útil de uma construção e provoca sua progressiva degradação, o que leva a trabalhos de recuperação incomodativos e custos que poderiam ser evitados. O mal assentamento de placas cerâmicas gera destacamento de placas, que é uma patologia observada pela separação lenta e progressiva de algumas peças de sua base de assentamento. As peças vão se soltando, mas ainda permanecem unidas pelo rejunte, podendo ouvir um som cavo “oco” ao percuti-las. É muito trabalhosa e cara a recuperação desta patologia. Muitas vezes, a solução é a retirada total do revestimento (FONTENELLE; MOURA, 2004).

A necessidade de inspecionar e diagnosticar as anomalias existentes em construções nos leva a adotar procedimentos que permitam verificar algumas patologias, antes mesmo dessas manifestarem-se. Essa investigação tem de ser eficaz, e não destrutiva (DIÓGENES et al., 2011).

O ensaio dinâmico não destrutivo é uma poderosa ferramenta para detectar e avaliar as falhas nos materiais, bem como nos revestimentos cerâmicos. Um exemplo de ensaio não destrutivo é a emissão acústica. Tal método se baseia na detecção de ondas sonoras emitidas por um material quando sujeito a uma força que revela qualquer falha, alterando o perfil de propagação da onda acústica, localizando a imperfeição (ZOLIN, 2011).

As ondas sonoras produzidas durante os impactos são relevantes para o estudo de colisões entre um objeto e uma superfície, visto que em um sistema há interação e troca de energia entre os corpos (CAVALCANTE et al., 2002). Assim, quando um objeto é lançado sobre uma superfície, parte de sua energia cinética será convertida em sonora.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma nova ferramenta de ensaio não destrutivo, fundamentada na resposta cinética e acústica de um protótipo em pisos cerâmicos, a fim de investigar patologia

relacionada à perda de aderência e ao conseqüente destacamento das placas cerâmicas.

Na revisão bibliográfica, são abordados temas como conservação de energia, impacto e colisões, ondas sonoras, piso com revestimento cerâmico e suas patologias. Em seguida, descreve-se na metodologia o ensaio não destrutivo com seus procedimentos, tais como: assentamento de pisos cerâmicos sem e com patologias, determinação dos coeficientes de restituição em pisos e captação dos sons originados de impactos nos pisos em um microfone dinâmico e um captador piezoelétrico. Nos resultados, apresentam-se a análise e a comparação do protótipo com quatro outros métodos: esfera, cabo de madeira, barra de aço e barra roscada.

1.1. Justificativa

Em uma breve pesquisa de campo realizada em algumas obras localizadas no interior do estado do Rio de Janeiro, constatou-se com os profissionais responsáveis pela colocação das placas cerâmicas que a metodologia utilizada para verificação de não conformidades dos revestimentos em geral eram cabos de madeira, barra de aço e barra roscada. Essa metodologia baseia-se em soltar tais objetos de uma determinada altura, não padronizada, em direção aos revestimentos para verificar o som gerado a partir do impacto entre o objeto lançado e o revestimento.

Com intuito de detectar a perda de aderência dos revestimentos cerâmicos aos substratos, patologia de maior incidência (AZEVEDO et al., 2016), desenvolveu-se um modelo de protótipo de fácil manuseio e baixo custo, possibilitando seu amplo uso na construção civil. Além disso, está em conformidade com a norma vigente.

1.2 Objetivo geral

Desenvolver e testar uma técnica simples que possa ser útil a uma adequada estratégia preventiva não destrutiva em revestimentos cerâmicos.

1.3. Objetivos específicos

Fornecer uma ferramenta eficaz para verificação de conformidade do assentamento de pisos cerâmicos;

Relacionar as patologias mais comumente observadas nos revestimentos cerâmicos e suas causas principais;

Contribuir para diminuir ou prevenir defeitos e falhas construtivas, de forma a garantir a estabilidade e a durabilidade do sistema de revestimentos cerâmicos, diminuindo e racionalizando as manutenções.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Energia e sua conservação

Energia é um conceito difícil de ser definido. Apesar disso, a ideia de energia está tão arraigada em nosso cotidiano que praticamente é aceita sem definição. Na física, o conceito de energia é a capacidade que um corpo, uma substância ou um sistema tem em realizar trabalho.

Deve-se ter em mente que energia compreende várias divisões com seus conceitos específicos, como energia potencial, cinética, mecânica, entre outros.

A energia potencial (E_p) é a forma de energia que está associada a um sistema no qual ocorre interação entre diferentes corpos. Está relacionada com a posição que o determinado corpo ocupa. Energia potencial é o nome dado à forma de energia que está “armazenada”, isto é, que pode a qualquer momento se manifestar, por exemplo, sob a forma de movimento. Nesse trabalho, será mencionada a energia potencial gravitacional e elástica.

A energia potencial gravitacional (E_{pg}) está associada ao estado de separação entre dois objetos que interagem por meio de um campo gravitacional, onde ocorre a atração mútua ocasionada pela força gravitacional. Então, quando se eleva um corpo de massa m a uma altura h , transfere-se energia para o corpo na forma de trabalho. Considerando que a diferença das altitudes entre os pontos de início e o término do deslocamento seja h e que o ângulo entre a força gravitacional e esse componente do deslocamento seja igual à 0° , ou seja, seu cosseno é igual a 1, a variação da energia potencial gravitacional E_{pg} é dada pela equação 1:

$$E_{pg} = mgh \quad \text{Equação 1}$$

A energia potencial elástica (E_{pe}) é o tipo de energia mecânica armazenada em virtude da deformação de um material elástico. Ao comprimir ou estender um corpo elástico, como uma mola, há a tendência do material voltar à posição ou à formação original. Sendo assim, pode-se dizer que há uma energia guardada ou armazenada na deformação de materiais elásticos.

A constante elástica k de um material determina a dificuldade imposta por si própria à sua deformação x . Sendo assim, quanto maior for o valor dessa constante, maior será a dificuldade de estender ou comprimir o material. A energia associada à deformação de objetos elásticos é dada pela equação 2:

$$E_{Pe} = \frac{k \cdot x^2}{2} \quad \text{Equação 2}$$

A energia cinética (E_C) é a energia que está relacionada com o estado de movimento de um corpo. Esse tipo de energia é uma grandeza que depende da massa e do módulo da velocidade v do corpo em questão. Quanto maior o módulo da velocidade do corpo, maior é a energia cinética. Quando o corpo está em repouso - ou seja, o módulo da velocidade é nulo -, a energia cinética também é nula.

A energia cinética (E_C) é expressa na mecânica clássica por meio da equação 3:

$$E_C = \frac{mv^2}{2} \quad \text{Equação 3}$$

A energia mecânica (E_M) de um sistema, expressa na equação 4, é a soma da energia cinética (relacionada ao movimento de um corpo) com a energia potencial (relacionada ao armazenamento), a qual pode ser gravitacional e elástica.

$$E_M = E_C + E_{Pg} + E_{Pe} \quad \text{Equação 4}$$

A lei (ou princípio) da conservação de energia estabelece que a quantidade total de energia em um sistema isolado permanece constante. Um modo informal de enunciar essa lei é dizer que energia não pode ser criada nem destruída: a energia pode apenas transformar-se.

De acordo com a lei de conservação, se o sistema for conservativo, ou seja, apenas forças conservativas atuam nele, a energia mecânica total se conservará. Dessa forma, se a energia cinética de um corpo aumenta, a energia potencial deve diminuir e vice-versa, de modo a manter constante a energia mecânica.

2.1.1. Quantidade de movimento, impulso e colisões

A quantidade de movimento ou momento linear é uma das duas grandezas físicas fundamentais necessárias à correta descrição do inter-relacionamento (sempre mútuo) entre dois entes ou sistemas físicos. A outra grandeza é a energia. Os entes ou sistemas em interação trocam energia e momento, mas o

fazem de forma que ambas grandezas sempre obedeçam à respectiva lei de conservação.

O momento linear (\vec{p}) de uma partícula é um vetor definido como produto de sua massa m pela velocidade \vec{v} , representado pela equação 5:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad \text{Equação 5}$$

O momento linear de um sistema de partículas é o vetor soma dos momentos lineares das partículas, expresso na equação 6:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \vec{p}_n \quad \text{Equação 6}$$

A quantidade de movimento total de um conjunto de objetos permanece inalterada, a não ser que uma força externa seja exercida sobre o sistema.

Um impacto ou uma colisão é definido como um carregamento não linear, no qual se verifica a atuação em uma estrutura de uma força de alto módulo em um curto intervalo de tempo. A força do impacto, também conhecida como impulso, causa a mudança na quantidade de movimento (\vec{p}).

Durante uma colisão de objetos ou corpos, geralmente há perda de energia após a deformação desses. Dessa energia depende a velocidade de afastamento dos corpos. A divisão entre a velocidade de afastamento e a velocidade de aproximação informa o coeficiente de restituição, uma grandeza adimensional com a qual pode-se avaliar o tipo de colisão existente entre os corpos.

As forças que atuam sobre o sistema de partículas em uma colisão podem ser internas (são as forças internas de interação entre as partículas do mesmo sistema) ou externas (são quaisquer forças exercidas por agentes fora do sistema). Se durante uma colisão a resultante das forças externas for nula, o momento linear total do sistema imediatamente antes e imediatamente depois da colisão será igual.

Uma colisão pode ser totalmente inelástica, totalmente ou parcialmente elástica. Na colisão perfeitamente inelástica, as duas partículas não se separam uma da outra, continuando juntas após a colisão. A velocidade relativa das partículas é nula após o choque, não conservando a energia cinética do sistema.

Quando a energia do sistema se conserva, a colisão é elástica, ou seja, a velocidade relativa das partículas se mantém. Logo, a conservação da quantidade de movimento é máxima. Se o choque estiver entre o perfeitamente elástico e o

perfeitamente inelástico, ele é chamado de parcialmente elástico. Nesse choque também há conservação de quantidade de movimento e perda da energia cinética, mas os corpos se separam após o choque.

O coeficiente de restituição e de uma colisão é definido pela equação 7:

$$e = \frac{\text{velocidade relativa imediatamente depois da colisão}}{\text{velocidade relativa imediatamente antes da colisão}} \quad \text{Equação 7}$$

Para uma colisão perfeitamente elástica: $e = 1$.

Para uma colisão perfeitamente inelástica: $e = 0$.

Para uma colisão parcialmente elástica: $0 < e < 1$.

2.1.2. Colisão de uma partícula contra uma superfície em posição horizontal

Quando uma esfera é solta de uma determinada altura e colide com uma superfície plana e lisa, possivelmente voltará a subir até uma altura menor que a inicial e novamente colidirá com a superfície. Esse movimento pode se repetir algumas vezes até o momento em que a esfera não mais deixará o solo e permanecerá em repouso, tendo perdido toda energia de movimento (CAVALCANTE et al., 2002).

Considere uma partícula de massa m (figura 1) sendo solta do repouso (posição A) de uma altura h_1 acima de um anteparo horizontal, caindo livremente no decorrer do tempo (desconsidera-se o efeito do ar) e, após a primeira colisão (posição B), chega a uma altura h_2 (posição C) sucessivamente.

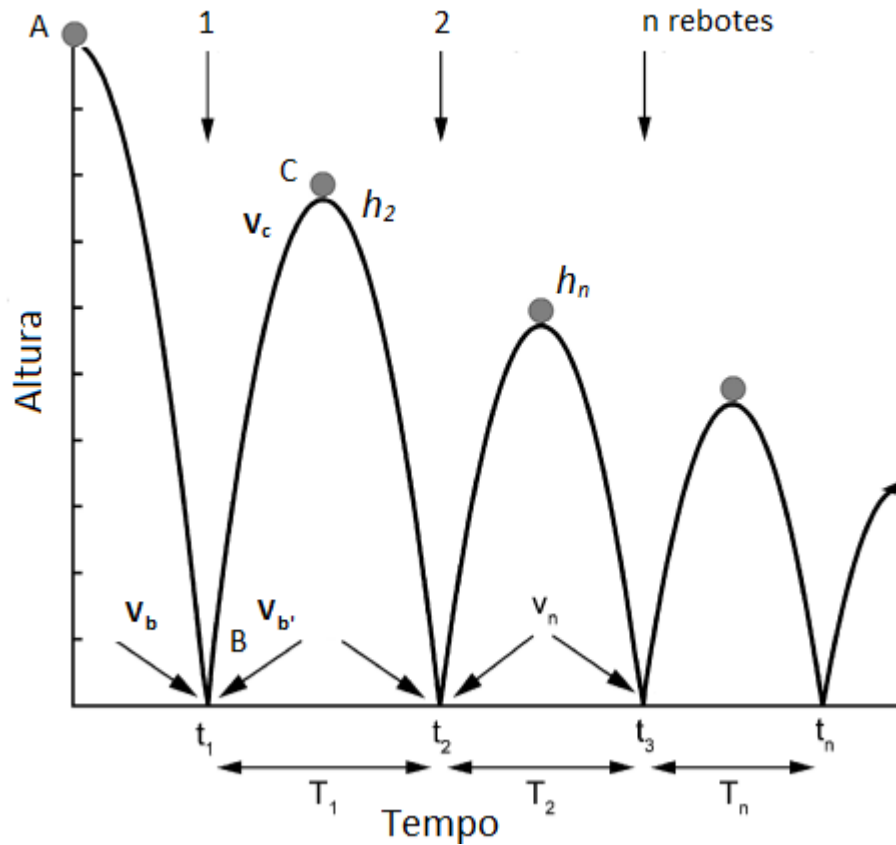


Figura 1- Representação da queda de uma esfera sobre uma base horizontal.

Fonte: adaptado de Imre; Räsamen; Springman (2008).

Calculando o coeficiente de restituição:

I) Por meio da conservação de energia mecânica durante a queda livre, conforme figura 1, o ponto A representa a altura de lançamento e o ponto B o momento da colisão. Em um sistema conservativo, a energia mecânica no ponto A é igual à energia mecânica no ponto B. Logo:

$$E_A = E_B$$

$$m \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 = m \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} m \cdot v_B^2$$

$$\text{com } v_A^2 = 0 \text{ e } h_B = 0$$

$$m \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2$$

$$v_B = \sqrt{2gh_1}$$

Equação 8

II) Mediante a conservação da energia mecânica durante a subida, ou seja, após a colisão Ponto B tem-se:

$$E'_B = E_C$$

$$m \cdot g \cdot h_B + \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 = m \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} m \cdot v_C^2$$

para $v_C^2 = 0$ e $h_B = 0$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_B'^2 = m \cdot g \cdot h_2$$

$$v'_B = \sqrt{2gh_2} \quad \text{Equação 9}$$

III) Por definição de coeficiente de restituição na colisão entre a partícula e o anteparo, tem-se:

$$e = \frac{v_{af}}{v_{ap}} = \frac{v'_B}{v_B} = \frac{\sqrt{2gh_2}}{\sqrt{2gh_1}}$$

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} \quad \text{Equação 10}$$

- a) quando a colisão for parcialmente elástica, $0 < h_1 < h_2$
- b) quando a colisão for perfeitamente elástica, $h_2 = h_1$
- c) quando a colisão for perfeitamente inelástica, $h_1 = 0$

Durante o impacto, exatamente no instante em que a velocidade da esfera torna-se nula, admitindo que não haja perda de energia até esse momento, toda a energia potencial gravitacional existente antes da colisão será convertida em energia cinética. Se a totalidade dessa energia fosse novamente transformada em movimento ($e = 1$), observaríamos a esfera retornar até a altura de lançamento (admitindo um movimento unidimensional).

Na realidade, este fato não ocorre em razão da perda de energia, em parte ou na totalidade (colisão completamente inelástica). Assim, no momento em que a esfera toca o chão, a energia é convertida em energia do movimento, térmica e sonora (CAVALCANTE et al., 2002).

O coeficiente de restituição está intimamente relacionado com a energia consumida durante o impacto. Quando uma esfera colide com uma superfície muito rígida, a esfera sofrerá deformação durante o impacto, às vezes sendo

irreversível. Pode ocorrer o contrário, quando uma esfera com grande energia cinética inicial e constante elástica elevada colide com uma superfície cujo coeficiente de deformação facilmente passa do regime elástico para o plástico (por exemplo, pisos cerâmicos). Ao observar com atenção, nota-se que as colisões nas condições descritas acima produzem pequenas "marcas" no piso e esta energia gasta na deformação provoca uma redução do valor numérico do coeficiente de restituição (DONDI et al., 2016). Para explicar o problema físico da perda de energia, a mecânica do contato vai servir experimentalmente com seus modelos teóricos.

A mecânica dos contatos, segundo Barber e Ciavarella (2000), embora clássica, continua a ser um tema de intenso interesse por muitas perspectivas diferentes, incluindo a matemática, a mecânica aplicada, a análise numérica, a física da superfície e os métodos experimentais. Isso gera uma sequência aparentemente inesgotável de problemas comercialmente importantes e revigorantes, possivelmente por causa da complexidade de dilemas físicos que podem ocorrer nas proximidades das superfícies de contato. Observou-se inicialmente por Hertz que, quando um objeto esférico duro é pressionado normalmente em um material frágil, uma fenda em forma de cone será gerada sobre a superfície do material. Desde as observações iniciais feitas por Hertz, muitos esforços foram feitos para modelar e prever a iniciação e o crescimento de tais tipos de rachaduras (JELAGIN; LARSSON, 2008).

Os estudos de Hastie (2013); Stronge e Ashcroft (2007); Imre, Räsamen e Springman (2008) relacionam que as dimensões da superfície e da esfera também afetam o coeficiente de restituição, porque aumentam a energia da colisão. Outra complicação no estudo da dinâmica da colisão reside no fato de que as constantes elásticas não são constantes durante o choque e, além disso, possuem comportamento não linear (ARYAEI; HASHEMNIA; JAFARPUR, 2010).

Nos trabalhos de Farin et al. (2016); Wu, Long e Thornton (2005) observou-se que materiais de baixa densidade têm a capacidade de atenuar ou até de dissipar as ondas de choque, ocasionando baixos coeficientes de restituição que se prosseguem para grande perda de energia.

Com base nos trabalhos mencionados, é muito complexo descrever os processos envolvidos na perda de energia durante a colisão. Apesar disso, felizmente, podem-se extrair várias informações relevantes para o estudo de

colisões entre objetos e a superfície, apenas analisando o coeficiente de restituição e as ondas sonoras produzidas durante os impactos (CAVALCANTE et al., 2002).

2.2 Ondas sonoras

O Som Físico é uma perturbação produzida pelas vibrações de um corpo, ou o escoamento de um fluido que se propaga num meio elástico (sólido, gasoso ou líquido) através de pequenas flutuações de pressão, densidade e temperatura.

Quando uma onda atravessa esse meio, o movimento das suas partículas está associado a uma variação de pressão. Essa variação de pressão será um som, se for capaz de criar uma sensação auditiva. Um ouvido normal consegue ouvir uma faixa de frequências que varia aproximadamente entre 20 Hz e 20.000 Hz. Ondas com frequências inferiores a 20 Hz são denominadas infrassônicas. Ondas com frequências superiores a 20.000 Hz são chamadas de ultrassônicas (PIXININE, 2013).

As duas últimas não podem ser percebidas pelo ouvido humano. Entretanto, animais podem perceber os infrassons (como por exemplo os elefantes) e os ultrassons (como por exemplo os cachorros e morcegos). Conforme Tussi (2013), a faixa audível (20 Hz até 20 kHz) pode ser subdividida em três partes (figura 2):

- Os sons graves, de mais baixa frequência (de 20 Hz até 200 Hz);
- Os sons médios, de média frequência (de 200 Hz até 6,3 kHz);
- Os sons agudos, de mais alta frequência (de 6,3 kHz até 20 kHz).

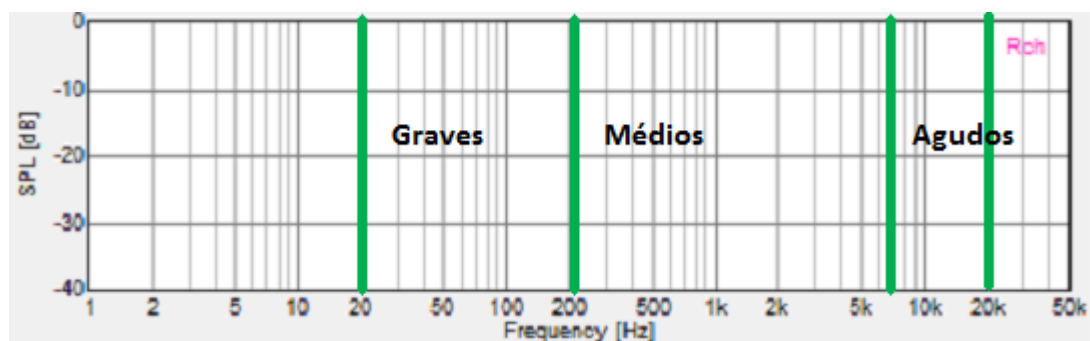


Figura 2- Subdivisão das faixas de frequência graves, médios e agudos.

Fonte: autoria própria.

2.2.1 Timbre

Cada onda sonora apresenta um formato característico, o qual depende do material que produziu o som, definindo assim, o timbre do som. Timbre é o que diferencia dois sons de mesma frequência (mesma nota). Por exemplo, a nota dó tocada no violão tem um som muito diferente de quando tocada no teclado ou na flauta. Isso significa que esses instrumentos possuem timbres diferentes.

2.3 Revestimentos cerâmicos

2.3.1 Camadas de sistema do piso

Um sistema de revestimento cerâmico usual é o resultado do assentamento de uma placa cerâmica sobre uma base ou um substrato, com a utilização de argamassa colante, formando um conjunto de camadas aderido e contínuo (ALMEIDA, 2012).

A ABNT NBR 15.575-3 (2013) descreve os componentes do sistema de piso, representados na figura 5.

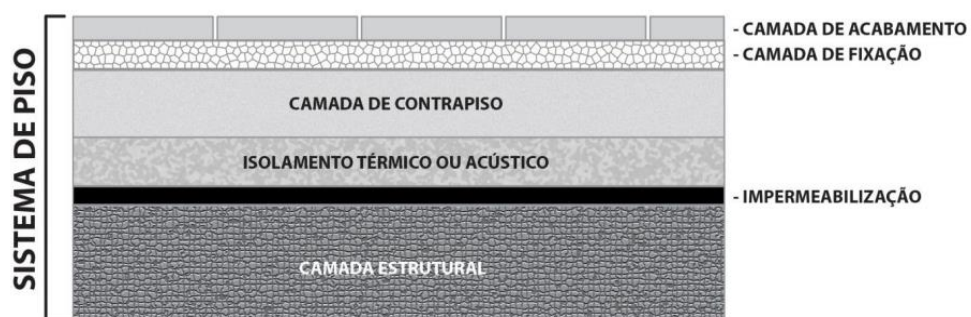


Figura 3 - Exemplo genérico de um sistema de piso e seus elementos.

Fonte: ABNT NBR Desempenho 15.575-3 (2013).

- Impermeabilização do sistema de piso: conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas com o objetivo de proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, vapores e da umidade.
- Isolamento térmico do sistema de piso: conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas. Tem por

finalidade proteger as construções contra a ação dos efeitos de variações de temperatura.

- Isolamento acústico do sistema de piso: conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas com a função de atenuar a passagem de ruídos.
- Camada de contrapiso: estrato com a função de regularizar o substrato, proporcionando uma superfície uniforme (e coesa) de apoio - aderido ou não - e adequada à camada de acabamento. Pode eventualmente servir como camada de embutimento, caimento ou declividade.
- Camada de acabamento do sistema de piso: composta por um ou mais componentes (por exemplo, laminados, placas cerâmicas, vinílicos, revestimentos têxteis, rochas ornamentais, madeiras, etc). É destinada a revestir a superfície do sistema de piso e cumprir funções de proteção e acabamento estético e funcional.
- Camada estrutural do sistema de piso: constitui o elemento resistente às diversas cargas do sistema de pisos.

É importante salientar que, em geral, para sanar um problema do sistema revestimento cerâmico, é preciso realizar sua completa retirada (placa e argamassa colante) e efetuar novamente o assentamento. Além disso, os custos de reparos em revestimento chegam a alcançar uma vez e meia o custo do assentamento inicial - além dos desperdícios de material, tempo e, principalmente, o aborrecimento do usuário. Assim, recomenda-se muito cuidado na escolha dos materiais e na execução de todas as etapas do sistema multicamadas de revestimento cerâmico (IAU, 2017).

2.3.2 Definição de placa cerâmica

Segundo a ABNT NBR 13.816 (1997), define-se placa cerâmica para revestimento como um material composto por argila e outras matérias-primas inorgânicas normalmente utilizadas no revestimento de pisos e paredes. São formadas por extrusão ou por prensagem. Seguidamente, são secadas e

queimadas a elevada temperatura. Podem ser esmaltadas ou não. Não são afetadas pela luz e o material não é combustível.

As placas cerâmicas são constituídas, em geral, por três camadas, de acordo com a ABNT NBR 13.816 (1997):

- O suporte ou biscoito (que na placa esmaltada, é a face inferior) é formada por argila e outras matérias-primas. Recebe o esmalte;
- O engobe, com função impermeabilizante, garante a aderência da terceira camada;
- O esmalte é a camada vítrea que impermeabiliza e decora uma das faces da placa.

Em sua maior parte, as cerâmicas para revestimento possuem formato quadrado ou retangular com diversas dimensões. As costas das placas possuem garras - cada garra é denominada tardez -, as quais auxiliam na aderência com a superfície a ser assentada (PINTO, 2010).

Os materiais argilosos são formados por uma mistura de diversos tipos e características de argilas com o intuito de fornecer a composição desejada à base do biscoito. Os materiais não argilosos, quartzo, feldspato e caulim sustentam o corpo cerâmico e promovem a fusão da massa. Os materiais sintéticos são utilizados na produção de engobes e esmaltes, servindo para decorar os revestimentos (ANFACER, 2017).

Segundo Pinto (2010), as placas cerâmicas exercem proteção para o substrato em que são assentadas, proporcionando ambientes não insalubres, devido à impermeabilidade de seu esmalte. Além disso, possibilitam muitas vantagens como facilidade de limpeza, a não propagação de fogo, durabilidade, beleza estética, versatilidade e baixa higroscopia.

2.3.3 Aderência dos pisos cerâmicos

A ABNT NBR 13.528 (2010) define aderência como a “[...] propriedade do revestimento de resistir às tensões atuantes na interface do substrato [...]”. O desenvolvimento do mecanismo da aderência ocorre em duas etapas distintas, consecutivas e intrinsecamente relacionadas: a adesão inicial e a aderência. A primeira ocorre no momento em que a argamassa no estado fresco é lançada sobre o substrato poroso. A segunda é a aderência propriamente dita, que se desenvolve ao longo do processo de hidratação dos aglomerantes da argamassa (MORENO JUNIOR; SELMO, 2007).

2.4 Critérios de conformidades dos revestimentos cerâmicos

A ABNT NBR 9817 (1987) e NBR 13.753 (1996) fixam as condições exigíveis para execução, fiscalização e recebimento de piso de revestimento cerâmico. Ambas as normas afirmam que ensaios devem ser feitos após três dias do assentamento e antes da colocação do rejuntamento, definindo que “a aderência dos pisos cerâmicos à argamassa de assentamento deve ser examinada em toda a extensão e que nenhum piso cerâmico deve produzir som cavo, quando percutido por instrumento não contundente”.

A NBR 9817 (1987) ainda indica que o instrumento deve ser metálico. Porém, não informa como seria esse instrumento metálico não contundente. Assim, surge uma demanda por normatização desse instrumento.

2.5 Patologias de revestimentos cerâmicos

Segundo Bento (2010), as patologias nos revestimentos cerâmicos podem ter origem na etapa de projeto, na ocasião de escolha dos materiais, quando o projetista não leva em consideração as interações do revestimento com outras partes da construção, ou na fase de execução. As patologias mais comuns são:

- Destacamentos de placas;
- Trincas;

- Gretamento e fissuras;
- Eflorescências e
- Deterioração das juntas.

2.5.1 Destacamentos de placas

Os destacamentos são caracterizados pela perda de aderência das placas cerâmicas do substrato (ou da argamassa colante), quando as tensões surgidas no revestimento cerâmico ultrapassam a capacidade de aderência das ligações entre a placa cerâmica e argamassa colante. Devido à probabilidade de acidentes envolvendo os usuários e os custos para seu reparo, esta patologia é considerada a mais séria (VALENTINI; KAZMIERCZAK, 2016).

O primeiro sinal dessa patologia é a ocorrência de um som cavo (oco) nas placas cerâmicas (quando percutidas), ou ainda nas áreas em que se observa o estofamento da camada de acabamento (placas cerâmicas e rejuntas) seguido do destacamento destas áreas, o qual pode ser imediato ou não. Segundo Bauer (1997), os descolamentos podem apresentar extensão variável, no qual a perda de aderência pode ocorrer de diversas maneiras: por empolamento, em placas ou com pulverulência.

Geralmente, essas patologias ocorrem nos primeiros e nos últimos andares do edifício, devido aos maiores níveis de tensões observados nestes locais. De acordo com Bauer (1997), as causas destes problemas são:

- Instabilidade do suporte, devido à acomodação do edifício como um todo;
- Deformação lenta (fluência) da estrutura de concreto armado;
- Oxidação da armadura de pilares e vigas;
- Excessiva dilatação higroscópica do revestimento cerâmico;
- Variações higrotérmicas e de temperatura;
- Características pouco resilientes dos rejuntas;
- Ausência de detalhes construtivos (contravergas, juntas de dessolidarização, movimentação, assentamento e estrutural);
- Utilização da argamassa colante com um tempo em aberto vencido, mal espalhamento da argamassa colante, ou ausência de dupla colagem, no caso de peças com superfície maior que 400 cm²;

- Assentamento sobre superfície contaminada;
- Especificação incorreta de revestimento cerâmico, especialmente no que se refere a: configuração do tardo (que pode apresentar superfície lisa, sem reentrâncias ou garras); EPU maior do que 0,6 mm/m; e absorção de água superior a 6%;
- Imperícia ou negligência da mão-de-obra na execução e/ou controle dos serviços (assentadores, mestres e engenheiros).

É muito trabalhosa e cara a recuperação desta patologia. Muitas vezes a solução é a retirada total do revestimento (FONTENELLE; MOURA, 2004).

2.5.2 Trincas, gretamentos e fissuras

Segundo Bento (2010), geralmente ocorre por causa da perda de integridade da superfície da placa cerâmica.

Trincas são rupturas na placa cerâmica provocadas por esforços mecânicos, causando a separação das placas em partes, com aberturas superiores a 1 mm.

Fissuras são rompimentos nas placas cerâmicas, com abertura inferior a 1 mm e que não causam a ruptura das placas.

Gretamento é uma série de aberturas em várias direções, e são inferiores a 1 mm. Ocorre na superfície esmaltada das placas.

As causas prováveis destas patologias são a falta de especificação de juntas de movimentação e de detalhes construtivos adequados.

2.5.3 Eflorescência

Eflorescência é um conjunto de manchas esbranquiçadas que se sobressaem ao revestimento cerâmico e a ele aderem. Elas aparecem devido a um processo químico. O cimento comum, reagindo com a água, resulta em uma base medianamente solúvel, denominada hidróxido de cálcio. A argamassa de assentamento e de rejuntamento contém cimento. Essas camadas são porosas, e em sua composição encontra-se o hidróxido de cálcio livre. Quando se dá o contato com o ar, que por sua vez, contém anidrido carbônico, ocorre a reação

entre essas duas substâncias, resultando em carbonato de cálcio, um sal insolúvel de coloração branca (SILVESTRE; BRITO, 2008).

A eflorescência pode ser facilmente retirada mediante solução diluída de ácido muriático em concentrações baixas e em pequena quantidade, enxaguando muito bem a superfície após seu uso (VALENTINI; KAZMIERCZAK, 2016).

2.5.4 Deterioração das juntas

As juntas são responsáveis pela estanqueidade do revestimento cerâmico e pela capacidade de absorver deformações. A deterioração das juntas compromete o desempenho dos revestimentos cerâmicos.

De acordo com Bento (2010), observa-se a deterioração das juntas quando ocorre perda de estanqueidade e envelhecimento do material de preenchimento.

A perda da estanqueidade pode iniciar-se logo após a sua execução, pelo procedimento de limpeza inadequado (uso de ácidos e bases concentrados), que somado aos ataques de agentes atmosféricos agressivos e/ou solicitações mecânicas, pode causar fissuras.

As juntas rígidas (preenchimento com materiais a base de cimento) sofrem deterioração na presença de agentes agressivos (chuva ácida ou fissuras). Quando os rejantes têm uma quantidade grande de resinas, por serem de origem orgânica, podem envelhecer e perder a cor.

Para evitar a ocorrência dessa patologia, devemos ter controle da execução do rejuntamento, do preenchimento das juntas, bem como da escolha de matérias de preenchimento adequados (BENTO, 2010).

2.6 Ensaio de materiais

Os ensaios de materiais consistem em submeter um objeto já fabricado ou a matéria-prima dele às situações que simulem os esforços os quais estes materiais irão sofrer nas condições reais de uso. Os ensaios mecânicos são classificados em ensaios destrutivos ou não destrutivos (DIÓGENES et al., 2011).

2.6.1 Ensaios não destrutivos

Conforme o Instituto Britânico de Ensaios Não Destrutivos (BINDT), esses ensaios são utilizados na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los. São executados nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção. São largamente utilizados nos setores petróleo/petroquímico, químico, aeronáutico, naval, siderúrgico, eletromecânico, papel e celulose, entre outros. Contribuem para a qualidade dos bens e serviços, redução de custos e prevenção da vida e do meio ambiente, sendo fator de competitividade para as empresas que os utilizam (ZOLIN, 2011).

Segundo Sampaio (2009), os ensaios não destrutivos mais utilizados são a radiografia industrial, ultrassom, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ensaio visual, emissão acústica, termografia, esclerometria e análise de vibrações.

2.6.1.1 Emissão acústica

Ravindra, Srinivassa e Krishnamurthy (1997), definem emissão acústica como uma onda elástica transiente gerada pela rápida liberação de energia a partir de uma determinada fonte, que pode ser de dentro do material, quando esta é submetida a um estado de tensão. Essa liberação de energia está associada a uma abrupta redistribuição de tensões internas e, como resultado, uma onda de tensão é propagada através do material, quando sujeito a uma força, deformação ou percussão que revela a qualidade desse material. Para Zolin (2011), qualquer falha (trinca, descontinuidade ou defeito) altera o perfil de propagação da onda acústica, localizando a imperfeição.

Pesquisadores desenvolveram diversos trabalhos, os quais abordavam metodologias para a avaliação do comportamento e do desempenho de revestimentos cerâmicos por meio da percussão de objetos. O anexo A apresenta alguns destes trabalhos.

Embora as publicações levantadas estejam relacionadas às atividades experimentais ou clássicas de inspeção em patologias de fachada ou piso de revestimentos cerâmicos, não se encontrou na literatura trabalhos que

estudassem a prevenção das anomalias utilizando o ensaio de percussão, que é o objetivo deste trabalho.

2.6.2 Ensaio destrutivos

O conhecimento das propriedades dos materiais, muitas vezes, só é possível pela aplicação de ensaios que levam à destruição dos materiais. Nesses casos, na maioria das vezes, são usados corpos de prova do mesmo material das peças construídos segundo normas próprias (ZOLIN, 2011).

Segundo Diógenes et al. (2011), os ensaios destrutivos são os mais utilizados para determinar ou verificar as propriedades dos materiais. Ensaio destrutivos são ensaios mecânicos que necessitam de procedimentos que provocam inutilidade nos materiais ou nos corpos de prova, mesmo que o dano seja pequeno. Conforme a análise de Angeloni (2014), os ensaios destrutivos mais utilizados são os de tração, compressão, cisalhamento, flexão, torção, dureza fluência e fadiga.

2.7 Piezoeletricidade

A piezoeletricidade é uma forma de acoplamento entre os comportamentos mecânico e elétrico de certos materiais com propriedades piezoelétricas. Esses materiais possuem a capacidade de se tornarem eletricamente polarizados se forem submetidos a algum tipo de tensão mecânica ou, ao inverso, se apresentarem alguma deformação mecânica, quando experimentam uma carga elétrica.

O efeito piezoelétrico divide-se em efeito piezoelétrico direto e efeito inverso (figura 7). O primeiro ocorre quando uma deformação mecânica é aplicada ao material, sendo essa convertida em uma carga elétrica. O segundo ocorre quando se aplica um potencial elétrico ao material e esse é convertido em deformação mecânica (ILIUK, 2016).

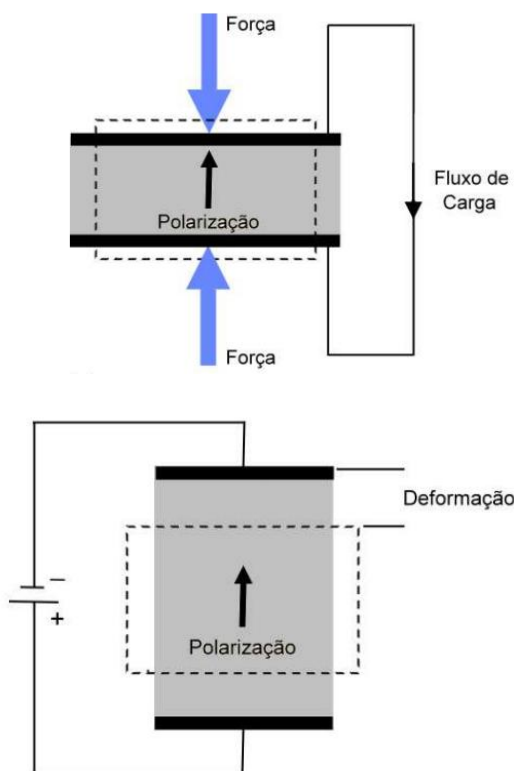


Figura 4 - a) Efeito piezelétrico direto, b) Efeito piezelétrico inverso.

Fonte:Falconi (2010).

Os materiais piezoelétricos ao serem submetidos a um esforço mecânico apresentam um momento elétrico com intensidade proporcional ao esforço aplicado. Conforme o tipo de esforço mecânico - se de tração ou de compressão - aplicado ao material piezoelétrico, o sentido da polarização resultante é inverso ao da aplicação de um campo elétrico a um cristal. Dessa forma, o efeito piezoelétrico inverso apresenta uma deformação do cristal, que é tanto maior quanto o campo elétrico exercido e depende do sentido desse campo. (ILIUK, 2016).

O captador piezoelétrico, também conhecido como cerâmico ou cristal, gera uma força eletromotriz a partir da deformação de um cristal (figura 8). Esse cristal possui características piezoelétricas, ou seja, eletricidade por resposta a uma pressão mecânica. A tensão gerada pela deformação do cristal é proporcional ao deslocamento das ondas de som. Esses dispositivos são capazes de receber pressão direta ou por meio de um diafragma que está acoplado ao cristal. O

captador piezoelétrico possui resposta aproximadamente plana¹. Esse tipo de resposta é comum em microfones utilizados para medição, denominados microfones de referência. Observa-se que a sua resposta vai desde frequências bem baixas até frequências bem altas, mantendo-se quase totalmente planas (MEDEIROS, 2014).

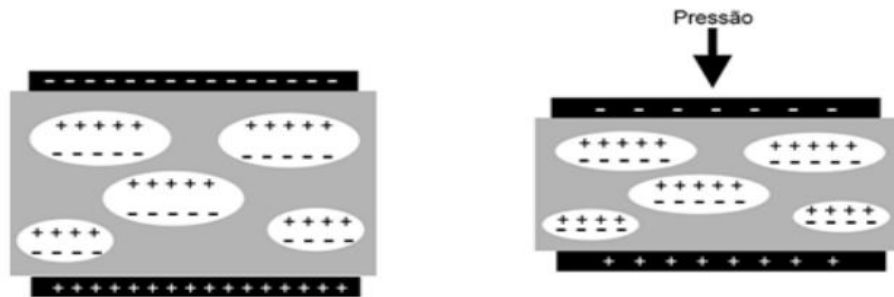


Figura 5 - Representação das cargas elétricas aprisionadas nos polímeros celulares após carregamento elétrico e deformação das cavidades pela aplicação de uma pressão externa - nesse caso, o som.

Fonte : Assagra (2015).

2.8 Microfone

O princípio de qualquer microfone é converter uma variação da pressão do ar para um sinal elétrico diretamente proporcional. O funcionamento dos microfones consiste em uma onda de som causar movimento em um diafragma fino metálico e em uma bobina de fio em anexo que se localiza dentro de um ímã permanente (OWSINSKI, 2009). Quando a onda de som faz o diafragma vibrar, as bobinas conectadas também vibram no campo magnético, causando uma tensão, cujo processo é apresentado na figura 9.

¹ Ele é capaz de reproduzir ou responder a toda a faixa de frequências com pequenas ou leves variações de amplitude do sinal. Pode-se considerar um microfone com resposta plana ou flat. Estes microfones conseguem capturar os sinais das fontes sem alterar (salientar ou colorir) esses sinais.

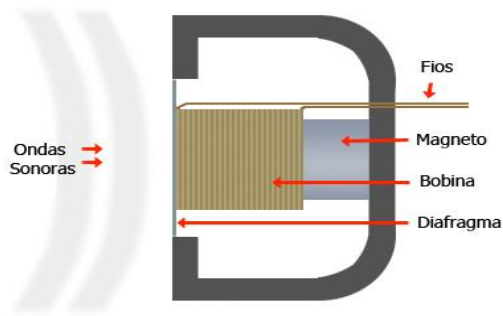


Figura 6 - Diagrama de um microfone dinâmico.

Fonte: adaptado de Owsinski (2013).

Segundo Fonseca (2007), do ponto de vista de áudio profissional, são utilizados dois tipos de microfones: os dinâmicos e os condensadores.

Os microfones condensadores são constituídos por duas superfícies condutoras separadas por um isolante. Quando há variação da distância entre as duas superfícies condutoras, altera-se a capacitância do condensador. Seu princípio de funcionamento consiste na movimentação das superfícies condutoras, variando as características do condensador.

Os microfones dinâmicos são constituídos por uma membrana ligada a uma bobina. O som provoca o movimento desta membrana. Em seguida, a bobina se desloca. Como dentro do microfone existe um tipo de ímã, o movimento da bobina nesse campo magnético vai criar uma pequena corrente elétrica.

3 . METODOLOGIA

Neste item, será abordada a análise experimental da técnica de ensaio não destrutivo. Ela foi baseada na resposta cinética e acústica de um protótipo construído com o intuito de detectar a patologia de destacamentos de placas cerâmicas devido à perda de aderência dos revestimentos cerâmicos. Posteriormente, comparar-se-á esta técnica a métodos de verificação já utilizados, como a esfera, cabo de madeira, barra de aço e barra roscada.

3.1 Reprodução da patologia

A reprodução da patologia a que se refere este trabalho é o destacamento de placas com possíveis causas da utilização da argamassa colante com o tempo em aberto, vencido ou o mal espalhamento da argamassa colante com ausência de dupla colagem. No caso de peças com superfície maior que 900 cm², essa desconformidade faz com que o piso não possua completo preenchimento do tardo e conseqüentemente, causa a diminuição da área de aderência.

Para a reprodução da patologia, desconsiderou-se a especificação do fabricante e a norma vigente em relação ao modo de execução. Antes do experimento, foram realizados testes com placas cerâmicas e moldes em acrílico para simular a patologia desejada. O procedimento é descrito a seguir:

- A argamassa colante² foi preparada e exposta ao ar livre por um período de uma hora, tempo estimado para dar consistência desejada (figura 7);
 - Utilizou-se uma desempenadeira de 8 mm;
 - Colagem apenas no substrato;
 - Fixação com um ligeiro movimento de rotação.
- Em seguida, colocou-se um perfil de acrílico de 4 mm do tamanho da placa, unindo ambos por fita adesiva e, posteriormente, realizou-se o processo de assentamento;
- Para finalizar, após uma hora de assentamento, observou-se a placa de acrílico quando retirada a fita adesiva na ligação acrílico e placa (figura 8).

² A argamassa colante foi uma ACII da Quartzolit, estando em conformidade com a ABNT NBR 14.081 (2012).



Figura 7 - Aparência da argamassa vencida. Traço feito com três horas.



Figura 8 – Preenchimento do tardez reproduzido para teste.

O experimento apresentou o resultado esperado: ao analisar as placas de acrílico após a retirada da placa cerâmica, observou-se que a área preenchida era correspondente a cerca de 50% da área total da placa, reproduzindo a patologia encontrada no campo conforme a figura 9.



Figura 9 - Aparência em campo da patologia estudada.

Fonte: autoria própria.

No final de todos os ensaios descritos nesse trabalho, realizaram-se cortes nas placas cerâmicas para confirmar a presença da patologia (figura 10).

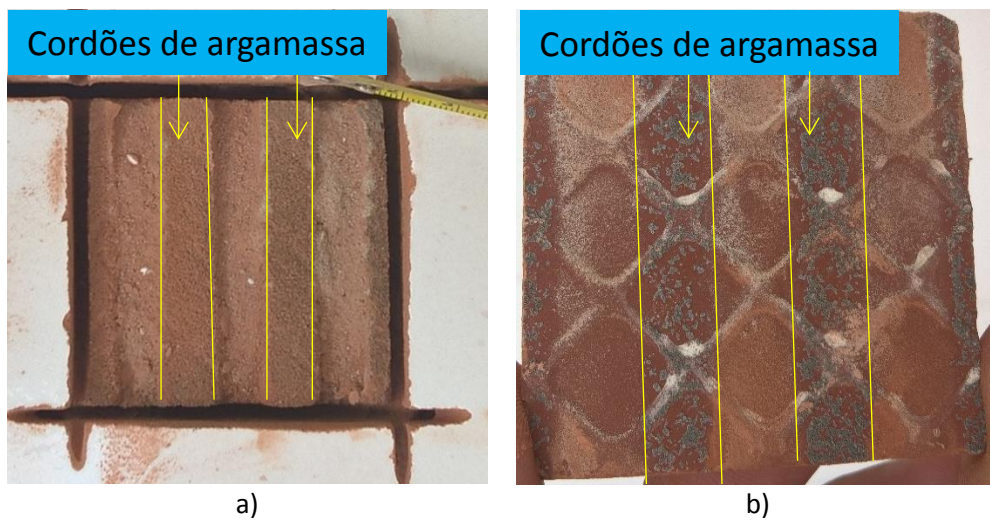


Figura 10- Aparência a) dos cordões do substrato e b) da placa assentadas com patologia.

3.2 Determinação do coeficiente de restituição

Para determinar o coeficiente de restituição, foram analisadas as placas cerâmicas mais utilizadas e encontradas no mercado local de Campos dos Goytacazes. A tabela 1 apresenta as principais características das placas.

Tabela 1 - Características das placas cerâmicas escolhidos para execução do trabalho.

Placa do modelo	Dimensões cm	Espessura mm	Grupo de absorção		Natureza da Superfície	Classe de abrasão
1	50x50	7,2	BIIb	Semiporoso	Esmaltada/liso	PEI 4
2	45x45	7,2	BIIb	Semiporoso	Esmaltada/rústico	PEI 4
3	54x54	8,2	Bla	Porcelanato	Esmaltada/liso	PEI 4
4	36x26	7,4	BIIb	Semiporoso	Esmaltada/liso	PEI 3
5	45x45	6,5	BIIb	Semiporoso	Esmaltada/liso	PEI 4
6	45x45	6,5	BIIa	Semi-Grés	Esmaltada/liso	PEI 4

No desenvolvimento desta metodologia realizaram-se quatro etapas descritas a seguir:

1 - Concretagem de 12 bases 60 x 60cm com espessura de 7 cm. Todas as bases de concreto armado.

2 - Após os 28 dias, foi feita a confecção do contrapiso com espessura de 2 cm com argamassa de proporção 1:6 (cimento : areia, em volume) conforme a ABNT NBR 13.753 (1996). Para confecção do contrapiso, utilizou-se uma forma padronizada em madeira de 59 x 59 e espessura de 2 cm (figura 11). Além de manter o contrapiso padrão, a forma (figuras 12 e 13) dispensa a necessidade da talisca no momento do sarrafeamento, servindo como facilitador e homogeneizador do processo.



Figura 11 - Construção da forma padronizada para o contrapiso.



Figura 12 - Formas de madeira de mesmo padrão sobre placas de concreto à espera da argamassa.



Figura 13 - Sarrafeamento do contrapiso utilizando a forma como talisca.

3 - Após uma semana do passo anterior, foi executada a camada de fixação com a utilização da argamassa colante do tipo ACII.

4 - Assentamento dos pisos cerâmicos.

Nesse processo, foram assentados os revestimentos cerâmicos individualmente em doze blocos. Para auxiliar na identificação, atribui-se uma nomenclatura, assim a sigla “P” para “placa” e um número de 1 a 6, caracterizando os seis modelos de placa. Para a cerâmica assentada corretamente, adicionou-se a sigla “s” (“sem” patologia), para a cerâmica mal assentada, utilizou-se a sigla “c” (“com” patologia). A tabela 2 refere-se a nomenclatura atribuída as placas cerâmica com as suas respectivas características.

Tabela 2 - Nomenclatura dos pisos e características das placas cerâmicas assentadas sem e com patologia.

Placa	Placa sem patologia	Placa com patologia	Dimensões (cm x cm)	Espessura (mm)	Grupo de absorção		Natureza da Superfície	Classe de abrasão
P1	P1s	P1c	50x50	7,2	BIIb	Semiporoso	Esmaltada /liso	PEI 4
P2	P2s	P2c	45x45	7,2	BIIb	Semiporoso	Esmaltada /rústico	PEI 4
P3	P3s	P3c	54x54	8,2	Bla	Porcelanato	Esmaltada /liso	PEI 4
P4	P4s	P4c	36x26	7,4	BIIb	Semiporoso	Esmaltada /liso	PEI 3
P5	P5s	P5c	45x45	6,5	BIIb	Semiporoso	Esmaltada /liso	PEI 4
P6	P6s	P6c	45x45	6,5	BIIa	Semi-Grés	Esmaltada /liso	PEI 4

3.2.1 Assentamento de piso sem patologia

O tardoz das placas cerâmicas a serem assentadas estavam limpos, isentos de pó, gorduras, ou partículas secas. As placas cerâmicas foram colocadas uma de cada vez, ligeiramente fora de posição sobre os cordões de cola. A colagem foi dupla, ou seja, na placa cerâmica e na base. Utilizou-se uma desempenadeira de 8 x 8 x 8 mm, em conformidade com a ABNT NBR 13.753 (1996).

Em seguida, fez-se a fixação do revestimento cerâmico por meio de um ligeiro movimento de rotação. Foram realizadas leves batidas com um martelo de borracha sobre a face da cerâmica, bem como batidas com o cabo de madeira do martelo. Nesse processo, os revestimentos cerâmicos foram assentados individualmente em seis bases.

3.2.2 Assentamento do piso com patologia

O tardo das placas cerâmicas a serem assentadas estavam limpos, isentos de pó, gorduras, ou partículas secas. As placas cerâmicas foram colocadas uma de cada vez, ligeiramente fora de posição sobre os cordões de cola. A colagem foi simples, ou seja, somente no substrato. Utilizou-se uma desempenadeira de 8 x 8 x 8 mm.

Em seguida, fez-se a fixação do revestimento cerâmico por meio de um ligeiro movimento de rotação. Nesse processo, os revestimentos cerâmicos foram assentados individualmente em seis bases.

3.2.3 Parâmetros para cálculo de energia de impacto

Os trabalhos de Wu, Long e Thornton (2005) e Aryaei, Hashemnia e Jafarpur (2010) utilizam esferas na determinação do coeficiente de restituição. Esses autores afirmam que o coeficiente de restituição diminui à medida que os diâmetros e velocidade das esferas aumentam, pois esses valores estão diretamente relacionados com a energia do impacto. Tendo em vista essas considerações e objetivando-se simplificar o experimento, decidiu-se assumir uma energia de patamar referencial, ou seja, utilizar um valor de energia para todos os testes. Como a esfera é o objeto de menor massa, esta será o elemento limitador, para tal utilizou-se uma esfera de 10 mm de diâmetro e altura de lançamento de 1 metro³.

Para o cálculo da energia de impacto, se fez necessário o valor da massa da esfera. Com o auxílio de uma balança analítica, o valor encontrado foi de 5,3 g. Utilizou-se a equação 1 (energia potencial gravitacional) no cálculo e considerou-se a aceleração da gravidade⁴ com valor aproximado de 9,79 m/s².

$$E_{Pg} = 0,0053 \times 9,78743 \times 1 \cong 0,052J$$

³ Essa altura é a mesma utilizada pelo ISO 10545-5:2002, mas a esfera da referida norma é de 19 mm, a qual não foi encontrada no mercado local.

⁴ Na determinação da aceleração da gravidade local utilizou-se o App Gravity Meter, um aplicativo de celular que mede o valor da aceleração da gravidade da Terra com base na Equação do Sistema Geodésico Mundial (WGS) 1984. O valor encontrado foi de 9.78743m/s².

Considerando a energia aproximada de 0,052J da esfera como patamar referencial e utilizando a decomposição da equação 1, surge como resultado a equação 11, que permite calcular a altura de soltura do cabo de madeira, barra de aço e da barra rosca. As massas desses materiais também foram medidas na balança analítica e seguem resultados na tabela 8.

$$h_1 = \frac{0,052}{m.g} \quad \text{Equação 11}$$

Para calcular a altura de soltura do protótipo, além da equação 1, também utilizou-se a equação 2 e igualou-se a energia de patamar considerado da esfera. Como o esticamento do amortecedor elástico do protótipo x será o mesmo do deslocamento axial h , temos que x e h é igual a h_1 , resultando em um polinômio de grau dois:

$$\frac{k.h_1^2}{2} + m.g.h_1 = 0,052$$

A determinação da constante elástica do amortecedor elástico do protótipo e do elástico⁵ individual foi realizada com o auxílio do dinamômetro (figura 14a e 14b). A análise dessas medições demonstrou uma variação do coeficiente angular. A figura 15 apresenta o gráfico força vs deformação com a curva característica do protótipo. Efetivamente, o uso do protótipo está limitado a pequenas deformações (em torno de 1 a 2,5 cm). Assim, considerou-se o coeficiente angular da primeira curva no intervalo 0 a 3 cm para o amortecedor elástico do protótipo e o elástico nº 18. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

⁵ Os elásticos nº18 de látex possuem as mais diversas finalidades. Sua utilização vai desde o uso em escritórios, bancos (onde os elásticos são conhecidos como borrachinhas de dinheiro), até o uso na indústria. São encontrados em qualquer papelaria ou supermercado.



a)



b)

Figura 14 - Medição da constante elástica: a) amortecedor elástico do protótipo; b) elástico comum ou elástico de látex nº18.

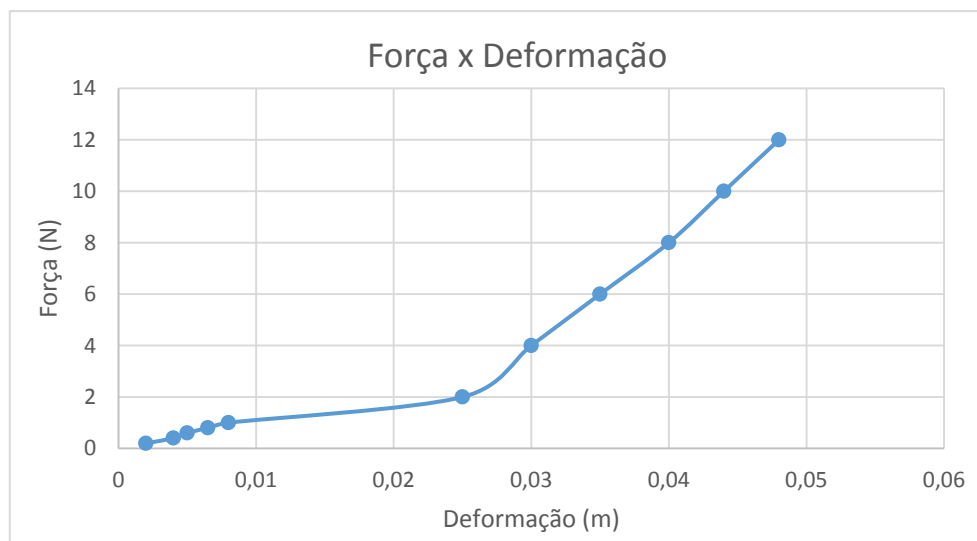


Figura 15 - Curva da constante elástica do elástico comum.

Tabela 3- Valor do coeficiente elástico do protótipo e do elástico nº 18.

Tipo do elástico	Amortecedor elástico do protótipo	Elástico nº 18
Constante elástica	K (N/m)	K (N/m)
Elástico amarelo 1	210	22
Elástico amarelo 2	180	20
Elástico amarelo 3	200	21
Elástico laranja	200	21
Elástico roxo	280	26
Elástico vermelho	200	21
Elástico verde	230	23

Sendo a constante do amortecedor elástico $k = 200\text{N/m}$, tem-se:

$$100 \cdot h_1^2 + 4,11h_1 - 0,052 = 0$$

Resolvendo esse polinômio de grau dois, obtém-se a altura de deformação do protótipo como $h_1 \cong 0,01\text{m}$.

Observando o resultado, pode-se afirmar que o uso de diferentes fabricantes de elástico não possui influência significativa. Por exemplo, para a configuração do protótipo com k sendo 280N/m , a deformação seria $h_1 \cong 0,0095\text{m}$.

A tabela 4 apresenta as massas e as alturas associadas a cada método, de forma a igualar a energia para o lançamento da esfera da distância de um metro de altura.

Tabela 4- Valores da massa e altura para um mesmo valor de energia.

Objeto de ensaio	Massa (kg)	Altura (m)	Energia (J)
Esfera	0,0053	1,000	0,052
Cabo de madeira	0,2107	0,025	0,052
Barra de aço	0,2161	0,025	0,052
Barra roscada	0,1544	0,034	0,052
Protótipo-barra móvel	0,4110	0,010	0,052

3.2.4 Obtenção do coeficiente de restituição

Foram analisados os coeficientes de restituição e pico de frequência com o objetivo de comparar os cinco métodos:

- Esfera metálica (figura 16a);
- Cabo de madeira (figura 16b);
- Barra de aço (figura 16c);
- Barra roscada (figura 16d);
- Protótipo (figura 16e).

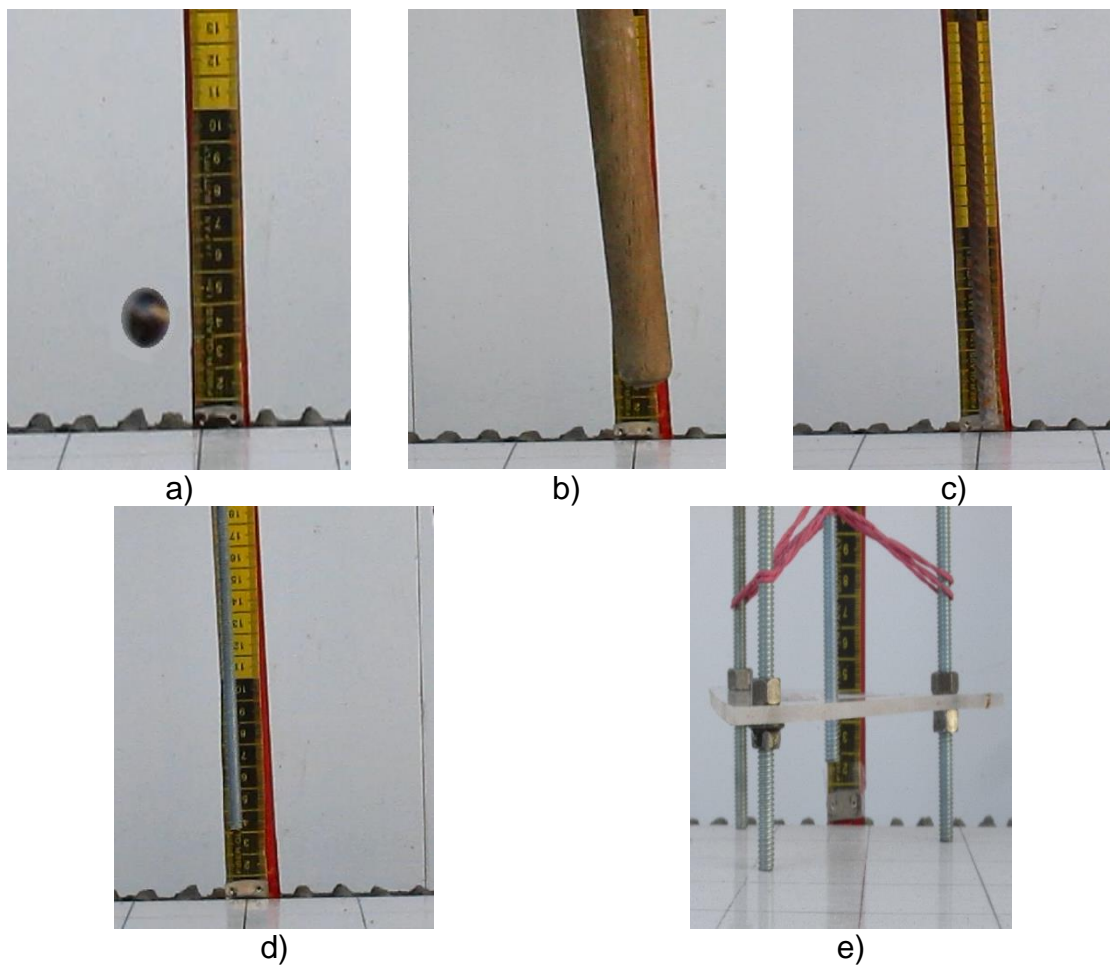


Figura 16 - Representação dos materiais em análise: a) esfera metálica b) cabo de madeira, c) b barra de aço, d) barra roscada e e) protótipo.

Liberando os objetos das alturas determinadas para a energia de patamar, obtiveram-se os coeficientes de restituição por meio da equação 10. Nesses

ensaios, para cada método e piso foram considerados dez lançamentos consecutivos válidos. Quando uma tentativa falhava, o valor era descartado e um novo lançamento era efetuado. Em seguida, calculou-se a média e o desvio padrão.

A figura 17 apresenta um esboço do arranjo experimental adaptado do trabalho de Horabik et al. (2017), Li, Zhang e Ge (2004) e da ISO 10545-5, equipada com duas câmeras de vídeo (câmera 1 e câmera 2), que foram utilizadas para a medição da altura de rebote h_2 e distância x' , respectivamente. O rebote da esfera, ao quicar na placa, é captado pela câmera 1. A câmera 2 é responsável pela captura da distância x' , que é o ponto do vértice de um movimento parabolóide típico, o qual ocorre ao quicar de uma esfera.

A câmera 3 capturou a altura de lançamento do cabo de madeira, da barra de aço, da barra roscada e protótipo.

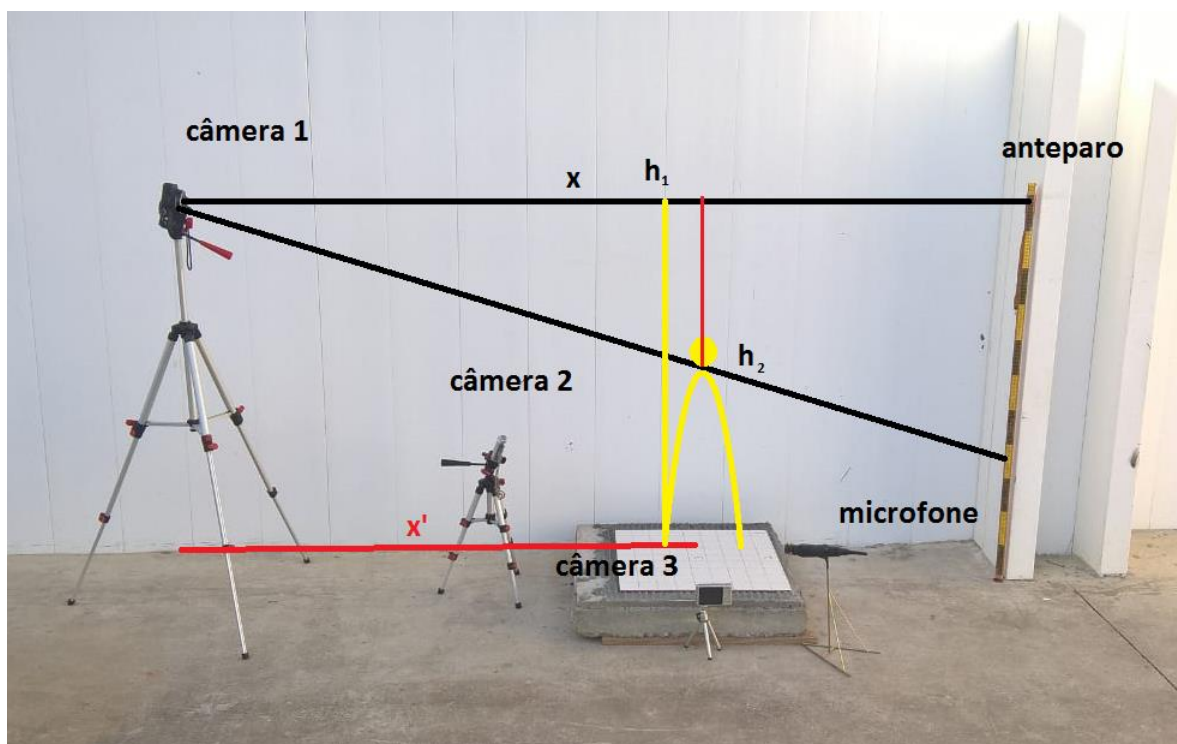


Figura 17 - Esquema mostrando o arranjo experimental.

Com a proporção entre X/h_1 e x'/h_2 é possível chegar à equação 12 e calcular o coeficiente de restituição.

$$\frac{h_1}{X} = \frac{h_2}{x'}$$

$$h_2 = \frac{h_1 \cdot x'}{X}$$

Equação 12

3.3 Captura do som

Para captar o som, utilizou-se um microfone dinâmico e um captador piezoelétrico de 35 mm. O primeiro foi instalado a uma distância fixa de 50 cm em diagonal do centro de cada placa em todos os ensaios. Já o captador piezoelétrico foi instalado no vértice da placa a 10cm (figura 18). Na ocorrência do impacto, um som audível é produzido. Em cada impacto, o programa Realtime Analyzer realizou a leitura das bandas de frequências dos sons.

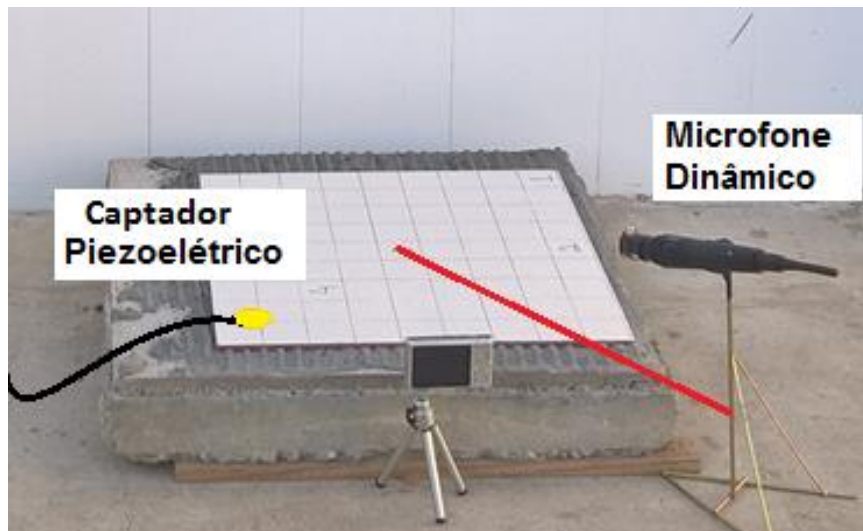


Figura 18 - Arranjo da localização do microfones dinâmico e captador piezoelétrico em relação ao bloco.

3.4 Construção, funcionamento e fundamentação teórica do protótipo

O protótipo elaborado apresenta fácil manuseio e sua estrutura (figura 19) apresenta um tripé que é apoiado sobre os revestimentos cerâmicos. Esse protótipo é constituído pelos seguintes componentes:

- Quatro barras roscadas de 1/4" x 1m feitas de aço carbono;
- Seis elásticos látex nº18;

- Dois suportes de acrílico⁶ na forma de triângulo equilátero vazado, com arestas externas de 17 cm e interna de 7 cm;

- Doze porcas sextavadas de ¼" feitas de aço carbono.

As três barras das extremidades são fixadas nos suportes de acrílico por meio das porcas que as mantêm imóveis. A barra roscada central é móvel e fica equilibrada por elásticos, permitindo apenas movimentos ascendentes e descendentes. Os elásticos têm a função de centralizar e sustentar a barra móvel, além de servirem de força restauradora nos movimentos ascendentes e descendentes.

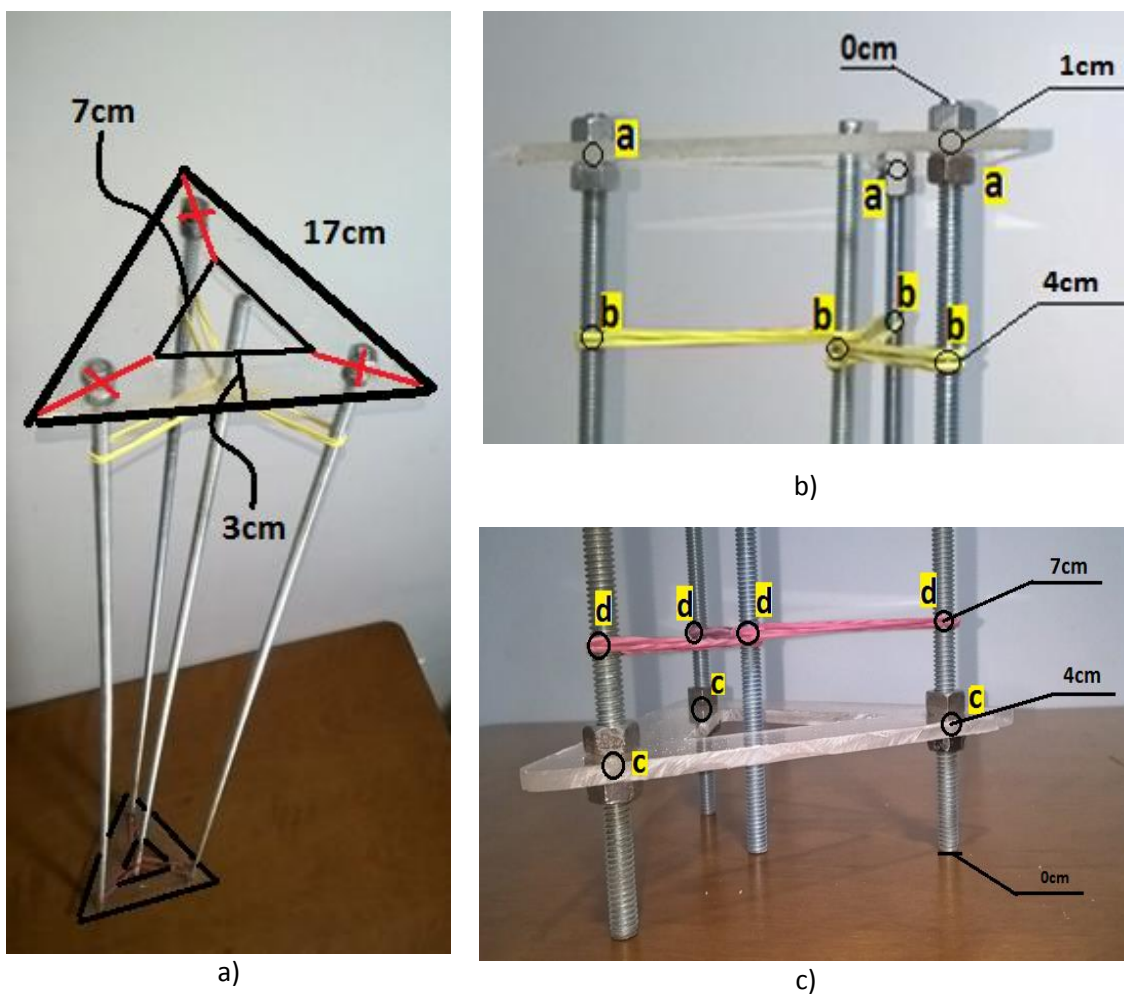


Figura 19 - Detalhes do protótipo: a) estrutura, b) medidas da parte superior e c) medidas da parte inferior.

A montagem da estrutura do protótipo ocorreu seguindo alguns passos. Primeiramente, houve a confecção de dois suportes em formato de triângulo equilátero vazado (figura 19a). Em seguida, furos medianos foram feitos entre os

⁶ O acrílico pode ser substituído por outro material rígido como a madeira.

vértices internos e externos do triângulo com 8 mm de diâmetro. Posteriormente, as três barras roscadas fixas foram inseridas com uma porca já na posição para facear internamente o suporte superior que ficará na localização “a” (figura 19b), ou seja, a 1cm da extremidade da barra.

Após esses procedimentos, efetuou-se a colocação das três porcas externas, sendo importante nesse momento fazer a regulagem apertando com as mãos. No passo seguinte, adicionou-se a barra móvel na posição mediana, bem como elásticos, que ligaram a barra fixa à barra móvel. Esses elásticos foram presos por duas voltas e regulados na posição “b” (figura 19b).

Com a finalidade de facilitar a montagem do suporte inferior, o protótipo foi virado e iniciaram-se as etapas finais, com a inserção das porcas internas, próximo à posição “c” (figura 19c). Em seguida, o elástico com duas voltas uniu as barras fixas à móvel na posição “d” (figura 19c) e posteriormente, ocorreram a colocação do suporte inferior e a inserção das últimas porcas.

O funcionamento do protótipo ocorre acionando os dois movimentos: o primeiro de suspensão pelo ato de pinçar dos dedos polegar e indicador (figura 20a) e o segundo, de liberação (figura 20b). Considere um sistema com uma barra vertical de massa m e tamanho l livre e em repouso, equilibrada por um amortecedor elásticos de constante elástica k , que se encontra apoiada em uma superfície horizontal rígida (figura 21a). Suponha que a barra sofra um deslocamento ascendente X_1 (figura 21b). Por consequência desse movimento, haverá um desequilíbrio no amortecedor elástico, visto que ao liberar a posição de deformação X_1 o amortecedor tentará se restabelecer, ou seja, voltar para a posição inicial 0 (figura 21c).

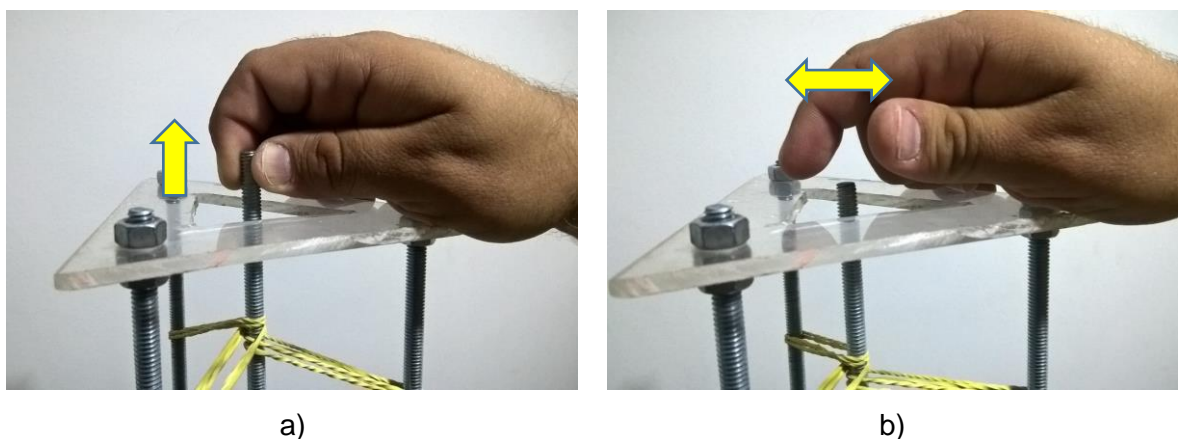


Figura 20 - (a) Movimento de suspensão da barra e (b) Movimento de liberação da barra.

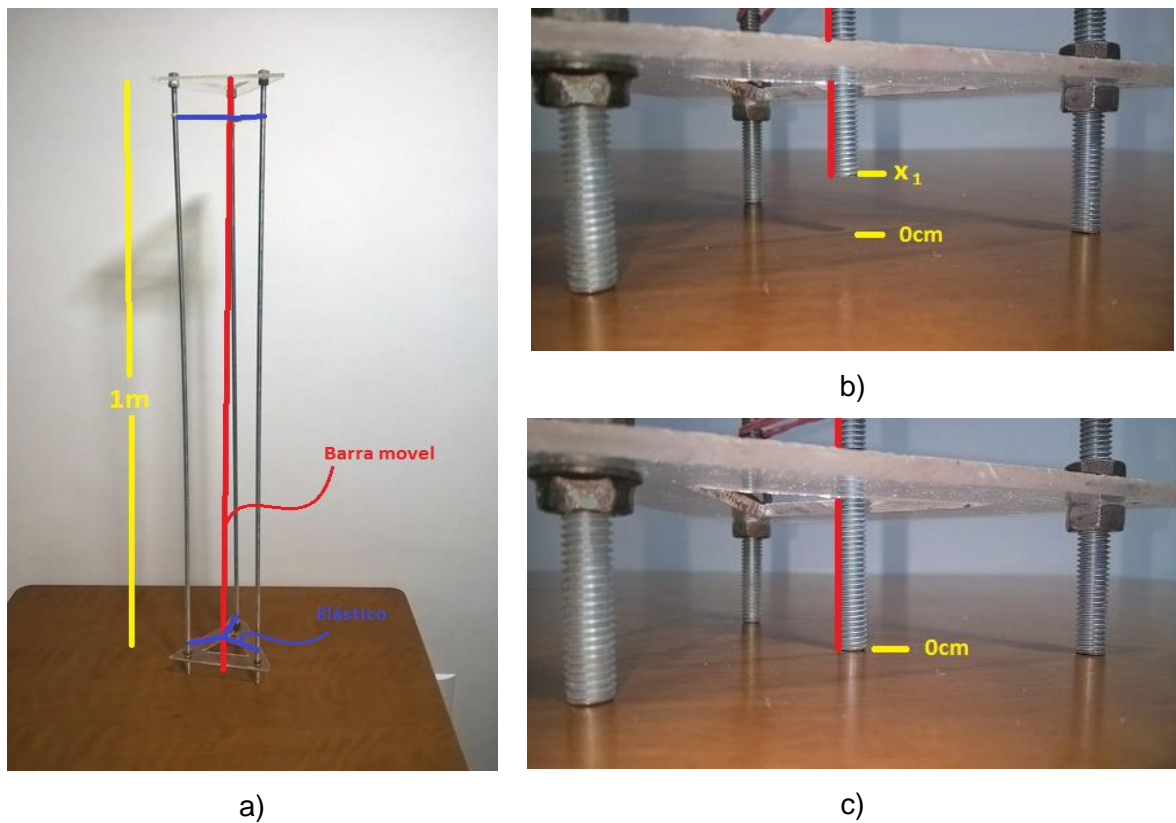


Figura 21 – (a) Protótipo apoiado em uma superfície, (b) modelo em deformação e (c) modelo em repouso.

Durante o processo de liberação, ou seja, na posição X_1 , ocorre a conversão da energia potencial gravitacional e elástica em cinética, até que ocorra o choque com a superfície horizontal. No decorrer do choque, atuará uma força impulsiva, que inverte o sentido do vetor velocidade e, por conseguinte, do momento linear da barra. Ulteriormente, ao iniciar um movimento ascendente, a energia cinética vai convertendo-se em energia potencial e se anula quando a partícula alcança uma posição um pouco menor do que a altura de onde foi solta. A barra não retornará à posição inicial de deformação, visto que parte da energia é dissipada.

A dissipação de energia deve-se a ondas de choque e a perda térmica associada ao impacto dos dois corpos (NIKNAMI; SHARIYAT, 2016). Pelo modelo genérico de impacto elástico de Hertz (MCLASKEY; GLASER, 2010), quando uma barra rígida se choca com o piso, o impacto gerado produz ondas de choques na região da colisão. A propagação das ondas de choque irradia-se no material a partir do contato. Ao encontrar uma superfície livre ou outro material de

impedância de choque de valor diferente, a onda de compressão gerada pelo impacto reflete como uma onda trativa.

4. APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Comparativo dos métodos: coeficiente de restituição

Os resultados da média aritmética dos coeficientes de restituição encontrados utilizando todos os métodos estão apresentados nas tabelas 5 e 6, para placas assentadas sem patologia e com patologia, respectivamente. O apêndice I apresenta os resultados dos coeficientes de restituição de todos os ensaios.

Tabela 5 - Representação dos coeficientes de restituição referente a uma energia de patamar pré-estabelecida para os pisos sem patologia.

Média do coeficiente de restituição	Cabo de madeira	Barra de aço	Barra roscada	Esfera	Protótipo
P1s	0,40	0,44	0,43	0,68	0,46
P2s	0,42	0,47	0,46	0,65	0,47
P3s	0,50	0,55	0,56	0,79	0,60
P4s	0,45	0,50	0,51	0,72	0,50
P5s	0,39	0,43	0,44	0,65	0,43
P6s	0,38	0,44	0,45	0,67	0,44

Tabela 6 - Representação dos coeficientes de restituição referente a uma energia de patamar pré-estabelecida para os pisos com patologia.

Média do coeficiente de restituição	Cabo de madeira	Barra de aço	Barra roscada	Esfera	Protótipo
P1c	0,25	0,30	0,31	0,50	0,33
P2c	0,27	0,31	0,32	0,51	0,37
P3c	0,40	0,43	0,45	0,65	0,43
P4c	0,31	0,35	0,36	0,57	0,38
P5c	0,26	0,29	0,30	0,51	0,27
P6c	0,26	0,30	0,31	0,52	0,31

Na análise de dados das tabelas 5 e 6 em todos os ensaios, comprovou-se que os pisos com patologia apresentam menores coeficientes de restituição em relação aos pisos sem patologia, pois ao impactar objetos, as ondas de choque

sofrem dispersão. Dessa forma, a energia é dissipada no choque, sendo convertida em energia sonora e térmica.

Observando-se os resultados de coeficientes de restituição da tabela 5, percebe-se que a P3s é a que possui o maior coeficiente de restituição em todos os ensaios. Tal fato pode ser explicado devido à natureza do material, um porcelanato com baixa porosidade e maior espessura, confirmando o trabalho de Mueller et al. (2015), o qual afirma que a porosidade das peças aumenta a dissipação de energia devido a um amortecimento ligeiramente maior.

Comparando a P1s e a P4s, verifica-se que a espessura do piso influencia no coeficiente de restituição. Esses dois pisos possuem características similares, mudando somente a espessura, certificando os trabalhos de Farin et al. (2016), Mueller et al. (2015) e Dondi et al. (2016), os quais afirmam que com o aumento da espessura, maior será a resposta ao choque e, conseqüentemente, maior o coeficiente de restituição.

Comparando P5s e P6s, constata-se que o grupo de absorção influenciou no coeficiente de restituição, confirmando o trabalho de Mueller et al. (2015).

Comparando P1s e P2s, nota-se que o piso antiderrapante influenciou no coeficiente de restituição, diminuindo para a esfera e aumentando para as barras. A explicação para esse fato é a superfície de impacto. O trabalho de Adams et al. (2000) conclui que pisos antiderrapantes possuem saliências que diminuem a superfície de contato. Já nos pisos lisos há um aumento da área de contato. Não obstante, no caso da esfera, ocorre o contrário: as irregularidades aumentam a área de superfície.

4.2 Comparativo dos métodos: análise do som

O microfone dinâmico e o captador piezoelétrico, captaram os sons durante os testes de percussão, nos pisos sem e com patologia e o software Realtime Analyzer registrou e produziu gráficos. Inicialmente, houve demarcação de pontos em todas as placas com a finalidade de reproduzir a ocorrência dos choques nos mesmos lugares.

Os gráficos apontam a relação entre tempo, amplitude, frequência e pressão sonora⁷. O canal esquerdo (Lch) - na parte superior dos gráficos- é a representação do espectro do som captado pelo microfone dinâmico, já o canal direito (Rch) - na parte inferior dos gráficos - reproduz o captador piezoelétrico. Nesse capítulo, apresentaremos os resultados referentes a placa do modelo 3 sem patologia (P3s) e com patologia (P3c).

Comparando o gráfico amplitude x tempo da figuras 22a e 22b do som gerado ao percutir a esfera com a P3s e P3c, percebe-se impulsos em ambas as figuras, esses impulsos representam o impacto da esfera na cerâmica. Na P3s (figura 22a), verifica-se uma sequência de impulso de longa duração praticamente de mesma amplitude diminuindo o periodo no decorrer do tempo, já na P3c (figura 22b) há uma grande amplitude nos primeiros impactos e uma diminuição abrupta nos impactos seguintes, em um curto intervalo de tempo.

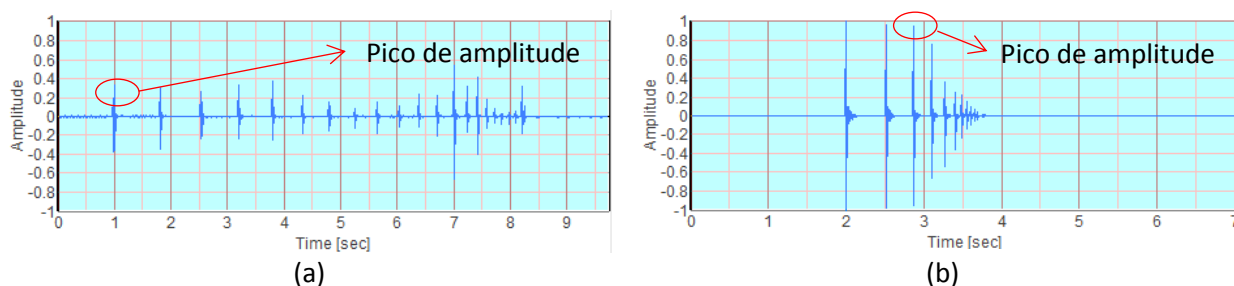


Figura 22– Amplitude do impacto utilizando o método da esfera na (a) P3s e (b) P3c.

Os gráficos das figuras 23a e 23b, mostram o espectro de frequência acumulado em um curto intervalo de tempo do impacto da esfera com a P3s e P3c. Confrontando os gráficos das placas nota-se uma representatividade entre os intervalos de média e alta frequência nos dois canais. Ao relacionar a P3s com a P3c, percebe-se na placa com patologia (P3c) um aumento da amplitude nessas faixas e um deslocamento para a esquerda em direção do grave no Lch, já o Rch apresenta diminuição da amplitude de frequência comparando-o com a P3s.

⁷ Nos gráficos, o grau de potência da onda sonora é representado por SPL (Sound Pressure Level).

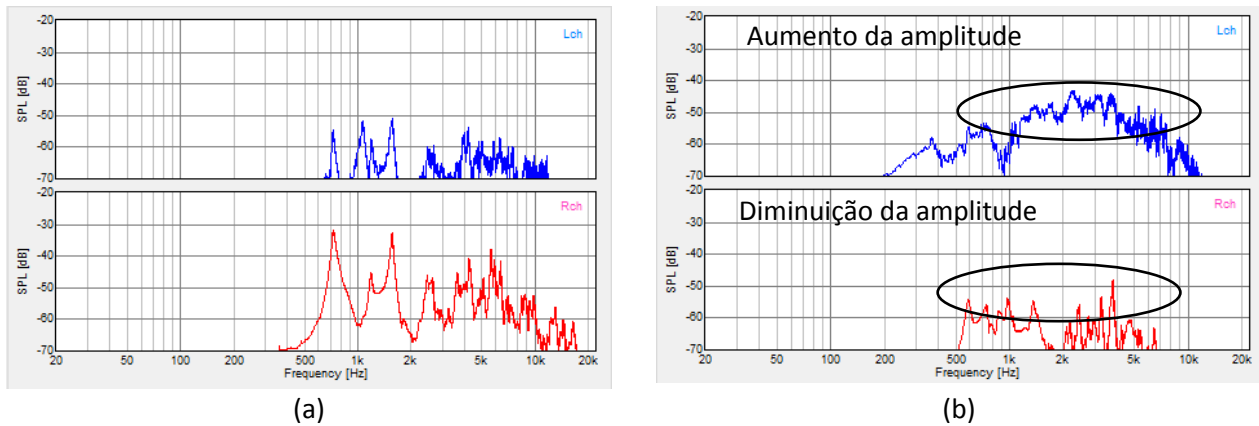
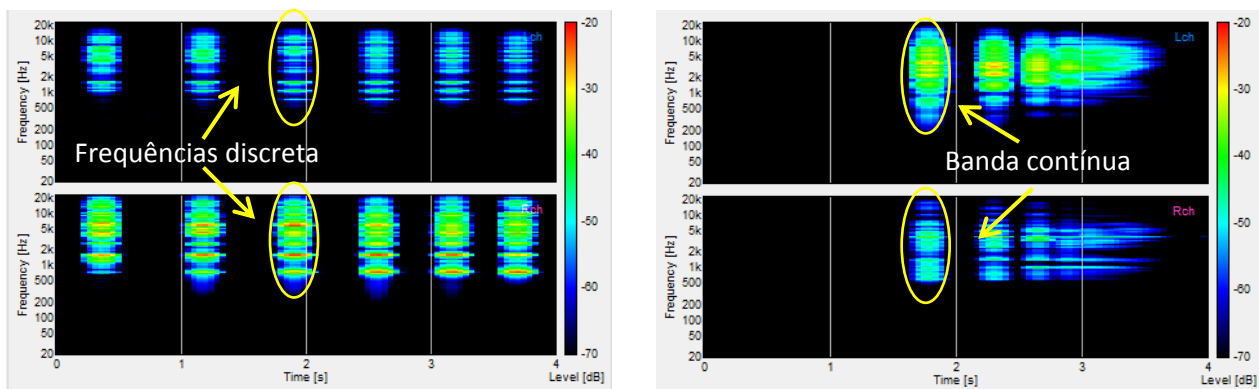


Figura 23- Densidade espectral do impacto utilizando o método da esfera em (a) P3s e (b) P3c.

As figuras 24a e 24b representam o espectrograma no tempo do impacto consecutivo da esfera na P3s e P3c, respectivamente. É possível notar linhas de definição dos picos de frequências na P3s caracterizado por seu aspecto discreto ou descontínuo⁸, ou seja, com espaçamento entre as cores, que se denomina no espectrograma como raias ou bandas. Já a P3c apresenta um caráter contínuo⁹, pois a passagem de uma cor para a outra é praticamente imperceptível.

Outra observação é a relação inversa existente nos canais esquerdo (Lch) e direito (Rch) em vista da amplitude de frequência captada. Na figura 24a - placa sem patologia - o Rch possui maiores amplitude de frequência do que o Lch, já na figura 24b – placa com patologia - acontece o inverso. Essa característica se repete em todos os ensaios.

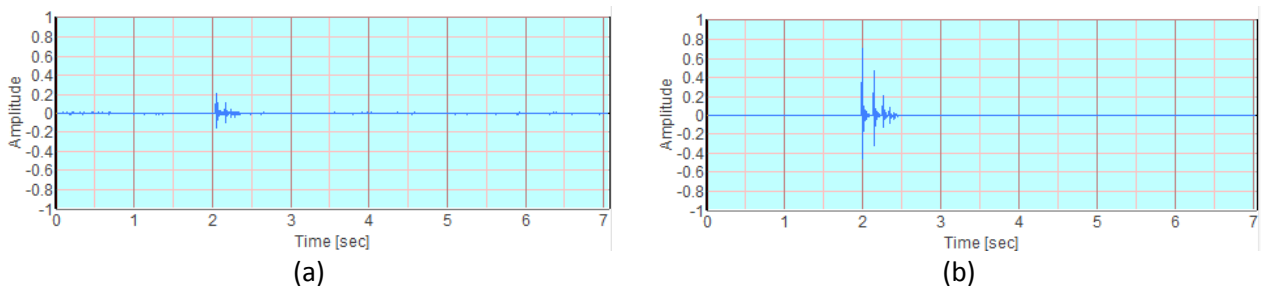


⁸A descontinuidade desse espectrograma é devido a presença de picos mais definidos identificada pelo corte da amplitude da frequência representada pela pressão sonora (-70dB).

⁹Produção de energia de quase todas as faixas de frequência.

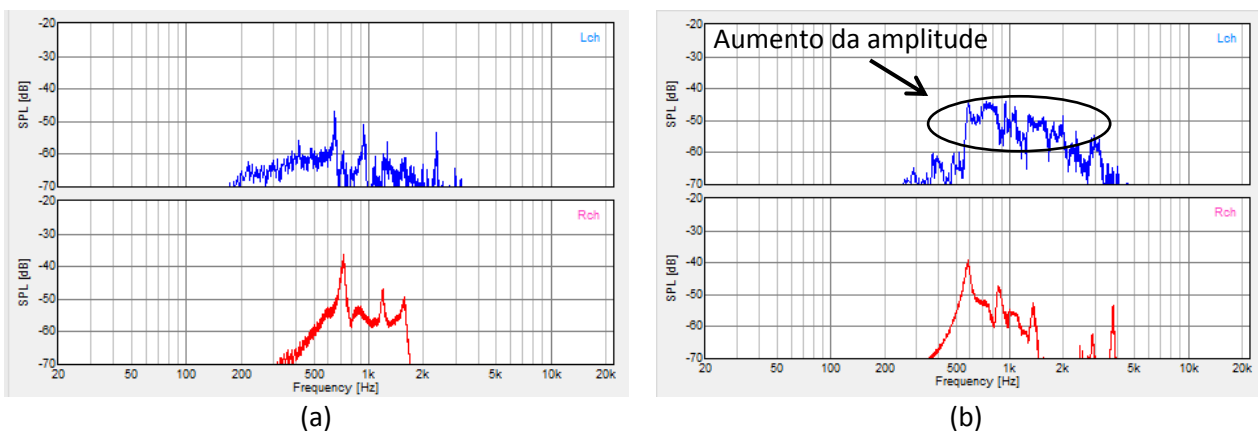
(a) (b)
 Figura 24- Espectrograma do impacto utilizando o método da esfera na placa (a) P3s e (b) P3c.

Observando os gráficos tempo x amplitude das figuras 25a e 25b gerados ao impactar o cabo de madeira com a P3s e P3c, é possível perceber picos de amplitude em ambas as figuras praticamente de mesma duração. Na P3s (figura 25a) a amplitude é menor, já na P3c (figura 25b) os picos são maiores e diminui rapidamente, em um curto intervalo de tempo.



(a) (b)
 Figura 25– Amplitude utilizando o método do cabo de madeira na (a) P3s e (b) P3c.

Os gráficos das figuras 26a e 26b relacionam a densidade espectral ao percutir o cabo de madeira com a P3s e P3c, respectivamente. Comparando os gráficos das placas nota-se uma representatividade entre os intervalos de média frequência nos dois canais. Ao relacionar a P3s com a P3c, é possível perceber que os resultados são bem parecidos, a maior diferença encontrada foi o aumento da amplitude na P3c. Nesse ensaio, não foi possível diferenciar o som do impacto pelo timbre.



(a) (b)
 Figura 26- Densidade espectral utilizando o método do cabo de madeira na (a) P3s e (b) P3c.

As figuras 27a e 27b demonstram o espectrograma no tempo do impacto consecutivo do cabo de madeira na P3s e P3c. Na placa sem patologia (figura 27a) repara-se frequência discreta no Lch e contínua no Rch, já na placa com patologia (figura 27b) todos os dois canais apresentam frequência contínua.

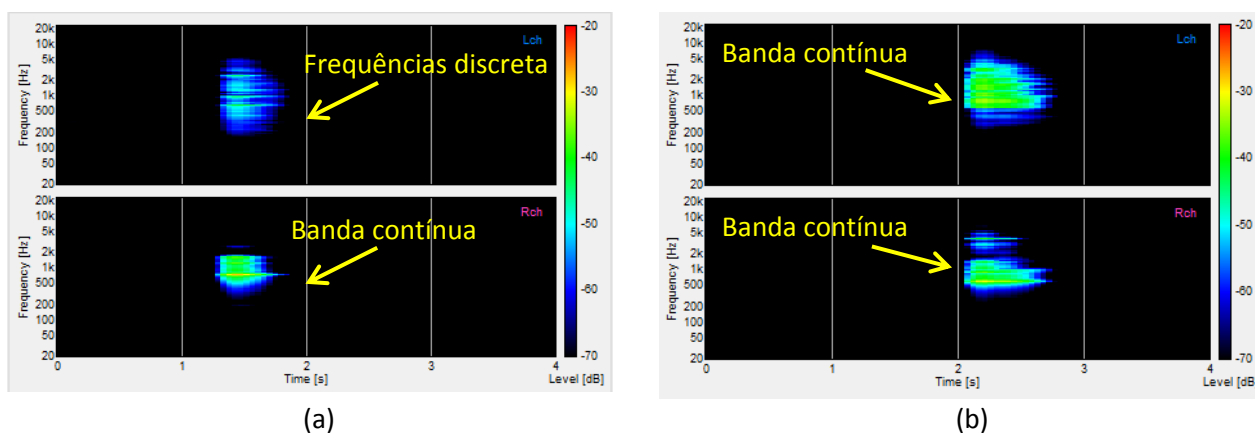


Figura 27- Espectrograma utilizando o método do cabo de madeira na (a)P3s e (b) P3c.

Relacionando os gráficos das figuras 28a e 28b gerados ao percutir uma barra de aço com a P3s e P3c, é possível notar que na P3s (figura 28a) existe uma faixa de picos cruzados¹⁰ de longa duração de amplitude diminuindo em uma taxa constante no tempo. Já na P3c (figura 28b) verifica-se que nos primeiros impactos resultam em grandes amplitudes e uma diminuição repentina nos impactos seguintes, em um curto intervalo de tempo.

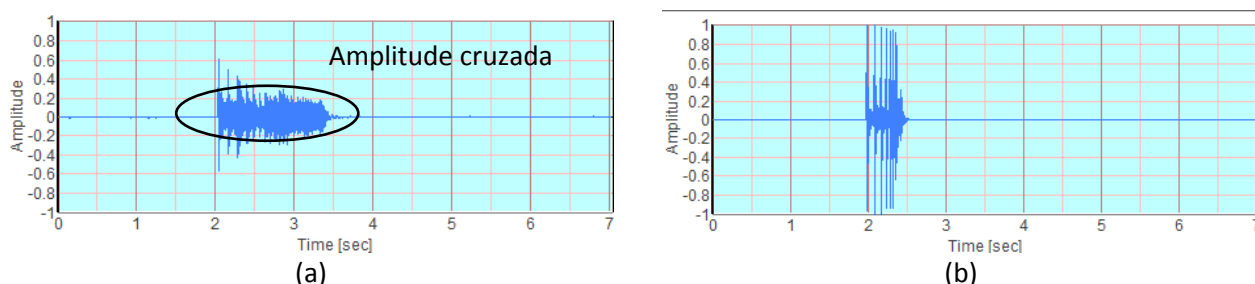
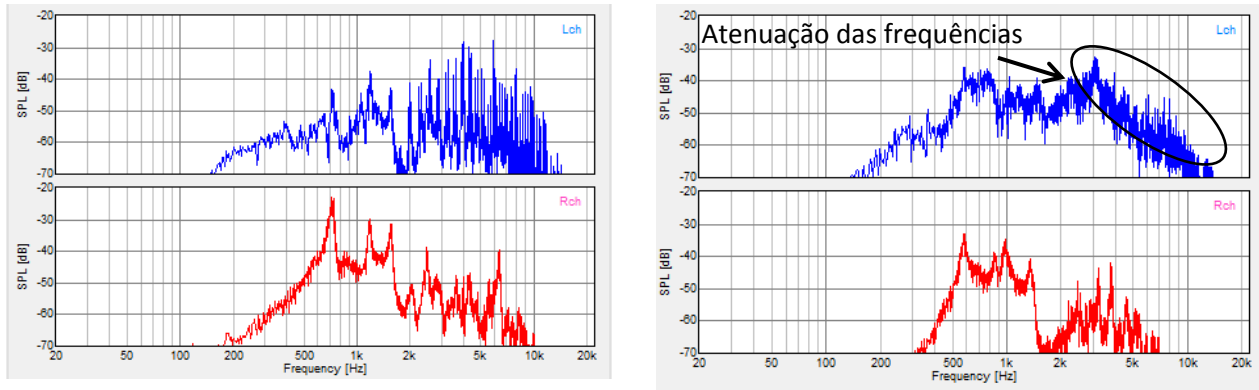


Figura 28– Amplitude utilizando o método da barra de aço na (a) P3s e (b) P3c.

Tendo em vista a densidade espectral do impacto da barra de aço com a P3s e P3c, respectivamente figura 29a e 29b, nota-se uma representatividade

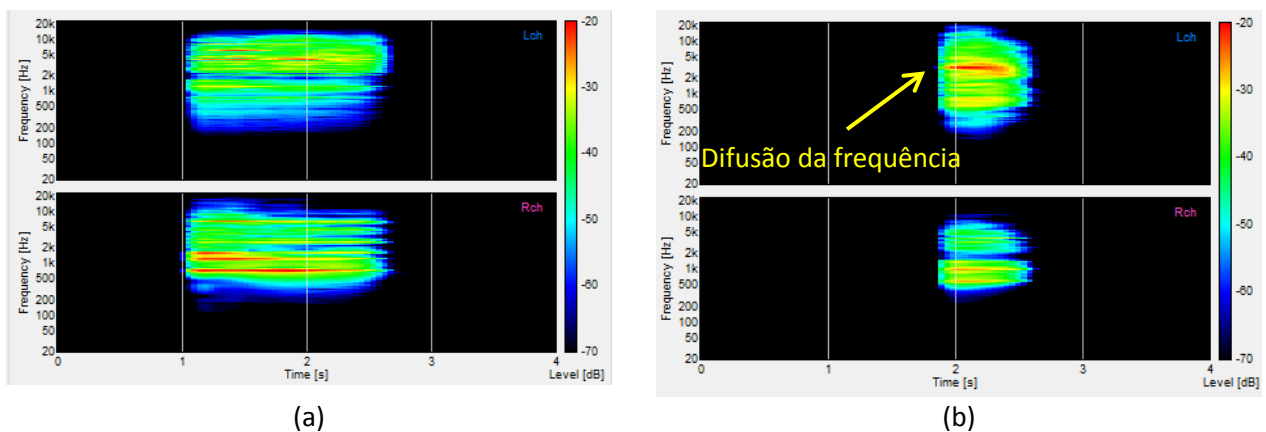
¹⁰ A amplitude da figura 28a é a junção das amplitudes dos canais esquerdo e direito. Nesse ensaio os picos não coincidiram, por isso o cruzamento de amplitude.

entre os intervalos de média e alta frequência nos dois canais. Comparando a P3s com a P3c percebe-se na placa com patologia, que o Lch mantém a amplitude na faixa dos médios e atenua a amplitude nos agudos, caracterizando dessa forma uma tendência dos picos de frequência deslocar-se para a esquerda em direção do grave. Já no Rch dessa mesma placa, houve diminuição da amplitude.



(a) (b)
 Figura 29- Densidade espectral utilizando o método da barra de aço na (a)P3s e (b) P3c.

Analisando o espectrograma do impacto da barra de aço na P3s e P3c, respectivamente figura 30a e 30b, é possível destacar definições dos picos de frequências na P3s durante todos os impactos, porém na P3c o gráfico apresenta um caráter difuso, pois durante o impacto há mudança no domínio da amplitude de frequência.



(a) (b)
 Figura 30- Espectrograma utilizando o método da barra de aço na (a)P3s e (b) P3c.

Verificando os gráficos produzidos ao percutir a barra roscada com a P3s e P3c, nota-se que na P3s (figura 31a) há uma faixa de picos de amplitude

cruzados de longa duração praticamente de mesma amplitude, já na P3c (figura 31b) há uma grande amplitude nos primeiros impactos e uma diminuição abrupta nos impactos seguintes, em um curto intervalo de tempo.

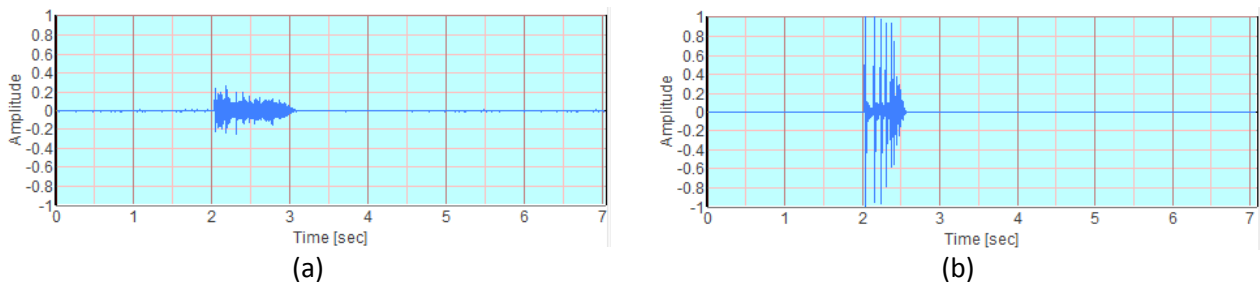


Figura 31– Amplitude utilizando o método da barra roscada na (a)P3s e (b) P3c.

Os gráficos de densidade espectral do choque entre a barra roscada contra a P3s e P3c, são representados respectivamente pelas figuras 32a e 32b. Equiparando os gráficos das placas nota-se uma representatividade entre os intervalos de média e alta frequência nos dois canais. Percebe-se na placa sem patologia (P3s) que, no Lch, em determinadas frequências há produção de energia e em outras não, fazendo com que algumas frequências possuam grandes amplitudes, evidenciando um aspecto discreto nessas bandas, porém o Lch da P3c possui um aspecto contínuo.

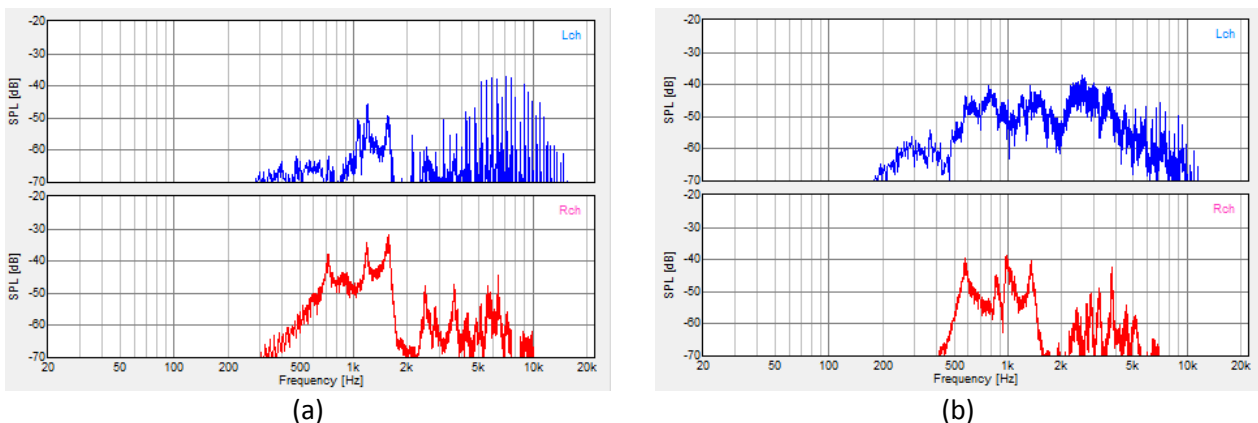


Figura 32- Densidade espectral utilizando o método da barra roscada na (a)P3s e (b) P3c.

As figuras 33a e 33b ilustram o espectrograma do impacto consecutivo da barra roscada com a P3s e P3c respectivamente. A P3s apresenta frequência

discreta em ambos os canais, já a P3c apresenta banda contínua e difusa, durante os impactos.

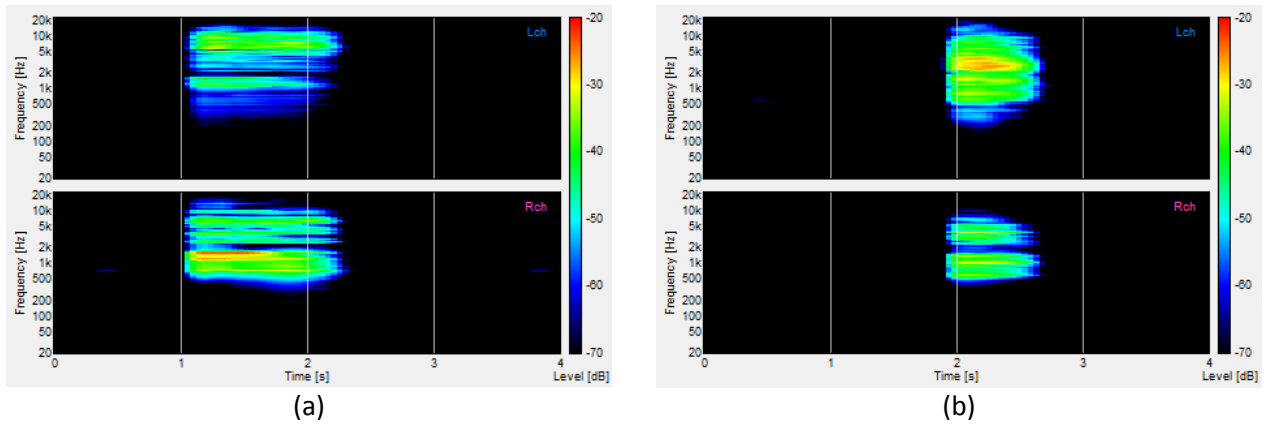


Figura 33- Espectrograma utilizando o método da barra roscada na (a)P3s e (b) P3c.

Comparando os gráficos tempo x amplitude nas figuras 34a e 34b gerados ao percutir a barra móvel do protótipo com a P3s e P3c, percebe-se picos de amplitude em ambas figuras, esses picos representam o impacto do percussor do protótipo nas placas. Na P3s (figura 34a) há uma faixa de impulso de longa duração diminuindo a amplitude no decorrer do tempo a uma taxa constante, já na P3c (figura 34b) há uma grande amplitude nos primeiros impactos e uma diminuição brusca nos impactos seguintes, em um curto intervalo de tempo.

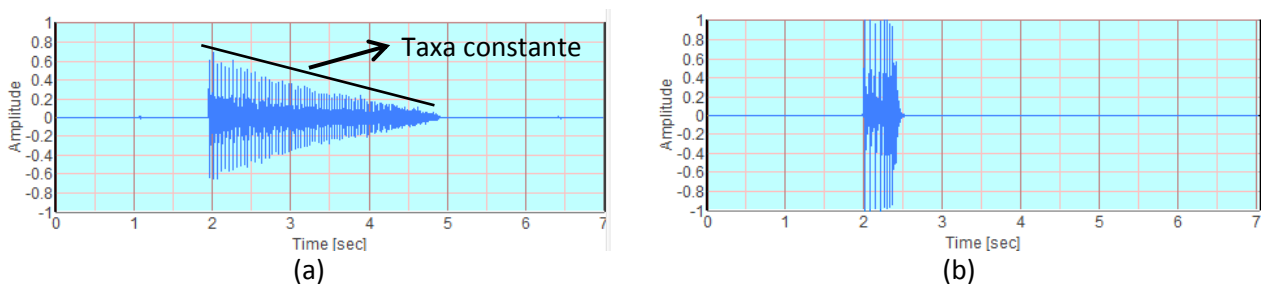


Figura 34– Amplitude utilizando protótipo na (a)P3s e (b)P3c.

Os gráficos das figuras 35a e 35b, relacionam a densidade espectral do impacto da barra móvel do protótipo com a P3s e P3c. Confrontando os gráficos das placas nota-se uma representatividade entre os intervalos de média e alta frequência nos dois canais. Percebe-se na placa sem patologia, P3s, bandas com frequência bem definidas na faixa dos agudos no Lch e picos com grandes amplitudes no Rch. Já na P3c, há um aumento da amplitude na faixa da média

frequência e difusão da frequência nos agudos no Lch. O Rch diminuiu a amplitude, mas os picos de frequência foram mantidos.

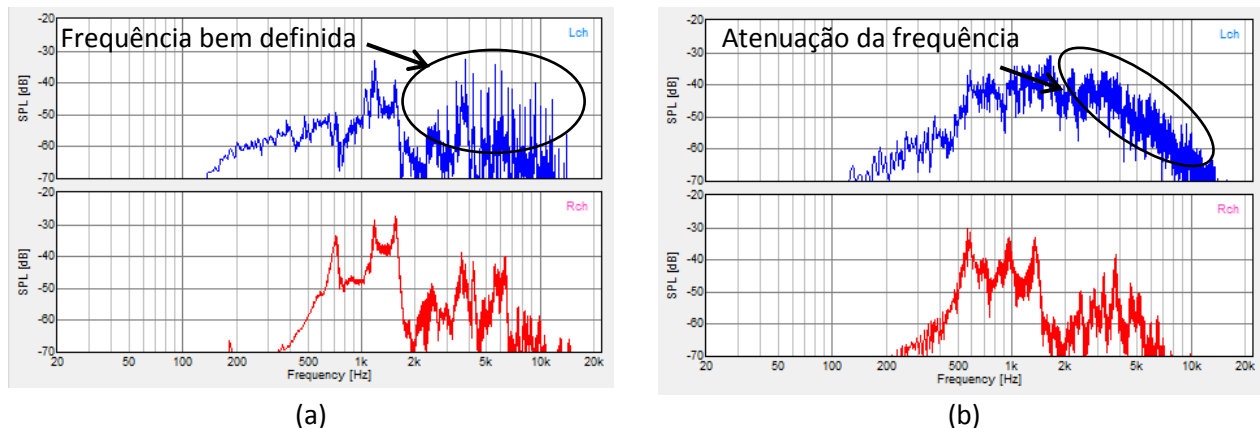


Figura 35- Densidade espectral utilizando o protótipo na (a)P3s e (b) P3c.

O espectrograma do impacto do percussor protótipo na P3s e P3c é representado respectivamente pela figura 36a e 36b. Observa-se picos definidos de frequência na P3s caracterizados por seu aspecto discreto durante todos os impactos, já a P3c apresenta um aspecto contínuo e com mudança de domínio da amplitude de frequência durante os impactos.

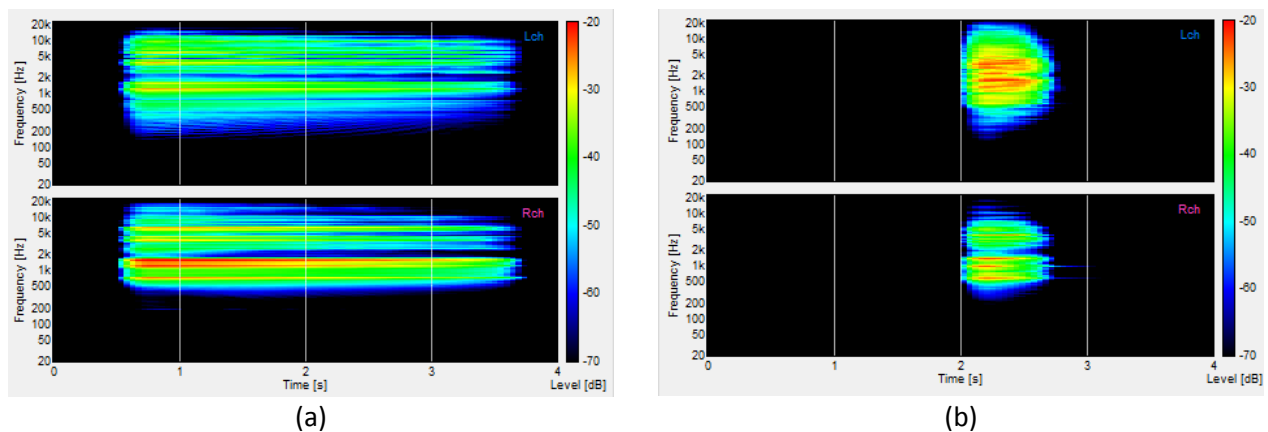


Figura 36- Espectrograma utilizando protótipo na (a)P3s e (b) P3c.

Com base nos resultados da análise do som, algumas considerações são apresentadas:

A esfera é de difícil manuseio, pois após o rebote, frequentemente, ela sai das proximidades das placas.

Verifica-se que o cabo de madeira produz um espectro com menor faixa de frequência entre os métodos em pisos com e sem patologia, visto que ao impactar

com um material rígido, rapidamente a madeira passou do regime elástico para o plástico, ocorrendo o amortecimento.

Em todos os métodos, a amplitude do som captado com o microfone dinâmico era maior nos pisos com patologia e nos pisos sem patologia, o captador piezoelétrico foi o que demonstrou maiores amplitudes, esse fato pode ser explicado pela energia dissipada no choque, como no piso sem patologia há uma maior conservação de energia o captador piezoelétrico irá captar as ondas de choque, já o piso com patologia por possuir grande perda de energia será convertida em energia acústica, ou seja, o som sempre terá maiores amplitudes nesses choques.

Constatou-se que, ao impactar um mesmo objeto com um piso sem patologia e outro com patologia, o piso com a anomalia apresentará picos de frequências deslocadas para a esquerda em direção do grave.

Os pisos sem patologia sempre apresentaram baixa amplitude em um longo período de tempo a uma taxa constante, já os pisos com patologia apresentaram maiores amplitudes em um curto intervalo de tempo.

Em relação ao manuseio do cabo de madeira e das barras, percebe-se a dificuldade em mantê-las verticalmente, porque após o primeiro impacto havia a tendência de rotação. O operador deve ter cuidado para não interagir com os objetos durante os movimentos ascendentes e descendentes dos objetos. Por várias ocasiões foi necessário repetir os ensaios, por conta dessa interferência.

A estrutura do tripé do protótipo permite que este se mantivesse apoiado sobre os pisos cerâmicos durante os ensaios.

O protótipo necessitou somente de um movimento de deformação, uma vez que ao liberar a barra móvel, o amortecedor elástico permite seu próprio movimento.

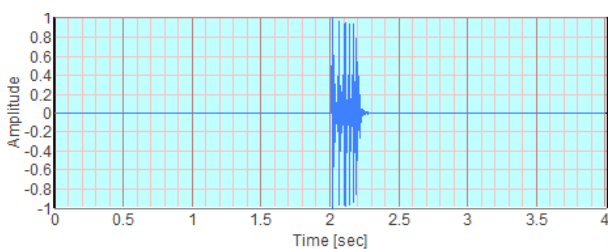
Os gráficos da utilização do protótipo foram os melhores, em que os picos de frequência foram similares em todos os rebotes e o intervalo de tempo entre um e outro era menor, proporcionando uma percepção de som contínuo ao impactar com o piso sem patologia. Já no piso que apresentava patologia ocorreu uma leve variação do domínio da amplitude no tempo, possibilitando uma percepção diferenciada.

De posse dos resultados, observa-se que o protótipo é eficiente na detecção da patologia estudada, apresentando vantagens em relação ao manuseio e à percepção da resposta cinética e acústica.

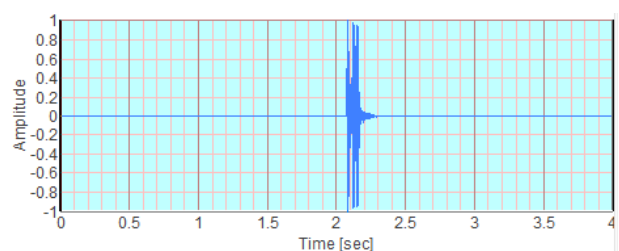
4.3 Análise do protótipo nos primeiros instantes

Foram realizados ensaios com o objetivo de comparar se o protótipo era capaz de detectar a patologia de maneira preventiva e como se comportaria as placas com o decorrer da cura da camada de fixação. Dessa forma, foram realizados simultaneamente dois assentamentos com os mesmos critérios adotados nos ensaios anteriores, porém a diferença é que foi utilizado apenas o protótipo e a camada de fixação estava no início da pega. Para esse experimento foi escolhido a placa do tipo 4, o tempo estipulado para execução desse ensaio foi de 45 minutos, 4 horas, 16 horas, 24 horas, 40 horas e 50 horas

As figuras 37a e 37b representam a amplitude no tempo da P4s e P4c, respectivamente. É possível notar nos primeiros 45 minutos do assentamento que a placa sem patologia demonstra uma característica diferenciada da placa com patologia. A P4s ao ser impactado pela barra móvel do protótipo manteve uma sucessão de impactos durante um intervalo, já na P4c rapidamente cessou os impactos, e foi possível evidenciar pelo timbre o som cavo, característico da patologia em seu estado final, ou seja, quando o piso já está solto do substrato.



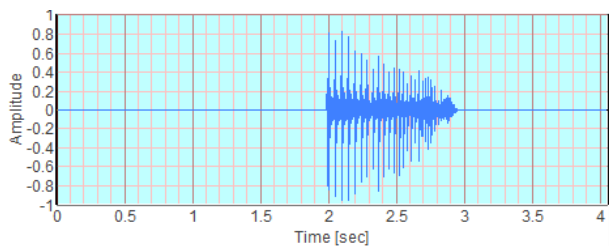
(a)



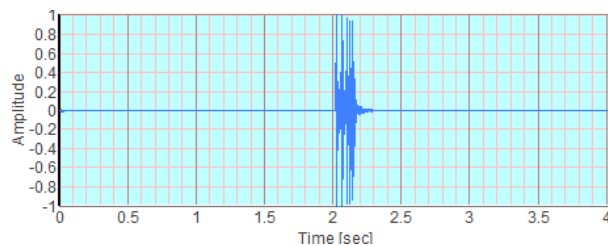
(b) amplitude após 45 minutos

Figura 37- Amplitude após 45 minutos do assentamento na (a)P4s e (b)P4c.

Após 4 horas do assentamento, a amplitude da placa sem patologia (figura 38a) foi se distribuindo no tempo, já a com patologia (figura 38b) variou-se no tempo minimamente.



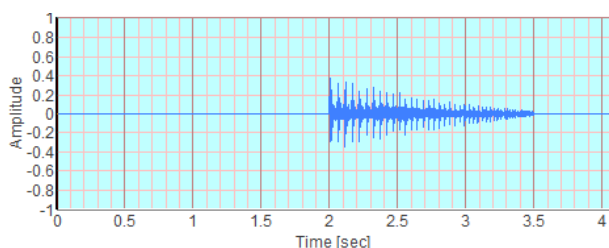
(a)



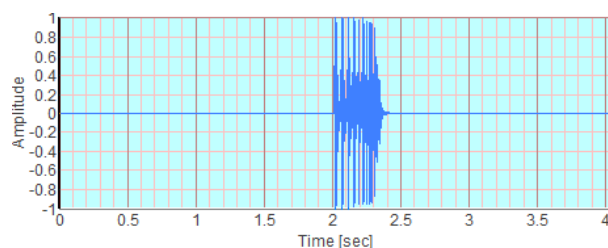
(b)

Figura 38- Amplitude após 4 horas do assentamento na (a)P4s e (b)P4c.

Decorrido 16 horas do assentamento inicial, tanto as placas sem patologia (figura 39a) e com patologia (figura 38b) obtiveram o aumento do tempo no gráfico, dobrado em comparação ao ensaio anterior.



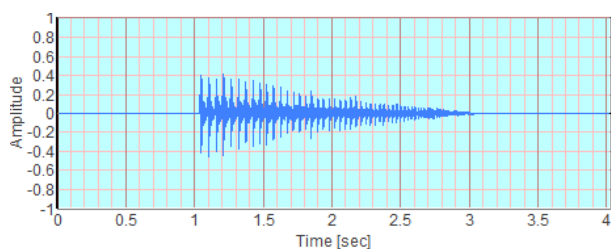
(a)



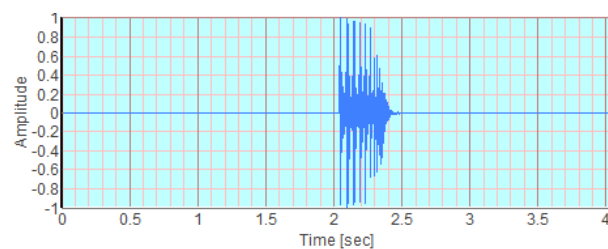
(b)

Figura 39- Amplitude após 16 horas do assentamento na (a)P4s e (b)P4c.

Após o fim de 24 horas do assentamento inicial, a P4s (figura 40a) aumentou o tempo do gráfico, mas para a P4c (figura40b) esse aumento ficou inalterado.



(a)

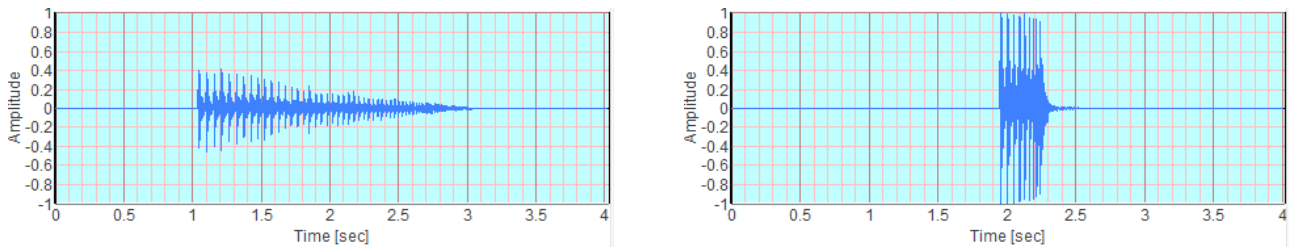


(b)

Figura 40 - Amplitude após 24 horas do assentamento na (a)P4s e (b)P4c.

No decorrer de 40 horas do assentamento inicial, tanto a P4s e P4c, respectivamente figura 41a e 41b, não mostraram mudanças em relação à medida anterior. Foram realizadas medidas com 50h, mas não evidenciaram

mudanças. No apêndice III estão todas as medidas, inclusive os gráficos de densidade espectral e espectrograma de cada um dos ensaios.



(a)

(b)

Figura 41- Amplitude após 40 horas do assentamento na (a)P4s e (b)P4c.

Diante da análise dos dados e das observações vistas in loco percebe-se que a detecção da patologia nos primeiros minutos pode ser confirmada pelo protótipo, demonstrando que o protótipo é útil a uma adequada estratégia preventiva não destrutiva em revestimentos cerâmicos. Dessa forma, o protótipo pode contribuir para diminuir defeitos e falhas construtivas, de forma a garantir a estabilidade e a durabilidade do sistema de revestimentos cerâmicos e racionalizando as manutenções, nas idades iniciais ou após a secagem da camada de fixação.

5 Conclusões

5.1. Conclusão geral

Este trabalho propôs o desenvolvimento e a experimentação de um protótipo para verificar a patologia relacionada a perda de aderência. O protótipo é um instrumento de baixo custo, de fácil reprodução e manipulação, e foi baseado em uma metodologia não destrutiva que produz um som cavo após impacto de pequena intensidade no piso cerâmico mal assentado.

Para análise dos sons produzidos utilizou-se o software Realtime Analyzer. Não se teve por objetivo quantificar a energia sonora produzida, mas sim analisar o timbre obtido durante os impactos. A análise espectral e temporal mostra que a resposta acústica do protótipo foi melhor em relação aos outros quatro métodos não normatizados: esfera, cabo de madeira, barra de aço e barra roscada. Ao impactar o percussor protótipo com o piso mal assentado obteve-se como resposta um som audível com variação no domínio da frequência em um curto período de tempo, possibilitando uma distinção entre pisos com ou sem patologia.

Entre algumas dificuldades encontradas no desenvolvimento do trabalho, destacam-se o emprego dos outros quatro métodos e poucos trabalhos envolvendo detecção de patologia de assentamento de pisos com uma metodologia similar à que foi proposta.

Após a realização dos ensaios, comprovou-se que o uso do protótipo é viável para a detecção de patologia de assentamento das placas cerâmicas, revelando ser uma estratégia preventiva e não destrutiva, podendo ser facilmente utilizado durante a inspeção e verificação de conformidades.

5.2. Sugestão para estudos futuros

Pretende-se, em trabalhos futuros, fazer a experimentação do protótipo em pisos diferentes dos seis realizados nesse trabalho, além de testar em revestimento de parede, uma vez que os resultados foram bem positivos para pisos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, G. G.; NOSONOVSKY, M. Contact modeling—forces. **Tribology International**, v. 33, n. 5, p. 431-442, 2000.

ALMEIDA, L. L. Patologias em revestimento cerâmico de fachada. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Belo Horizonte, 2012.

ANGELONI, M. Determinação da transição do comportamento dúctil-frágil do aço fundido g17crmov5-10. **Revista Academus**, v. 2, n. 1, 2014.

ARYAEI, A.; HASHEMNIA, K.; JAFARPUR, K. Experimental and numerical study of ball size effect on restitution coefficient in low velocity impacts. **International Journal of Impact Engineering**, v. 37, n. 10, p. 1037-1044, 2010.

ASSAGRA, Y. A. O. **Novas metodologias para a fabricação de piezoeletretos termo-formados**. Tese (Doutorado em Sistemas Elétricos de Potência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9817**: Execução de piso com revestimento cerâmico – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 13.528**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas—Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 13.753**: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

_____ **NBR 13755:** Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

_____ **NBR 13.816:** Placas cerâmicas para revestimento: terminologia. Rio de Janeiro, 1997.

_____ **NBR 14.081:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica. Especificação. Rio de Janeiro, 1998.

_____ **NBR 15.575:** Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____ **NBR 15.575-3:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO (ANFACER). Guia de assentamento de revestimento cerâmico. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

AZEVEDO, A.R.G.; ALEXANDRE, J.; XAVIER, G.C.; ZANELATO, E.B.; MONTEIRO, S.N.; PIAZZAROLLO, C.B.; MENDONÇA, T.O.; FRANÇA, F.C.; BRAGA, F.O. Evaluation of a Tacking Stage for Adherence, between Mortar and Ceramic Brick. **Materials Science Forum (Online)**, v. 869, p. 121-126, 2016.

BARBER, J. R.; CIAVARELLA, M. Contact mechanics. **International Journal of solids and structures**, v. 37, n. 1, p. 29-43, 2000.

BAUER, R. J. F. Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. II, Salvador, 1997. **Anais...** p.321-33.

BENTO, J.J.J **Patologias em revestimentos cerâmicos colados em paredes interiores de edifícios**. Dissertação de Mestrado (Especialização em Construção Civil) - Universidade do Porto, Portugal, 2010.

CAVALCANTE, M. A.; SILVA, E.; PRADO, R. O Estudo de Colisões através do Som. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 24, nº2, 2002.

DIÓGENES, H. J. F.; COSSOLINO, L. C.; PEREIRA, A. H. A.; EL DEBS, M. K.; EL DEBS, A. L. H. C. Determinação do módulo de elasticidade do concreto a partir da resposta acústica. **Revista Ibracon de estruturas e materiais**, v. 4, n. 5. p. 792-813, 2011,

DONDI, M. et al. Resistance to impact of porcelain stoneware tiles. **Ceramics International**, v. 42, n. 5, p. 5731-5736, 2016.

FALCONI, D. R. **Sensor piezométrico baseado na tecnologia dos eletretos termo-formados**: aprimoramentos dos processos de produção. 2010. Dissertação (Mestrado em Processamento de Sinais de Instrumentação) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FARIN, Maxime et al. Experimental validation of theoretical methods to estimate the energy radiated by elastic waves during an impact. **Journal of Sound and Vibration**, v. 362, p. 176-202, 2016.

FERNANDES, E. S. **Avaliação de manifestações patológicas em revestimento de piso cerâmico com deslocamento generalizado**: estudo de caso. 2016. 40f. Artigo (Engenharia civil), Universidade Católica de Brasília.

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J.; BRANCO, F. A. Avaliação in-situ da aderência de materiais de revestimento. In: **º Congresso Nacional de Argamassas de Construção**. Lisboa, 2007.

FONTENELLE, M. A. M. Estudo das causas dos deslocamentos de revestimento cerâmico em fachadas e a retroalimentação do projeto. In: **SBQP 2009-Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído**,2009.

FONTENELLE, M. A. M.; MOURA, Y. M. Análise da prática usual de revestimento cerâmico em fachadas-O caso das empresas participantes do programa de melhoria da comunidade da construção de Fortaleza. In: **I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL EX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**. 2004.

FONSECA, N. **Introdução à engenharia de som**. Lisboa: FCA–Editora de Informática, Lda, 2007.

INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO (IAU). Grupo de Pesquisa ArqTeMa – Arquitetura, Tecnologia e Materiais.Guia Para Revestimentos Cerâmicos (GRC) - Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP. Disponível em: <<http://www.iau.usp.br>>. Acesso em: 20 nov.2017.

GALLETTO, A.; ANDRELLO, J. M. Patologia em fachadas com revestimentos cerâmicos. In: **CINPAR–IX Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, João Pessoa (Brasil)**. 2013.

HASTIE, D. B. Experimental measurement of the coefficient of restitution of irregular shaped particles impacting on horizontal surfaces. **Chemical Engineering Science**, v. 101, p. 828-836, 2013.

HORABIK, Józef et al. Determination of the restitution coefficient of seeds and coefficients of visco-elastic Hertz contact models for DEM simulations. **Biosystems Engineering**, v. 161, p. 106-119, 2017.

ILIUUK, I. **Análise de um sistema de captura de energia piezoelétrico não linear e não ideal utilizando-se uma estrutura aporticada**. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

IMRE, B.; RÄBSAMEN, S.; SPRINGMAN, S. M. A coefficient of restitution of rock materials. **Computers & Geosciences**, v. 34, n. 4, p. 339-350, 2008.

ISO 10545-5:1997 - Ladrilhos Cerâmicos – Parte 5: Determinação da resistência ao impacto, medida pelo coeficiente de restituição, **CEN**, Bruxelas.

JELAGIN, D.; LARSSON, P. On indentation and initiation of fracture in glass. **International Journal of Solids and Structures**, v. 45, n. 10, p. 2993-3008, 2008.

LI, T.; ZHANG, Ji.; GE, W. Simple measurement of restitution coefficient of irregular particles. **China Particuology**, v. 2, n. 6, p. 274-275, 2004.

LORDSLEEM JR, A. C.; BATISTA FARO, H. Descolamento de revestimento de fachada: Estudo de caso. **Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción**, v. 7, n. 2, 2017.

MATEUS, F. J. D. **Termografia em diagnóstico de revestimentos em azulejo**. Dissertação de Mestrado da Universidade de Aveiro. Portugal, 2013.

MCLASKEY, G. C.; GLASER, S. D. Hertzian impact: Experimental study of the force pulse and resulting stress waves. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 128, n. 3, p. 1087-1096, 2010.

MEDEIROS, L. J. **Hidrofone ultrassônico com piezoeletreto como elemento transdutor**. Dissertação (Mestrado em Sistemas Elétricos de Potência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

MORENO JUNIOR, R.; SELMO, S.M.S. Aderência de argamassas de reparo de estruturas de concreto. **Boletim técnico da escola politécnica da USP**. São Paulo, 2007.

MUELLER, Peter et al. A novel approach to evaluate the elastic impact of spheres on thin plates. **Chemical Engineering Science**, v. 138, p. 689-697, 2015.

NIKNAMI, A.; SHARIYAT, M. Refined constitutive, bridging, and contact laws for including effects of the impact-induced temperature rise in impact responses of composite plates with embedded SMA wires. **Thin-Walled Structures**, v. 106, p. 166-178, 2016.

OWSINSKI, B. **The Recording Engineer's Handbook**. Course Technology, 2009.

OWSINSKI, B. **The mixing engineer's handbook**. Nelson Education, 2013.

PACHECO, C. P.; VIEIRA, G. L. Quantitative and qualitative analysis of deterioration of facades with ceramic external coating. **Cerâmica**, v. 63, n. 368, p. 432-445, 2017.

PAES, I. N. L.; CARASEK, H. Desempenho das argamassas de rejuntamento no sistema de revestimento cerâmico. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 93-103, 2002.

PINTO, C. L. **Arquitetura de Interiores: Comparativo Técnico de Materiais de Revestimento Segundo Quesitos de Sistemas de Aplicação e Custo**.

Trabalho de conclusão de curso (Especialização) – UFMG, Belo Horizonte, 2010.

PIXININE, T. L. **Estudo do impacto ambiental sonoro da aviação regular em grandes aeroportos com ênfase no aeroporto Internacional Tom Jobim – Galeão**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2013.

RAVINDRA, H.V., SRINIVASSA, Y.G., KRISHNAMURTHY, R., Acoustic emission for tool condition monitoring in metal cutting, **Wear** , v. 212, n. 1, pp. 78-84, November, 1997.

SAMPAIO, M. V. C. **Aplicação da inspeção não intrusiva em equipamentos do sistema de dessulfurização de gás natural da plataforma de Pampo.**

Dissertação de mestrado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Minas, metalúrgica e de materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

SILVESTRE, J.; BRITO, J. Inspeção e diagnóstico de revestimentos cerâmicos aderentes. **Revista Engenharia Civil**, Universidade do Minho, Portugal, 2008.

Disponível em: <<http://www.researchgate.net/publication/281242192>>. Acesso em: 13 abr. 2017.

STRONGE, W. J.; ASHCROFT, A. D. C. Oblique impact of inflated balls at large deflections. **International Journal of Impact Engineering**, v. 34, n. 6, p. 1003-1019, 2007.

TUSSI, R. R. **Estudo do impacto na qualidade de gravação por meio da utilização de diferentes cabos.** Trabalho de Conclusão de Curso -Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

VALENTINI, P.; KAZMIERCZAK, C. S. Evaluation of the adherence of ceramic tiles applied as facade lining. **Revista ALCONPAT**, v. 6, n. 2, p. 116-128, 2016.

ZOLIN, I. **Ensaio mecânicos e análises de falhas. Curso Técnico em automação industrial.** Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul, 2011.

WU, C.Y.; LI, L.Y.; THORNTON, C. Energy dissipation during normal impact of elastic and elastic-plastic spheres. **International Journal of Impact Engineering**, v. 32, n. 1, p. 593-604, 2005.

ANEXO A

(Trabalhos relacionados a metodologias para a avaliação do comportamento e do desempenho de revestimentos)

Pesquisadores desenvolveram diversos trabalhos, os quais abordavam metodologias para a avaliação do comportamento e do desempenho de revestimentos cerâmicos por meio da percussão de objetos.

Paes e Carasek (2002) desenvolveram o estudo “Desempenho das argamassas de rejuntamento no Sistema de Revestimento Cerâmico”. Esses autores apresentaram resultados de uma pesquisa experimental realizada para avaliar os efeitos do gradiente térmico no sistema de revestimento cerâmico - especificamente a influência da argamassa de rejuntamento e da variação na espessura das juntas de assentamento.

Após o aquecimento e o resfriamento, foram feitas medições das movimentações. Ao final de 20 ciclos, realizaram-se observações visuais, teste de percussão nos revestimentos e teste de resistência de aderência à tração das placas cerâmicas, além de uma completa caracterização dos materiais que compunham o sistema de revestimento. Os principais resultados obtidos nessa pesquisa mostraram que o tipo de argamassa de rejuntamento e as dimensões das juntas de assentamento influenciaram no desempenho dos revestimentos cerâmicos, quando estes são submetidos a gradientes de temperatura. De acordo com Paes e Carasek (2002), o teste de percussão era realizado ao longo de toda sua superfície cerâmica à procura de um som cavo, o qual indicaria prováveis áreas de descolamento. O teste de percussão não foi referenciado e não apresentou a metodologia para a utilização do objeto de percussão.

O trabalho de Mateus (2013), faz uma análise comparativa entre o método de percussão e uma análise térmica por meio de uma câmera que captava imagens termográficas. Segundo o autor, o teste de percussão consiste em avaliar o grau de adesão do revestimento, mediante o som produzido por ele quando sujeito a ligeiras pancadas com os nós dos dedos ou com algum objeto rígido. Já a termografia permite a identificação de anomalias que se manifestam a pequenas distâncias da superfície do revestimento e possíveis anomalias de baixa incidência.

O estudo realizado permitiu o diagnóstico não destrutivo de revestimentos em azulejo, utilizando a termografia de infravermelhos e a análise de fluxos térmicos como manifestações de degradações que eram confirmadas com o ensaio de percussão.

A pesquisa de Flores-Colen et al. (2007) apresenta e discute um conjunto de resultados de ensaios *pull-off* realizados em diversos revestimentos exteriores e interiores: reboco colorido monocamada; ladrilhos/azulejos cerâmicos colados com cimento-cola, rebocos interiores, estuque e tinta/argamassa impermeabilizante.

Esse trabalho destaca a técnica de percussão mediante uso de um martelo para a verificação da aderência de placas cerâmicas pelo som emitido por elas, enfatizando que caso o som audível seja cavo, isso é sinal de uma zona não aderente. Os autores afirmam que essa técnica serve apenas na avaliação qualitativa do parâmetro de aderência. Somente o ensaio de aderência possui um valor quantitativo.

Os pesquisadores Lordsleem e Batista (2017), descrevem casos e análises de patologias em fachadas com revestimentos cerâmicos e pedras naturais de edifícios residenciais, com idades superiores há 30 anos. A metodologia contemplou coleta de dados, testes de percussão com martelo de borracha e aderência, diagnóstico, prognóstico da situação e conduta. Os resultados mostraram deficiências na aderência em 57% dos testes e em 13% das placas inspecionadas na percussão.

Para a confirmação de cada ponto foram realizados os ensaios de percussão com um profissional da área. Como critério adotado para a realização dos ensaios de tração, quando da detecção do som cavo, a amostra era substituída para não invalidar o experimento, pois o baixo resultado comprometeria os dados obtidos. Os ensaios de tração foram realizados conforme a norma brasileira NBR 13.755 ABNT, 1996. Já o ensaio de percussão foi realizado com o intuito de identificar áreas onde o revestimento não se encontrava com a aderência adequada entre a argamassa e a placa.

Fernandes (2016), analisa os casos mais frequentes do deslocamento e estufamento dos revestimentos cerâmicos nos pisos e paredes internas de edificações.

O trabalho também apresenta uma análise visual *in loco* para investigar as inconformidades. Realiza ensaios de percussão e de resistência de aderência à tração, classificando o grau das manifestações patológicas encontradas de acordo com os riscos que elas oferecem à edificação, ao usuário e ao meio ambiente. Por fim, após serem analisados os parâmetros obtidos durante a

execução dos ensaios e comparados aos exigidos em norma, atribui-se um grau de risco, a causa das manifestações e os serviços de manutenção a serem executados para a recuperação do edifício. No trabalho, o autor não descreve o objeto do teste de percussão, mas analisando a ilustração, constata-se um cabo de madeira.

A publicação de Galletto e Andrello (2013), relata anomalias em fachadas com revestimentos cerâmicos. Foram realizados testes de percussão para a identificação de som cavo. Por conseguinte, ocorreu o mapeamento das áreas com patologias e ensaios de resistência de aderência à tração.

A maior parte das patologias nas fachadas atribui-se ao sistema de rejuntamentos, o qual sequenciou a ocorrência das demais patologias, como as manchas, o som cavo e o descolamento das cerâmicas. No trabalho não foi especificada a forma e nem o objeto para o teste de percussão, mas ficou evidente nas ilustrações que o objeto de teste era um martelo tipo unha com cabo metálico.

Fontenelle (2009), também desenvolveu pesquisas nesse tema. O trabalho teve como objetivo estudar as causas de descolamentos de revestimentos cerâmicos em fachadas, com base em laudos técnicos, observações visuais, registros fotográficos e ensaios laboratoriais.

Os ensaios realizados para análise das causas dos descolamentos das cerâmicas nas fachadas foram: expansão por umidade, percussão, arrancamento e absorção. Como conclusão, o pesquisador observou que a incidência das manifestações patológicas nas edificações está intimamente ligada à qualidade dos materiais empregados e à ausência de precauções em nível de projeto de fachada e de execução - muitas vezes por negligência, displicência ou falta de conhecimentos técnicos adequados por parte dos profissionais que atuam na construção civil. A ausência de juntas de movimentação e dessolidarização longitudinal e/ou transversal e deficiência no assentamento das cerâmicas foram considerados fatores críticos no descolamento das cerâmicas. O teste de percussão realizado referenciou a NBR 13.749 de 1996.

O trabalho de Pacheco e Vieira (2017) intitulado “Análise quantitativa e qualitativa da degradação das fachadas com revestimento cerâmico” propõe a aplicação de uma metodologia para inspeção de fachadas e patologias em edifícios, com revestimento externo em cerâmica. Mediante a inspeção visual,

foram realizados testes de percussão, ensaios de absorção de água e expansão por umidade nas placas cerâmica. Após esse processo, elaborou-se uma matriz de correlação de anomalias *versus* causas, o que permitiu-se avaliar a origem dos danos. Para detectar os locais com revestimentos soltos, realizou-se o teste de percussão referenciando a ABNT NBR 13.749 de 2013.

A NBR 13749 de 1996 e atualizada 2013 fixa as condições exigíveis para o recebimento de revestimento de argamassa inorgânica aplicada sobre paredes e tetos de edificações. Essa norma é aplicada ao revestimento de elementos constituídos por concreto e alvenaria e avalia a aderência dos revestimentos acabados por ensaio de percussão - realizado por meio de impactos leves, não contundentes, com martelo de madeira ou outro instrumento rígido.

A referida NBR 13.749 enfatiza que os ensaios devem ser efetuados previamente à execução do serviço de acabamento decorativo. Porém, a leitura das pesquisas leva ao entendimento de que os autores, ao citarem tal norma, estariam fazendo uma adaptação desse ensaio de percussão.

O emprego de algumas técnicas apresenta falhas, uma vez que os impactos ou colisões possuem coeficientes de restituição distintos. O coeficiente de restituição do cabo de madeira é muito baixo devido à sua natureza. Por outro lado, a utilização de barras de aço possui maior coeficiente de restituição, mas por falta de critério ela pode destruir a cerâmica e até mesmo interferir na aderência na fase inicial de cura do revestimento.

O martelo tipo unha ou borracha é largamente utilizado na detecção da patologia, mas há limitação quanto à energia do impacto nas idades iniciais e devido à grande energia e à falta de critérios, esse método pode comprometer o processo de aderência inicial. Um ponto negativo desse método é a própria verificação, que leva o operador a repetitivos movimentos para fazer o teste. Outro método utilizado consiste em soltar uma esfera metálica de certa altura, fazendo com que ela volte para o lançador. A esfera possui coeficiente de restituição elevado, devido à sua natureza e à sua forma geométrica. Diferentemente do cabo de madeira, o choque da esfera metálica quase não é amortecido, e sua energia é conservada. Portanto, o choque é mais eficiente na detecção da patologia.

Entretanto, a volta da esfera metálica para o lançador pode não ser uma trajetória vertical como seria esperado devido a influência das imperfeições do piso, exigindo do lançador repetitivos lançamentos.

APÊNDICE I
(Resultado do coeficiente de restituição)

Quadro 1-Resultado do coeficiente de restituição na P1s com os cinco métodos

Esfera				Madeira				Barra de aço				Barra rosçada				Protótipo			
P1s	h1(cm)	h2(cm)	e	P1s	h1(cm)	h2(cm)	e	P1s	h1(cm)	h2(cm)	e	P1s	h1(cm)	h2(cm)	e	P1s	h1(cm)	h2(cm)	e
Tentativa 01	100,00	46,00	0,68	Tentativa 01	2,50	0,40	0,40	Tentativa 01	2,50	0,50	0,45	Tentativa 01	3,40	0,60	0,42	Tentativa 01	1,00	0,20	0,45
Tentativa 02	100,00	45,00	0,67	Tentativa 02	2,50	0,50	0,45	Tentativa 02	2,50	0,40	0,40	Tentativa 02	3,40	0,50	0,38	Tentativa 02	1,00	0,20	0,45
Tentativa 03	100,00	47,00	0,69	Tentativa 03	2,50	0,40	0,40	Tentativa 03	2,50	0,40	0,40	Tentativa 03	3,40	0,60	0,42	Tentativa 03	1,00	0,20	0,45
Tentativa 04	100,00	44,00	0,66	Tentativa 04	2,50	0,30	0,35	Tentativa 04	2,50	0,50	0,45	Tentativa 04	3,40	0,70	0,45	Tentativa 04	1,00	0,20	0,45
Tentativa 05	100,00	44,60	0,67	Tentativa 05	2,50	0,40	0,40	Tentativa 05	2,50	0,50	0,45	Tentativa 05	3,40	0,70	0,45	Tentativa 05	1,00	0,20	0,45
Tentativa 06	100,00	45,60	0,68	Tentativa 06	2,50	0,40	0,40	Tentativa 06	2,50	0,50	0,45	Tentativa 06	3,40	0,50	0,38	Tentativa 06	1,00	0,20	0,45
Tentativa 07	100,00	48,20	0,69	Tentativa 07	2,50	0,40	0,40	Tentativa 07	2,50	0,60	0,49	Tentativa 07	3,40	0,60	0,42	Tentativa 07	1,00	0,20	0,45
Tentativa 08	100,00	45,50	0,67	Tentativa 08	2,50	0,40	0,40	Tentativa 08	2,50	0,50	0,45	Tentativa 08	3,40	0,70	0,45	Tentativa 08	1,00	0,30	0,55
Tentativa 09	100,00	46,60	0,68	Tentativa 09	2,50	0,40	0,40	Tentativa 09	2,50	0,40	0,40	Tentativa 09	3,40	0,70	0,45	Tentativa 09	1,00	0,20	0,45
Tentativa 10	100,00	46,00	0,68	Tentativa 10	2,50	0,40	0,40	Tentativa 10	2,50	0,50	0,45	Tentativa 10	3,40	0,60	0,42	Tentativa 10	1,00	0,20	0,45
Média			0,68	Média			0,40	Média			0,44	Média			0,43	Média			0,46
Desvio médio			0,01	Desvio médio			0,01	Desvio médio			0,02	Desvio médio			0,02	Desvio médio			0,02
Desvio padrão			0,01	Desvio padrão			0,02	Desvio padrão			0,03	Desvio padrão			0,03	Desvio padrão			0,03

Quadro 2-Resultado do coeficiente de restituição na P2s com os cinco métodos

<i>Esfera</i>				<i>Madeira</i>				<i>Barra de aço</i>				<i>Barra rosçada</i>				<i>Protótipo</i>			
<i>P2s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>	<i>P2s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>	<i>P2s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>E</i>	<i>P2s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>	<i>P2s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>
<i>Tentativa 01</i>	<i>100,00</i>	<i>42,40</i>	<i>0,65</i>	<i>Tentativa 01</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 01</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 01</i>	<i>3,40</i>	<i>0,70</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 01</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 02</i>	<i>100,00</i>	<i>43,60</i>	<i>0,66</i>	<i>Tentativa 02</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 02</i>	<i>2,50</i>	<i>0,60</i>	<i>0,49</i>	<i>Tentativa 02</i>	<i>3,40</i>	<i>0,80</i>	<i>0,49</i>	<i>Tentativa 02</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 03</i>	<i>100,00</i>	<i>42,80</i>	<i>0,65</i>	<i>Tentativa 03</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 03</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 03</i>	<i>3,40</i>	<i>0,60</i>	<i>0,42</i>	<i>Tentativa 03</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 04</i>	<i>100,00</i>	<i>42,80</i>	<i>0,65</i>	<i>Tentativa 04</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 04</i>	<i>2,50</i>	<i>0,60</i>	<i>0,49</i>	<i>Tentativa 04</i>	<i>3,40</i>	<i>0,80</i>	<i>0,49</i>	<i>Tentativa 04</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 05</i>	<i>100,00</i>	<i>42,60</i>	<i>0,65</i>	<i>Tentativa 05</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 05</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 05</i>	<i>3,40</i>	<i>0,70</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 05</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 06</i>	<i>100,00</i>	<i>43,20</i>	<i>0,66</i>	<i>Tentativa 06</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 06</i>	<i>2,50</i>	<i>0,60</i>	<i>0,49</i>	<i>Tentativa 06</i>	<i>3,40</i>	<i>0,70</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 06</i>	<i>1,00</i>	<i>0,30</i>	<i>0,55</i>
<i>Tentativa 07</i>	<i>100,00</i>	<i>43,60</i>	<i>0,66</i>	<i>Tentativa 07</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 07</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 07</i>	<i>3,40</i>	<i>0,80</i>	<i>0,49</i>	<i>Tentativa 07</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 08</i>	<i>100,00</i>	<i>42,40</i>	<i>0,65</i>	<i>Tentativa 08</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 08</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 08</i>	<i>3,40</i>	<i>0,70</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 08</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 09</i>	<i>100,00</i>	<i>42,60</i>	<i>0,65</i>	<i>Tentativa 09</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 09</i>	<i>2,50</i>	<i>0,60</i>	<i>0,49</i>	<i>Tentativa 09</i>	<i>3,40</i>	<i>0,80</i>	<i>0,49</i>	<i>Tentativa 09</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 10</i>	<i>100,00</i>	<i>43,00</i>	<i>0,66</i>	<i>Tentativa 10</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 10</i>	<i>2,50</i>	<i>0,60</i>	<i>0,49</i>	<i>Tentativa 10</i>	<i>3,40</i>	<i>0,70</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 10</i>	<i>1,00</i>	<i>0,30</i>	<i>0,55</i>
<i>Média</i>			<i>0,65</i>	<i>Média</i>			<i>0,42</i>	<i>Média</i>			<i>0,47</i>	<i>Média</i>			<i>0,46</i>	<i>Média</i>			<i>0,47</i>
<i>Desvio médio</i>			<i>0,01</i>	<i>Desvio médio</i>			<i>0,02</i>	<i>Desvio médio</i>			<i>0,02</i>	<i>Desvio médio</i>			<i>0,02</i>	<i>Desvio médio</i>			<i>0,03</i>
<i>Desvio padrão</i>			<i>0,01</i>	<i>Desvio padrão</i>			<i>0,02</i>	<i>Desvio padrão</i>			<i>0,02</i>	<i>Desvio padrão</i>			<i>0,02</i>	<i>Desvio padrão</i>			<i>0,04</i>

Quadro 3-Resultado do coeficiente de restituição na P3s com os cinco métodos

<i>Esfera</i>				<i>Madeira</i>				<i>Barra de aço</i>				<i>Barra rosçada</i>				<i>Protótipo</i>				
<i>P3s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>	<i>P3s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>	<i>P3s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>E</i>	<i>P3s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>	<i>P3s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>	
<i>Tentativa 01</i>	100,00	57,80	0,76	<i>Tentativa 01</i>	2,50	0,60	0,49	<i>Tentativa 01</i>	2,50	0,70	0,53	<i>Tentativa 01</i>	3,40	1,00	0,54	<i>Tentativa 01</i>	1,00	0,40	0,63	
<i>Tentativa 02</i>	100,00	61,50	0,78	<i>Tentativa 02</i>	2,50	0,60	0,49	<i>Tentativa 02</i>	2,50	0,80	0,57	<i>Tentativa 02</i>	3,40	1,10	0,57	<i>Tentativa 02</i>	1,00	0,30	0,55	
<i>Tentativa 03</i>	100,00	62,50	0,79	<i>Tentativa 03</i>	2,50	0,60	0,49	<i>Tentativa 03</i>	2,50	0,70	0,53	<i>Tentativa 03</i>	3,40	1,00	0,54	<i>Tentativa 03</i>	1,00	0,30	0,55	
<i>Tentativa 04</i>	100,00	62,40	0,79	<i>Tentativa 04</i>	2,50	0,60	0,49	<i>Tentativa 04</i>	2,50	0,80	0,57	<i>Tentativa 04</i>	3,40	1,00	0,54	<i>Tentativa 04</i>	1,00	0,40	0,63	
<i>Tentativa 05</i>	100,00	58,80	0,77	<i>Tentativa 05</i>	2,50	0,60	0,49	<i>Tentativa 05</i>	2,50	0,70	0,53	<i>Tentativa 05</i>	3,40	1,10	0,57	<i>Tentativa 05</i>	1,00	0,40	0,63	
<i>Tentativa 06</i>	100,00	62,80	0,79	<i>Tentativa 06</i>	2,50	0,60	0,49	<i>Tentativa 06</i>	2,50	0,80	0,57	<i>Tentativa 06</i>	3,40	1,10	0,57	<i>Tentativa 06</i>	1,00	0,30	0,55	
<i>Tentativa 07</i>	100,00	62,40	0,79	<i>Tentativa 07</i>	2,50	0,70	0,53	<i>Tentativa 07</i>	2,50	0,70	0,53	<i>Tentativa 07</i>	3,40	1,10	0,57	<i>Tentativa 07</i>	1,00	0,40	0,63	
<i>Tentativa 08</i>	100,00	65,50	0,81	<i>Tentativa 08</i>	2,50	0,70	0,53	<i>Tentativa 08</i>	2,50	0,80	0,57	<i>Tentativa 08</i>	3,40	1,20	0,59	<i>Tentativa 08</i>	1,00	0,30	0,55	
<i>Tentativa 09</i>	100,00	65,00	0,81	<i>Tentativa 09</i>	2,50	0,60	0,49	<i>Tentativa 09</i>	2,50	0,70	0,53	<i>Tentativa 09</i>	3,40	1,20	0,59	<i>Tentativa 09</i>	1,00	0,40	0,63	
<i>Tentativa 10</i>	100,00	58,80	0,77	<i>Tentativa 10</i>	2,50	0,60	0,49	<i>Tentativa 10</i>	2,50	0,80	0,57	<i>Tentativa 10</i>	3,40	1,00	0,54	<i>Tentativa 10</i>	1,00	0,40	0,63	
<i>Média</i>			0,79	<i>Média</i>			0,50	<i>Média</i>			0,55	<i>Média</i>			0,56	<i>Média</i>				0,60
<i>Desvio médio</i>			0,01	<i>Desvio médio</i>			0,01	<i>Desvio médio</i>			0,02	<i>Desvio médio</i>			0,02	<i>Desvio médio</i>				0,04
<i>Desvio padrão</i>			0,02	<i>Desvio padrão</i>			0,02	<i>Desvio padrão</i>			0,02	<i>Desvio padrão</i>			0,02	<i>Desvio padrão</i>				0,04

Quadro 4-Resultado do coeficiente de restituição na P4s com os cinco métodos

Esfera				Madeira				Barra de aço				Barra rosçada				Protótipo			
P4s	h1(cm)	h2(cm)	e	P4s	h1(cm)	h2(cm)	e	P4s	h1(cm)	h2(cm)	E	P4s	h1(cm)	h2(cm)	e	P4s	h1(cm)	h2(cm)	e
Tentativa 01	100,00	51,00	0,71	Tentativa 01	2,50	0,50	0,45	Tentativa 01	2,50	0,60	0,49	Tentativa 01	3,40	0,90	0,51	Tentativa 01	1,00	0,20	0,45
Tentativa 02	100,00	54,50	0,74	Tentativa 02	2,50	0,50	0,45	Tentativa 02	2,50	0,70	0,53	Tentativa 02	3,40	0,90	0,51	Tentativa 02	1,00	0,30	0,55
Tentativa 03	100,00	52,40	0,72	Tentativa 03	2,50	0,60	0,49	Tentativa 03	2,50	0,60	0,49	Tentativa 03	3,40	0,80	0,49	Tentativa 03	1,00	0,20	0,45
Tentativa 04	100,00	52,40	0,72	Tentativa 04	2,50	0,50	0,45	Tentativa 04	2,50	0,60	0,49	Tentativa 04	3,40	0,90	0,51	Tentativa 04	1,00	0,20	0,45
Tentativa 05	100,00	51,80	0,72	Tentativa 05	2,50	0,50	0,45	Tentativa 05	2,50	0,60	0,49	Tentativa 05	3,40	0,90	0,51	Tentativa 05	1,00	0,30	0,55
Tentativa 06	100,00	51,60	0,72	Tentativa 06	2,50	0,60	0,49	Tentativa 06	2,50	0,70	0,53	Tentativa 06	3,40	0,80	0,49	Tentativa 06	1,00	0,20	0,45
Tentativa 07	100,00	50,80	0,71	Tentativa 07	2,50	0,50	0,45	Tentativa 07	2,50	0,60	0,49	Tentativa 07	3,40	0,90	0,51	Tentativa 07	1,00	0,20	0,45
Tentativa 08	100,00	51,60	0,72	Tentativa 08	2,50	0,50	0,45	Tentativa 08	2,50	0,70	0,53	Tentativa 08	3,40	0,90	0,51	Tentativa 08	1,00	0,30	0,55
Tentativa 09	100,00	52,40	0,72	Tentativa 09	2,50	0,40	0,40	Tentativa 09	2,50	0,60	0,49	Tentativa 09	3,40	1,00	0,54	Tentativa 09	1,00	0,30	0,55
Tentativa 10	100,00	51,80	0,72	Tentativa 10	2,50	0,50	0,45	Tentativa 10	2,50	0,60	0,49	Tentativa 10	3,40	0,90	0,51	Tentativa 10	1,00	0,30	0,55
Média			0,72	Média			0,45	Média			0,50	Média			0,51	Média			0,50
Desvio médio			0,01	Desvio médio			0,02	Desvio médio			0,02	Desvio médio			0,01	Desvio médio			0,05
Desvio padrão			0,01	Desvio padrão			0,02	Desvio padrão			0,02	Desvio padrão			0,02	Desvio padrão			0,05

Quadro 5-Resultado do coeficiente de restituição na P5s com os cinco métodos

<i>Esfera</i>				<i>Madeira</i>				<i>Barra de aço</i>				<i>Barra rosçada</i>				<i>Protótipo</i>			
<i>P5s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>	<i>P5s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>	<i>P5s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>E</i>	<i>P5s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>	<i>P5s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>
<i>Tentativa 01</i>	<i>100,00</i>	<i>41,80</i>	<i>0,65</i>	<i>Tentativa 01</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 01</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 01</i>	<i>3,40</i>	<i>0,60</i>	<i>0,42</i>	<i>Tentativa 01</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 02</i>	<i>100,00</i>	<i>41,20</i>	<i>0,64</i>	<i>Tentativa 02</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 02</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 02</i>	<i>3,40</i>	<i>0,60</i>	<i>0,42</i>	<i>Tentativa 02</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 03</i>	<i>100,00</i>	<i>41,40</i>	<i>0,64</i>	<i>Tentativa 03</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 03</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 03</i>	<i>3,40</i>	<i>0,60</i>	<i>0,42</i>	<i>Tentativa 03</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 04</i>	<i>100,00</i>	<i>38,40</i>	<i>0,62</i>	<i>Tentativa 04</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 04</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 04</i>	<i>3,40</i>	<i>0,70</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 04</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 05</i>	<i>100,00</i>	<i>42,00</i>	<i>0,65</i>	<i>Tentativa 05</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 05</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 05</i>	<i>3,40</i>	<i>0,70</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 05</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 06</i>	<i>100,00</i>	<i>43,20</i>	<i>0,66</i>	<i>Tentativa 06</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 06</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 06</i>	<i>3,40</i>	<i>0,70</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 06</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 07</i>	<i>100,00</i>	<i>42,00</i>	<i>0,65</i>	<i>Tentativa 07</i>	<i>2,50</i>	<i>0,30</i>	<i>0,35</i>	<i>Tentativa 07</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 07</i>	<i>3,40</i>	<i>0,70</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 07</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 08</i>	<i>100,00</i>	<i>42,20</i>	<i>0,65</i>	<i>Tentativa 08</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 08</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 08</i>	<i>3,40</i>	<i>0,80</i>	<i>0,49</i>	<i>Tentativa 08</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Tentativa 09</i>	<i>100,00</i>	<i>43,20</i>	<i>0,66</i>	<i>Tentativa 09</i>	<i>2,50</i>	<i>0,40</i>	<i>0,40</i>	<i>Tentativa 09</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 09</i>	<i>3,40</i>	<i>0,60</i>	<i>0,42</i>	<i>Tentativa 09</i>	<i>1,00</i>	<i>0,10</i>	<i>0,32</i>
<i>Tentativa 10</i>	<i>100,00</i>	<i>40,80</i>	<i>0,64</i>	<i>Tentativa 10</i>	<i>2,50</i>	<i>0,30</i>	<i>0,35</i>	<i>Tentativa 10</i>	<i>2,50</i>	<i>0,50</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 10</i>	<i>3,40</i>	<i>0,70</i>	<i>0,45</i>	<i>Tentativa 10</i>	<i>1,00</i>	<i>0,20</i>	<i>0,45</i>
<i>Média</i>			<i>0,65</i>	<i>Média</i>			<i>0,39</i>	<i>Média</i>			<i>0,43</i>	<i>Média</i>			<i>0,44</i>	<i>Média</i>			<i>0,43</i>
<i>Desvio médio</i>			<i>0,01</i>	<i>Desvio médio</i>			<i>0,02</i>	<i>Desvio médio</i>			<i>0,02</i>	<i>Desvio médio</i>			<i>0,02</i>	<i>Desvio médio</i>			<i>0,02</i>
<i>Desvio padrão</i>			<i>0,01</i>	<i>Desvio padrão</i>			<i>0,02</i>	<i>Desvio padrão</i>			<i>0,02</i>	<i>Desvio padrão</i>			<i>0,02</i>	<i>Desvio padrão</i>			<i>0,04</i>

Quadro 6- Resultado do coeficiente de restituição na P6s com os cinco métodos

<i>Esfera</i>				<i>Madeira</i>				<i>Barra de aço</i>				<i>Barra rosçada</i>				<i>Protótipo</i>			
<i>P6s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>	<i>P6s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>	<i>P6s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>E</i>	<i>P6s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>	<i>P6s</i>	<i>h1(cm)</i>	<i>h2(cm)</i>	<i>e</i>
<i>Tentativa 01</i>	100,00	43,60	0,66	<i>Tentativa 01</i>	2,50	0,40	0,40	<i>Tentativa 01</i>	2,50	0,50	0,45	<i>Tentativa 01</i>	3,40	0,70	0,45	<i>Tentativa 01</i>	1,00	0,20	0,45
<i>Tentativa 02</i>	100,00	44,80	0,67	<i>Tentativa 02</i>	2,50	0,30	0,35	<i>Tentativa 02</i>	2,50	0,50	0,45	<i>Tentativa 02</i>	3,40	0,60	0,42	<i>Tentativa 02</i>	1,00	0,20	0,45
<i>Tentativa 03</i>	100,00	45,00	0,67	<i>Tentativa 03</i>	2,50	0,40	0,40	<i>Tentativa 03</i>	2,50	0,40	0,40	<i>Tentativa 03</i>	3,40	0,70	0,45	<i>Tentativa 03</i>	1,00	0,20	0,45
<i>Tentativa 04</i>	100,00	43,50	0,66	<i>Tentativa 04</i>	2,50	0,40	0,40	<i>Tentativa 04</i>	2,50	0,50	0,45	<i>Tentativa 04</i>	3,40	0,70	0,45	<i>Tentativa 04</i>	1,00	0,30	0,55
<i>Tentativa 05</i>	100,00	43,80	0,66	<i>Tentativa 05</i>	2,50	0,30	0,35	<i>Tentativa 05</i>	2,50	0,40	0,40	<i>Tentativa 05</i>	3,40	0,70	0,45	<i>Tentativa 05</i>	1,00	0,20	0,45
<i>Tentativa 06</i>	100,00	44,60	0,67	<i>Tentativa 06</i>	2,50	0,40	0,40	<i>Tentativa 06</i>	2,50	0,50	0,45	<i>Tentativa 06</i>	3,40	0,60	0,42	<i>Tentativa 06</i>	1,00	0,10	0,32
<i>Tentativa 07</i>	100,00	42,60	0,65	<i>Tentativa 07</i>	2,50	0,30	0,35	<i>Tentativa 07</i>	2,50	0,60	0,49	<i>Tentativa 07</i>	3,40	0,70	0,45	<i>Tentativa 07</i>	1,00	0,20	0,45
<i>Tentativa 08</i>	100,00	46,80	0,68	<i>Tentativa 08</i>	2,50	0,30	0,35	<i>Tentativa 08</i>	2,50	0,50	0,45	<i>Tentativa 08</i>	3,40	0,70	0,45	<i>Tentativa 08</i>	1,00	0,20	0,45
<i>Tentativa 09</i>	100,00	46,80	0,68	<i>Tentativa 09</i>	2,50	0,40	0,40	<i>Tentativa 09</i>	2,50	0,50	0,45	<i>Tentativa 09</i>	3,40	0,70	0,45	<i>Tentativa 09</i>	1,00	0,20	0,45
<i>Tentativa 10</i>	100,00	42,20	0,65	<i>Tentativa 10</i>	2,50	0,40	0,40	<i>Tentativa 10</i>	2,50	0,40	0,40	<i>Tentativa 10</i>	3,40	0,80	0,49	<i>Tentativa 10</i>	1,00	0,20	0,45
<i>Média</i>			0,67	<i>Média</i>			0,38	<i>Média</i>			0,44	<i>Média</i>			0,45	<i>Média</i>			0,44
<i>Desvio médio</i>			0,01	<i>Desvio médio</i>			0,03	<i>Desvio médio</i>			0,02	<i>Desvio médio</i>			0,01	<i>Desvio médio</i>			0,03
<i>Desvio padrão</i>			0,01	<i>Desvio padrão</i>			0,03	<i>Desvio padrão</i>			0,03	<i>Desvio padrão</i>			0,02	<i>Desvio padrão</i>			0,05

Quadro 7-Resultado do coeficiente de restituição na P1c com os cinco métodos

Esfera				Madeira				Barra de aço				Barra rosçada				Protótipo			
P1c	h1(cm)	h2(cm)	e	P1c	h1(cm)	h2(cm)	e	P1c	h1(cm)	h2(cm)	e	P1c	h1(cm)	h2(cm)	e	P1c	h1(cm)	h2(cm)	e
Tentativa 01	100,00	25,00	0,50	Tentativa 01	2,50	0,10	0,20	Tentativa 01	2,50	0,20	0,28	Tentativa 01	3,40	0,30	0,30	Tentativa 01	1,00	0,10	0,32
Tentativa 02	100,00	30,00	0,55	Tentativa 02	2,50	0,20	0,28	Tentativa 02	2,50	0,30	0,35	Tentativa 02	3,40	0,40	0,34	Tentativa 02	1,00	0,10	0,32
Tentativa 03	100,00	47,00	0,69	Tentativa 03	2,50	0,10	0,20	Tentativa 03	2,50	0,20	0,28	Tentativa 03	3,40	0,50	0,38	Tentativa 03	1,00	0,10	0,32
Tentativa 04	100,00	23,00	0,48	Tentativa 04	2,50	0,10	0,20	Tentativa 04	2,50	0,10	0,20	Tentativa 04	3,40	0,10	0,17	Tentativa 04	1,00	0,10	0,32
Tentativa 05	100,00	29,00	0,54	Tentativa 05	2,50	0,10	0,20	Tentativa 05	2,50	0,40	0,40	Tentativa 05	3,40	0,20	0,24	Tentativa 05	1,00	0,10	0,32
Tentativa 06	100,00	20,00	0,45	Tentativa 06	2,50	0,20	0,28	Tentativa 06	2,50	0,50	0,45	Tentativa 06	3,40	0,30	0,30	Tentativa 06	1,00	0,20	0,45
Tentativa 07	100,00	25,00	0,50	Tentativa 07	2,50	0,40	0,40	Tentativa 07	2,50	0,10	0,20	Tentativa 07	3,40	0,60	0,42	Tentativa 07	1,00	0,10	0,32
Tentativa 08	100,00	17,00	0,41	Tentativa 08	2,50	0,30	0,35	Tentativa 08	2,50	0,20	0,28	Tentativa 08	3,40	0,30	0,30	Tentativa 08	1,00	0,10	0,32
Tentativa 09	100,00	23,00	0,48	Tentativa 09	2,50	0,10	0,20	Tentativa 09	2,50	0,30	0,35	Tentativa 09	3,40	0,20	0,24	Tentativa 09	1,00	0,10	0,32
Tentativa 10	100,00	17,00	0,41	Tentativa 10	2,50	0,10	0,20	Tentativa 10	2,50	0,10	0,20	Tentativa 10	3,40	0,60	0,42	Tentativa 10	1,00	0,10	0,32
Média			0,50	Média			0,25	Média			0,30	Média			0,31	Média			0,33
Desvio médio			0,05	Desvio médio			0,06	Desvio médio			0,07	Desvio médio			0,06	Desvio médio			0,02
Desvio padrão			0,08	Desvio padrão			0,07	Desvio padrão			0,08	Desvio padrão			0,08	Desvio padrão			0,04

Quadro 8-Resultado do coeficiente de restituição na P2c com os cinco métodos

Esfera				Madeira				Barra de aço				Barra rosçada				Protótipo			
P2c	h1(cm)	h2(cm)	e	P2c	h1(cm)	h2(cm)	e	P2c	h1(cm)	h2(cm)	E	P2c	h1(cm)	h2(cm)	e	P2c	h1(cm)	h2(cm)	e
Tentativa 01	100,00	29,50	0,54	Tentativa 01	2,50	0,40	0,40	Tentativa 01	2,50	0,20	0,28	Tentativa 01	3,40	1,00	0,54	Tentativa 01	1,00	0,20	0,45
Tentativa 02	100,00	24,80	0,50	Tentativa 02	2,50	0,20	0,28	Tentativa 02	2,50	0,40	0,40	Tentativa 02	3,40	0,30	0,30	Tentativa 02	1,00	0,20	0,45
Tentativa 03	100,00	27,80	0,53	Tentativa 03	2,50	0,10	0,20	Tentativa 03	2,50	0,50	0,45	Tentativa 03	3,40	0,40	0,34	Tentativa 03	1,00	0,10	0,32
Tentativa 04	100,00	31,50	0,56	Tentativa 04	2,50	0,20	0,28	Tentativa 04	2,50	0,10	0,20	Tentativa 04	3,40	0,50	0,38	Tentativa 04	1,00	0,05	0,22
Tentativa 05	100,00	29,80	0,55	Tentativa 05	2,50	0,20	0,28	Tentativa 05	2,50	0,20	0,28	Tentativa 05	3,40	0,10	0,17	Tentativa 05	1,00	0,20	0,45
Tentativa 06	100,00	30,50	0,55	Tentativa 06	2,50	0,10	0,20	Tentativa 06	2,50	0,20	0,28	Tentativa 06	3,40	0,30	0,30	Tentativa 06	1,00	0,20	0,45
Tentativa 07	100,00	25,60	0,51	Tentativa 07	2,50	0,30	0,35	Tentativa 07	2,50	0,40	0,40	Tentativa 07	3,40	0,20	0,24	Tentativa 07	1,00	0,30	0,55
Tentativa 08	100,00	8,40	0,29	Tentativa 08	2,50	0,10	0,20	Tentativa 08	2,50	0,10	0,20	Tentativa 08	3,40	0,30	0,30	Tentativa 08	1,00	0,05	0,22
Tentativa 09	100,00	28,40	0,53	Tentativa 09	2,50	0,20	0,28	Tentativa 09	2,50	0,30	0,35	Tentativa 09	3,40	0,40	0,34	Tentativa 09	1,00	0,10	0,32
Tentativa 10	100,00	33,80	0,58	Tentativa 10	2,50	0,10	0,20	Tentativa 10	2,50	0,20	0,28	Tentativa 10	3,40	0,30	0,30	Tentativa 10	1,00	0,10	0,32
Média			0,51	Média			0,27	Média			0,31	Média			0,32	Média			0,37
Desvio médio			0,05	Desvio médio			0,05	Desvio médio			0,07	Desvio médio			0,07	Desvio médio			0,09
Desvio padrão			0,08	Desvio padrão			0,07	Desvio padrão			0,08	Desvio padrão			0,09	Desvio padrão			0,10

Quadro 9-Resultado do coeficiente de restituição na P3c com os cinco métodos

Esfera				Madeira				Barra de aço				Barra roscada				Protótipo			
P3c	h1(cm)	h2(cm)	e	P3c	h1(cm)	h2(cm)	e	P3c	h1(cm)	h2(cm)	e	P3c	h1(cm)	h2(cm)	e	P3c	h1(cm)	h2(cm)	e
Tentativa 01	100,00	40,80	0,64	Tentativa 01	2,50	0,50	0,45	Tentativa 01	2,50	0,80	0,57	Tentativa 01	3,40	0,80	0,49	Tentativa 01	1,00	0,20	0,45
Tentativa 02	100,00	40,00	0,63	Tentativa 02	2,50	0,30	0,35	Tentativa 02	2,50	0,40	0,40	Tentativa 02	3,40	0,40	0,34	Tentativa 02	1,00	0,20	0,45
Tentativa 03	100,00	48,40	0,70	Tentativa 03	2,50	0,40	0,40	Tentativa 03	2,50	0,70	0,53	Tentativa 03	3,40	0,70	0,45	Tentativa 03	1,00	0,30	0,55
Tentativa 04	100,00	41,70	0,65	Tentativa 04	2,50	0,30	0,35	Tentativa 04	2,50	0,60	0,49	Tentativa 04	3,40	0,60	0,42	Tentativa 04	1,00	0,10	0,32
Tentativa 05	100,00	42,00	0,65	Tentativa 05	2,50	0,40	0,40	Tentativa 05	2,50	0,50	0,45	Tentativa 05	3,40	0,80	0,49	Tentativa 05	1,00	0,10	0,32
Tentativa 06	100,00	49,80	0,71	Tentativa 06	2,50	0,50	0,45	Tentativa 06	2,50	0,50	0,45	Tentativa 06	3,40	0,70	0,45	Tentativa 06	1,00	0,20	0,45
Tentativa 07	100,00	38,00	0,62	Tentativa 07	2,50	0,50	0,45	Tentativa 07	2,50	0,30	0,35	Tentativa 07	3,40	0,80	0,49	Tentativa 07	1,00	0,20	0,45
Tentativa 08	100,00	41,30	0,64	Tentativa 08	2,50	0,20	0,28	Tentativa 08	2,50	0,20	0,28	Tentativa 08	3,40	0,40	0,34	Tentativa 08	1,00	0,30	0,55
Tentativa 09	100,00	37,60	0,61	Tentativa 09	2,50	0,40	0,40	Tentativa 09	2,50	0,40	0,40	Tentativa 09	3,40	0,80	0,49	Tentativa 09	1,00	0,20	0,45
Tentativa 10	100,00	38,50	0,62	Tentativa 10	2,50	0,50	0,45	Tentativa 10	2,50	0,40	0,40	Tentativa 10	3,40	0,90	0,51	Tentativa 10	1,00	0,10	0,32
Média			0,65	Média			0,40	Média			0,43	Média			0,45	Média			0,43
Desvio médio			0,02	Desvio médio			0,04	Desvio médio			0,06	Desvio médio			0,05	Desvio médio			0,07
Desvio padrão			0,03	Desvio padrão			0,05	Desvio padrão			0,08	Desvio padrão			0,06	Desvio padrão			0,08

Quadro 10-Resultado do coeficiente de restituição na P4c com os cinco métodos

Esfera				Madeira				Barra de aço				Barra roscada				Protótipo			
P4c	h1(cm)	h2(cm)	e	P4c	h1(cm)	h2(cm)	e	P4c	h1(cm)	h2(cm)	e	P4c	h1(cm)	h2(cm)	e	P4c	h1(cm)	h2(cm)	e
Tentativa 01	100,00	38,80	0,62	Tentativa 01	2,50	0,20	0,28	Tentativa 01	2,50	0,20	0,28	Tentativa 01	3,40	0,20	0,24	Tentativa 01	1,00	0,10	0,32
Tentativa 02	100,00	18,50	0,43	Tentativa 02	2,50	0,05	0,14	Tentativa 02	2,50	0,30	0,35	Tentativa 02	3,40	1,10	0,57	Tentativa 02	1,00	0,20	0,45
Tentativa 03	100,00	44,00	0,66	Tentativa 03	2,50	0,20	0,28	Tentativa 03	2,50	0,20	0,28	Tentativa 03	3,40	0,10	0,17	Tentativa 03	1,00	0,30	0,55
Tentativa 04	100,00	39,50	0,63	Tentativa 04	2,50	0,30	0,35	Tentativa 04	2,50	0,10	0,20	Tentativa 04	3,40	1,00	0,54	Tentativa 04	1,00	0,20	0,45
Tentativa 05	100,00	38,60	0,62	Tentativa 05	2,50	0,40	0,40	Tentativa 05	2,50	0,50	0,45	Tentativa 05	3,40	0,30	0,30	Tentativa 05	1,00	0,20	0,45
Tentativa 06	100,00	45,00	0,67	Tentativa 06	2,50	0,20	0,28	Tentativa 06	2,50	0,10	0,20	Tentativa 06	3,40	0,20	0,24	Tentativa 06	1,00	0,05	0,22
Tentativa 07	100,00	21,80	0,47	Tentativa 07	2,50	0,20	0,28	Tentativa 07	2,50	0,60	0,49	Tentativa 07	3,40	0,50	0,38	Tentativa 07	1,00	0,10	0,32
Tentativa 08	100,00	8,50	0,29	Tentativa 08	2,50	0,30	0,35	Tentativa 08	2,50	0,30	0,35	Tentativa 08	3,40	0,90	0,51	Tentativa 08	1,00	0,10	0,32
Tentativa 09	100,00	34,50	0,59	Tentativa 09	2,50	0,30	0,35	Tentativa 09	2,50	0,70	0,53	Tentativa 09	3,40	0,40	0,34	Tentativa 09	1,00	0,20	0,45
Tentativa 10	100,00	44,60	0,67	Tentativa 10	2,50	0,40	0,40	Tentativa 10	2,50	0,30	0,35	Tentativa 10	3,40	0,40	0,34	Tentativa 10	1,00	0,10	0,32
Média			0,57	Média			0,31	Média			0,35	Média			0,36	Média			0,38
Desvio médio			0,10	Desvio médio			0,06	Desvio médio			0,08	Desvio médio			0,11	Desvio médio			0,08
Desvio padrão			0,12	Desvio padrão			0,07	Desvio padrão			0,11	Desvio padrão			0,13	Desvio padrão			0,09

Quadro 11-Resultado do coeficiente de restituição na P5c com os cinco métodos

Esfera				Madeira				Barra de aço				Barra rosçada				Protótipo			
P5c	h1(cm)	h2(cm)	e	P5c	h1(cm)	h2(cm)	e	P5c	h1(cm)	h2(cm)	e	P5c	h1(cm)	h2(cm)	e	P5c	h1(cm)	h2(cm)	e
Tentativa 01	100,00	12,50	0,35	Tentativa 01	2,50	0,10	0,20	Tentativa 01	2,50	0,50	0,45	Tentativa 01	3,40	0,50	0,38	Tentativa 01	1,00	0,10	0,32
Tentativa 02	100,00	51,60	0,72	Tentativa 02	2,50	0,20	0,28	Tentativa 02	2,50	0,40	0,40	Tentativa 02	3,40	0,30	0,30	Tentativa 02	1,00	0,05	0,22
Tentativa 03	100,00	55,40	0,74	Tentativa 03	2,50	0,10	0,20	Tentativa 03	2,50	0,30	0,35	Tentativa 03	3,40	0,30	0,30	Tentativa 03	1,00	0,10	0,32
Tentativa 04	100,00	41,80	0,65	Tentativa 04	2,50	0,30	0,35	Tentativa 04	2,50	0,10	0,20	Tentativa 04	3,40	0,30	0,30	Tentativa 04	1,00	0,10	0,32
Tentativa 05	100,00	49,70	0,70	Tentativa 05	2,50	0,20	0,28	Tentativa 05	2,50	0,30	0,35	Tentativa 05	3,40	0,40	0,34	Tentativa 05	1,00	0,10	0,32
Tentativa 06	100,00	36,40	0,60	Tentativa 06	2,50	0,10	0,20	Tentativa 06	2,50	0,10	0,20	Tentativa 06	3,40	0,20	0,24	Tentativa 06	1,00	0,10	0,32
Tentativa 07	100,00	29,70	0,54	Tentativa 07	2,50	0,20	0,28	Tentativa 07	2,50	0,10	0,20	Tentativa 07	3,40	0,40	0,34	Tentativa 07	1,00	0,05	0,22
Tentativa 08	100,00	19,80	0,44	Tentativa 08	2,50	0,10	0,20	Tentativa 08	2,50	0,40	0,40	Tentativa 08	3,40	0,20	0,24	Tentativa 08	1,00	0,05	0,22
Tentativa 09	100,00	42,60	0,65	Tentativa 09	2,50	0,10	0,20	Tentativa 09	2,50	0,10	0,20	Tentativa 09	3,40	0,30	0,30	Tentativa 09	1,00	0,05	0,22
Tentativa 10	100,00	18,50	0,43	Tentativa 10	2,50	0,40	0,40	Tentativa 10	2,50	0,10	0,20	Tentativa 10	3,40	0,30	0,30	Tentativa 10	1,00	0,05	0,22
Média			0,58	Média			0,26	Média			0,29	Média			0,30	Média			0,27
Desvio médio			0,11	Desvio médio			0,06	Desvio médio			0,09	Desvio médio			0,03	Desvio médio			0,05
Desvio padrão			0,13	Desvio padrão			0,07	Desvio padrão			0,10	Desvio padrão			0,04	Desvio padrão			0,05

Quadro 12- Resultado do coeficiente de restituição na P6c com os cinco métodos

Esfera				Madeira				Barra de aço				Barra roscada				Protótipo			
P6c	h1(cm)	h2(cm)	e	P6c	h1(cm)	h2(cm)	e	P6c	h1(cm)	h2(cm)	e	P6c	h1(cm)	h2(cm)	e	P6c	h1(cm)	h2(cm)	e
Tentativa 01	100,00	35,50	0,60	Tentativa 01	2,50	0,10	0,20	Tentativa 01	2,50	0,30	0,35	Tentativa 01	3,40	0,20	0,24	Tentativa 01	1,00	0,10	0,32
Tentativa 02	100,00	8,00	0,28	Tentativa 02	2,50	0,30	0,35	Tentativa 02	2,50	0,50	0,45	Tentativa 02	3,40	0,40	0,34	Tentativa 02	1,00	0,20	0,45
Tentativa 03	100,00	20,80	0,46	Tentativa 03	2,50	0,20	0,28	Tentativa 03	2,50	0,05	0,14	Tentativa 03	3,40	0,10	0,17	Tentativa 03	1,00	0,10	0,32
Tentativa 04	100,00	36,50	0,60	Tentativa 04	2,50	0,10	0,20	Tentativa 04	2,50	0,10	0,20	Tentativa 04	3,40	0,40	0,34	Tentativa 04	1,00	0,05	0,22
Tentativa 05	100,00	33,50	0,58	Tentativa 05	2,50	0,20	0,28	Tentativa 05	2,50	0,20	0,28	Tentativa 05	3,40	0,50	0,38	Tentativa 05	1,00	0,05	0,22
Tentativa 06	100,00	33,60	0,58	Tentativa 06	2,50	0,10	0,20	Tentativa 06	2,50	0,40	0,40	Tentativa 06	3,40	0,90	0,51	Tentativa 06	1,00	0,10	0,32
Tentativa 07	100,00	22,80	0,48	Tentativa 07	2,50	0,20	0,28	Tentativa 07	2,50	0,10	0,20	Tentativa 07	3,40	0,20	0,24	Tentativa 07	1,00	0,20	0,45
Tentativa 08	100,00	39,50	0,63	Tentativa 08	2,50	0,20	0,28	Tentativa 08	2,50	0,20	0,28	Tentativa 08	3,40	0,40	0,34	Tentativa 08	1,00	0,10	0,32
Tentativa 09	100,00	19,00	0,44	Tentativa 09	2,50	0,05	0,14	Tentativa 09	2,50	0,40	0,40	Tentativa 09	3,40	0,20	0,24	Tentativa 09	1,00	0,05	0,22
Tentativa 10	100,00	30,50	0,55	Tentativa 10	2,50	0,30	0,35	Tentativa 10	2,50	0,30	0,35	Tentativa 10	3,40	0,30	0,30	Tentativa 10	1,00	0,10	0,32
Média			0,52	Média			0,26	Média			0,30	Média			0,31	Média			0,31
Desvio médio			0,08	Desvio médio			0,06	Desvio médio			0,08	Desvio médio			0,07	Desvio médio			0,05
Desvio padrão			0,10	Desvio padrão			0,06	Desvio padrão			0,10	Desvio padrão			0,09	Desvio padrão			0,08

APÊNDICE II
(Análise do som)

- **Resultados dos ensaios na Placa do tipo 1 sem patologia, (P1s).**

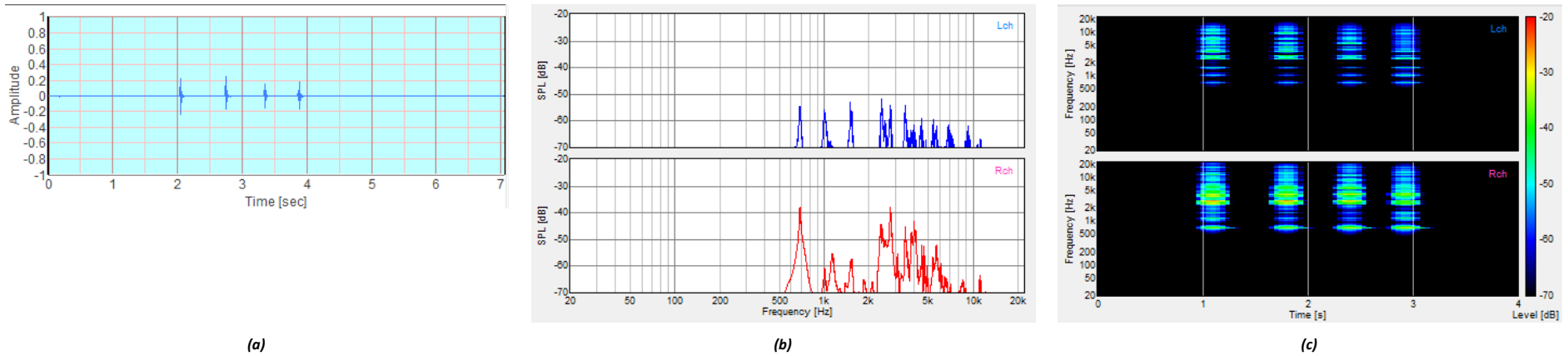


Figura A 1- Resultado da análise do impacto da esfera com a P1s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

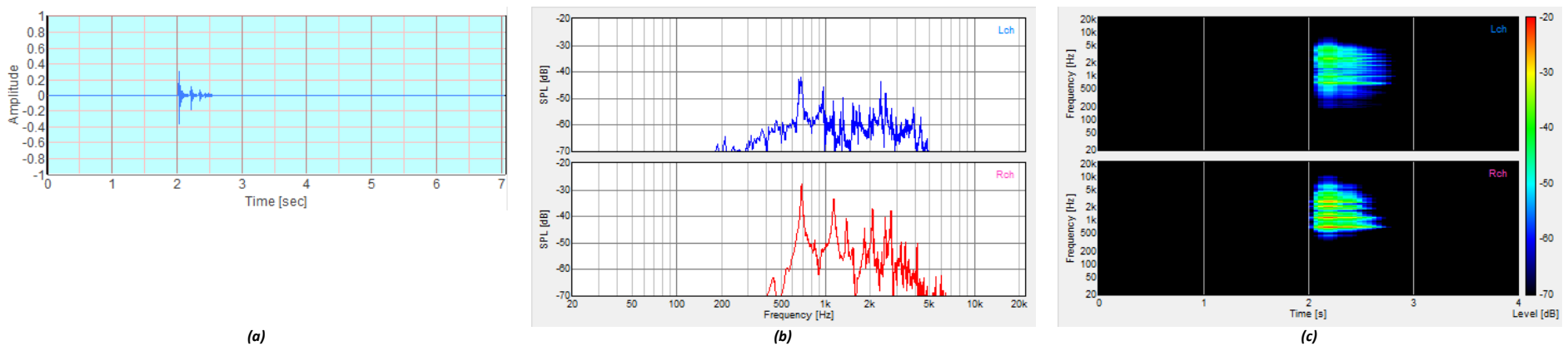


Figura A 2- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P1s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

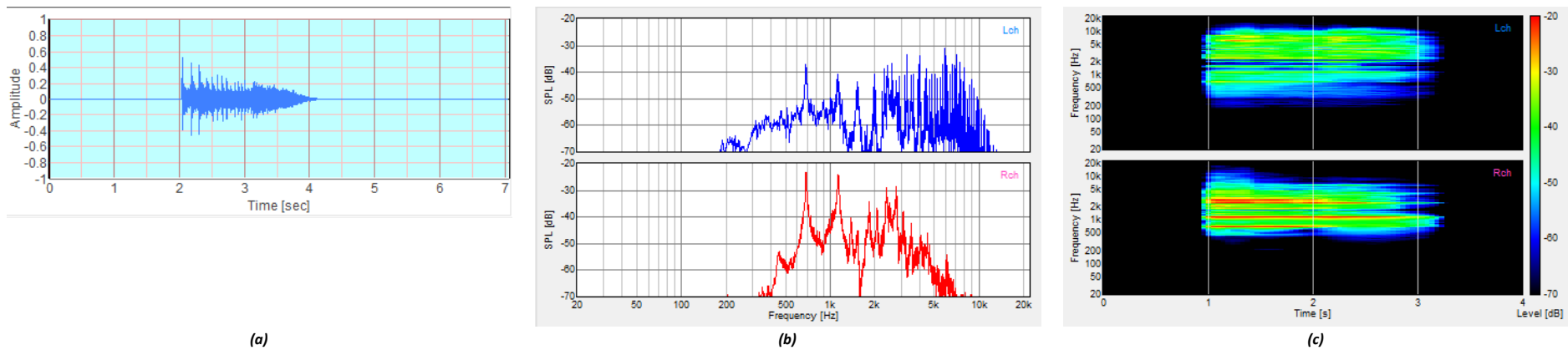


Figura A 3- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P1s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

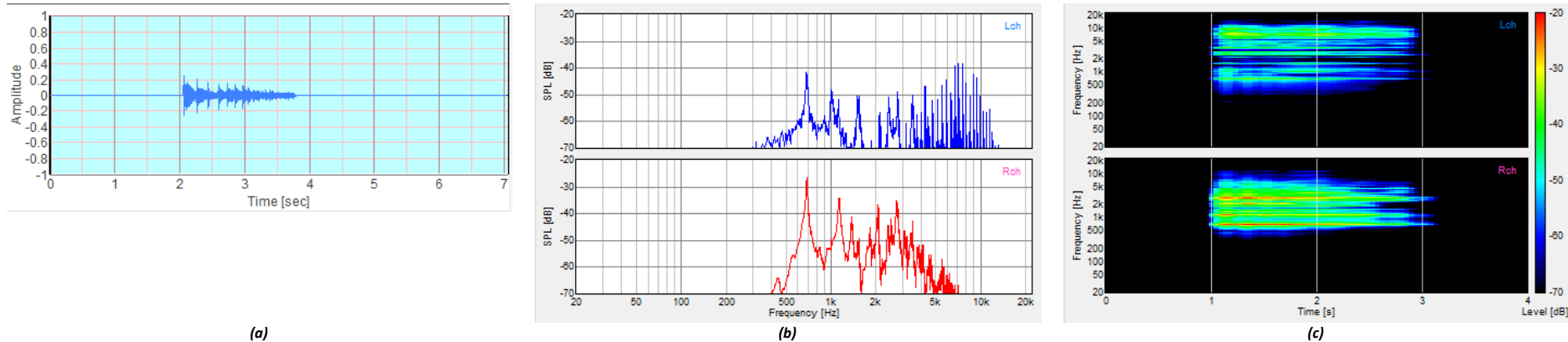
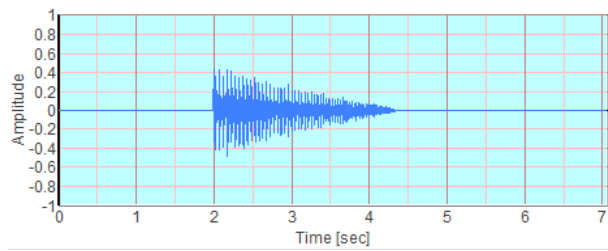
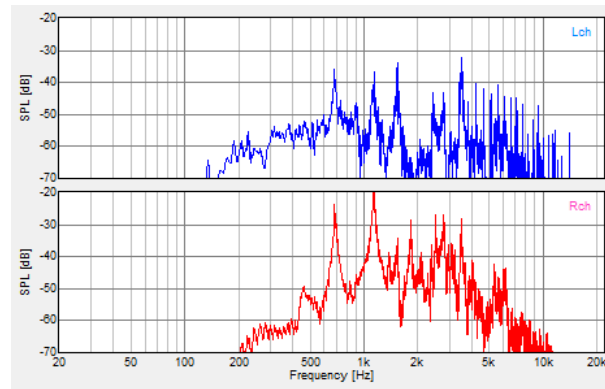


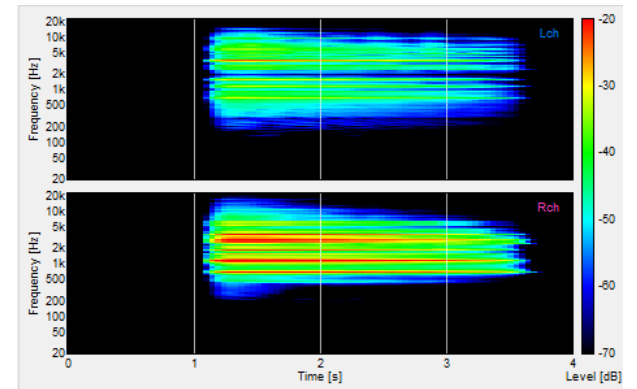
Figura A 4- Resultado da análise do impacto da barra rosca com a P1s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)



(b)



(c)

Figura A 5- Resultado da análise do impacto do percursó doprotótipo com a P1s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

- **Resultados dos ensaios na Placa do tipo 1 com patologia, (P1c).**

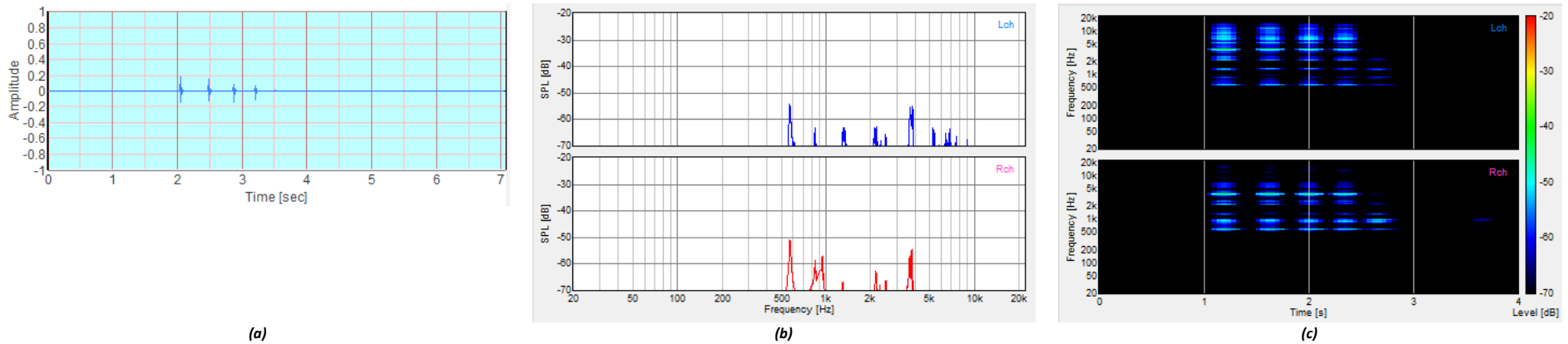


Figura A 6- Resultado da análise do impacto da esfera com a P1c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

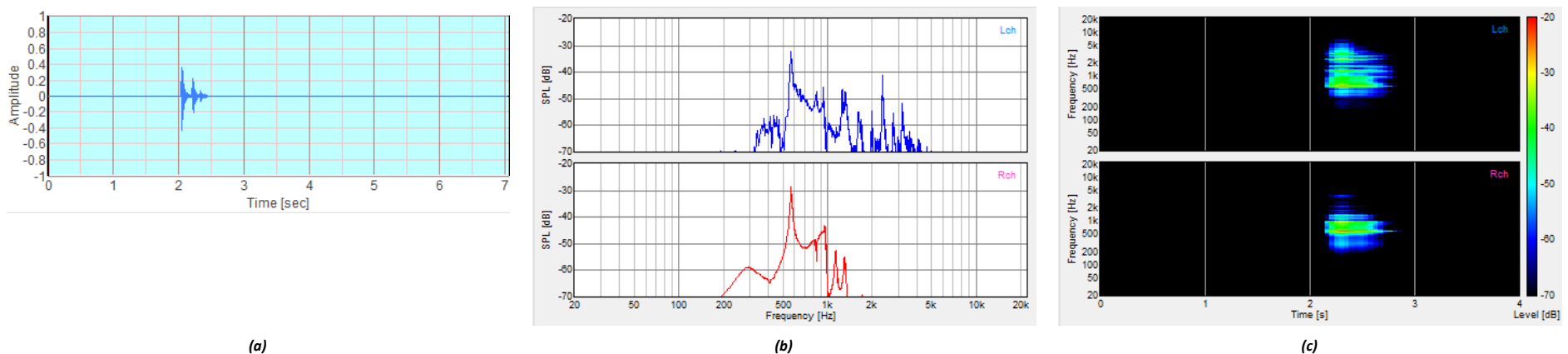
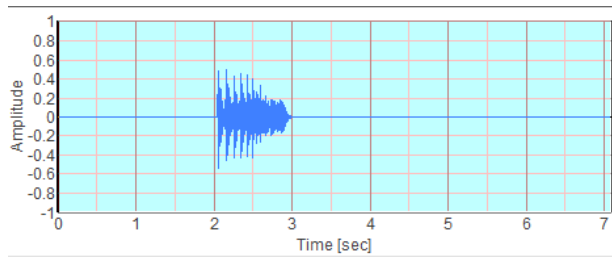
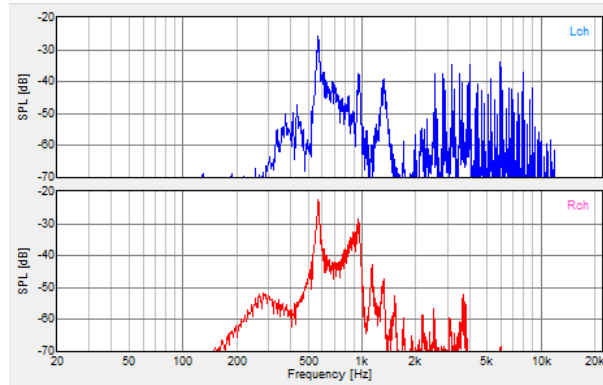


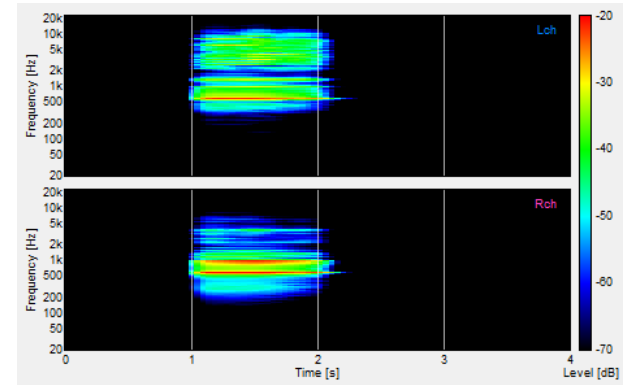
Figura A 7- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P1c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

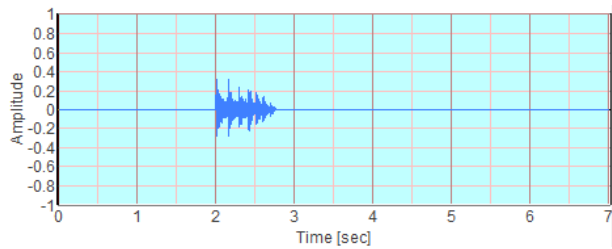


(b)

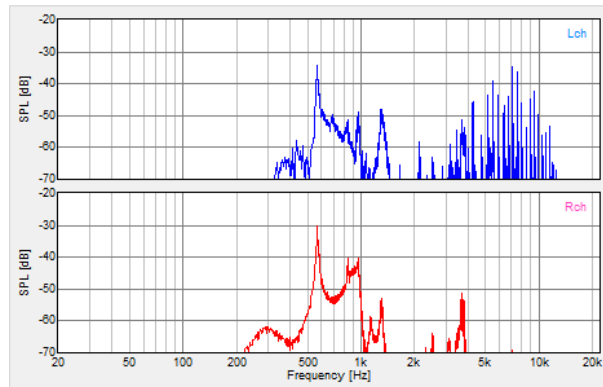


(c)

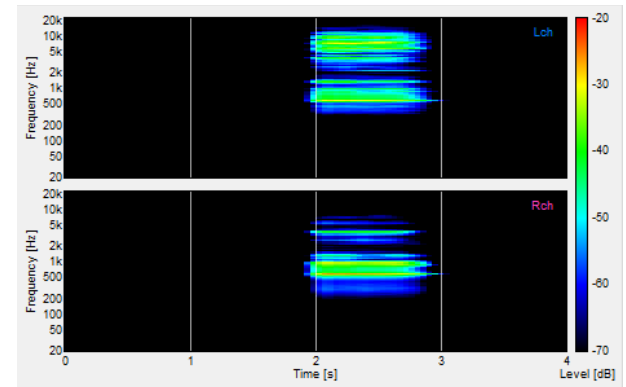
Figura A 8- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P1c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

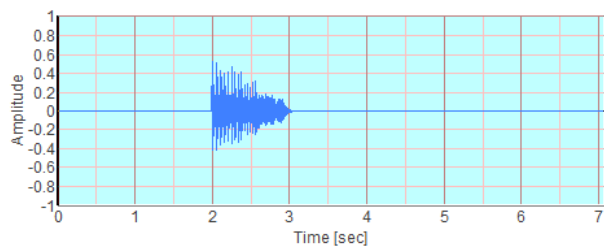


(b)

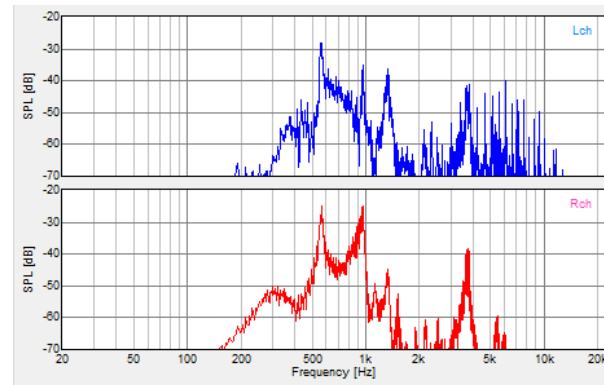


(c)

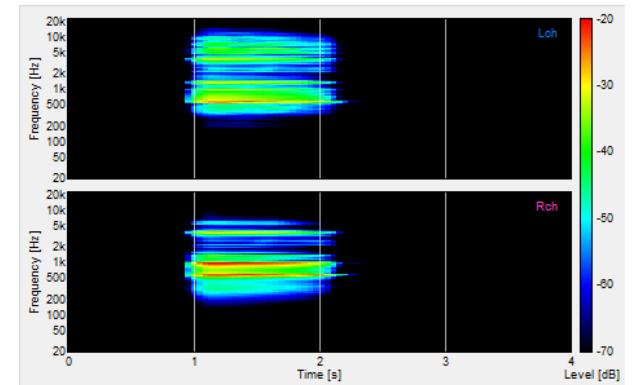
Figura A 9- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P1c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)



(b)



(c)

Figura A 10- Resultado da análise do percussor do protótipo com a P1c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

- **Resultados dos ensaios na Placa do tipo 2 sem patologia, (P2s).**

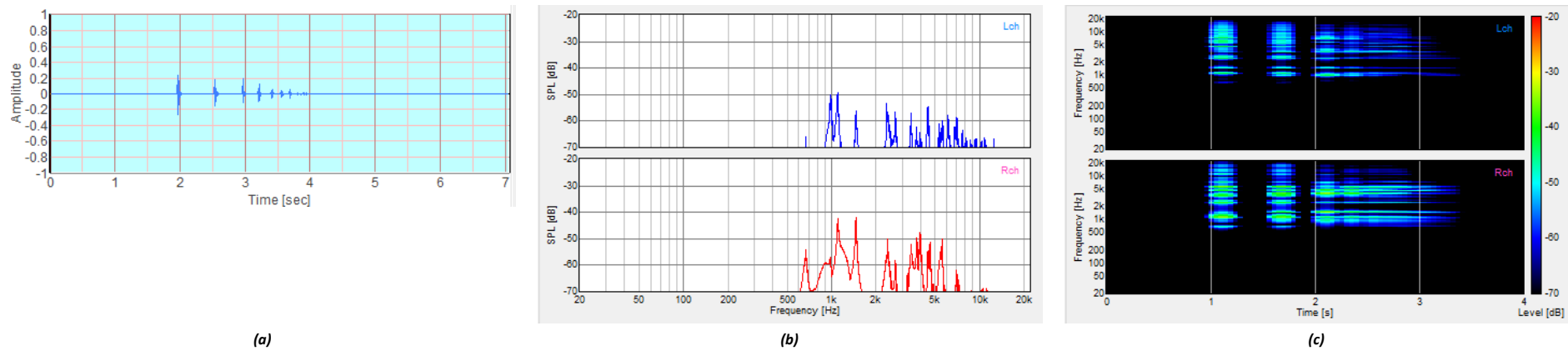


Figura A 11- Resultado da análise do impacto da esfera com a P2s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

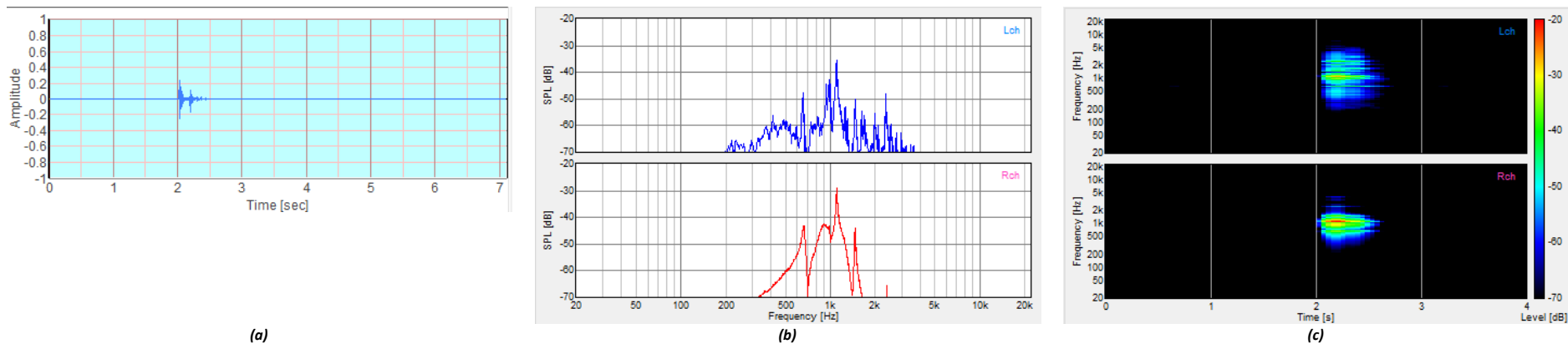
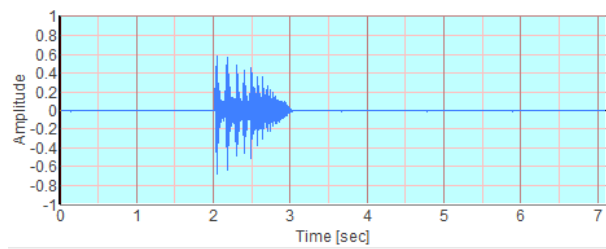
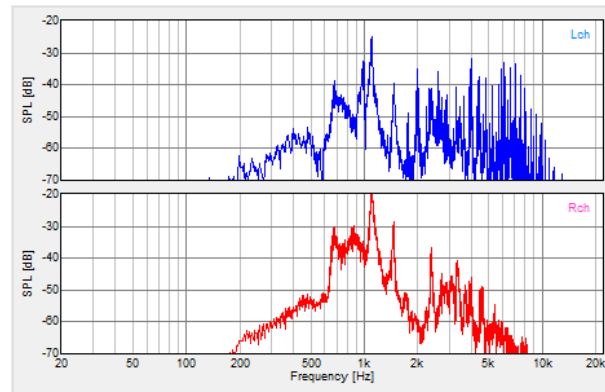


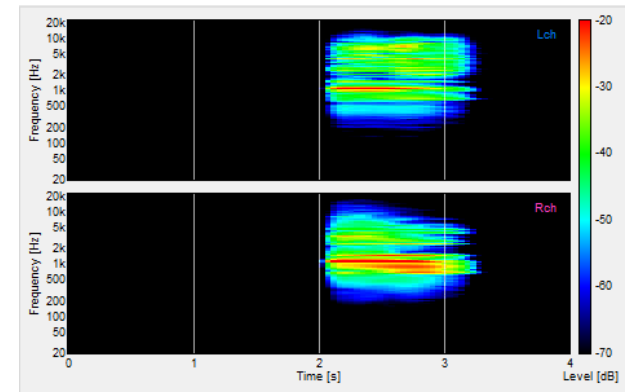
Figura A 12- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P2s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

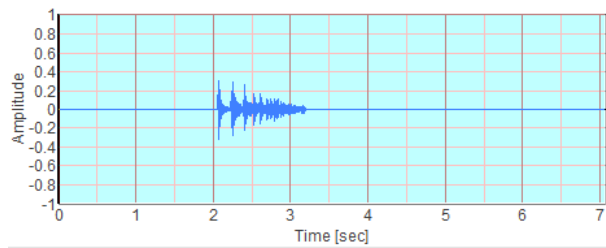


(b)

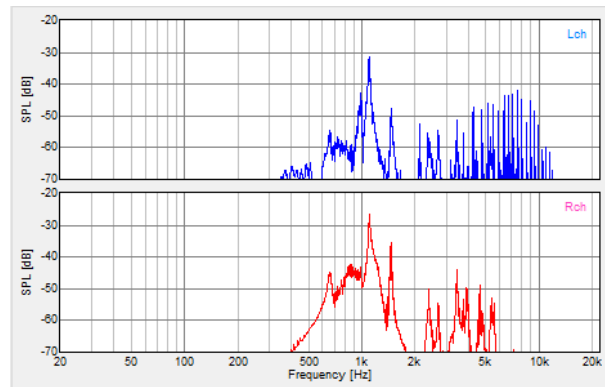


(c)

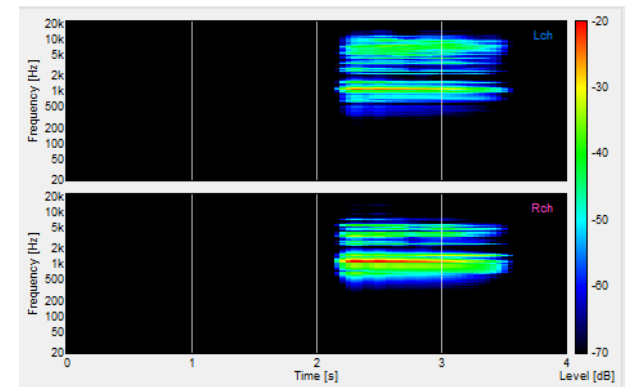
Figura A 13- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P2s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

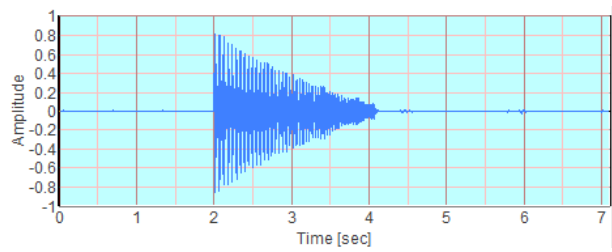


(b)

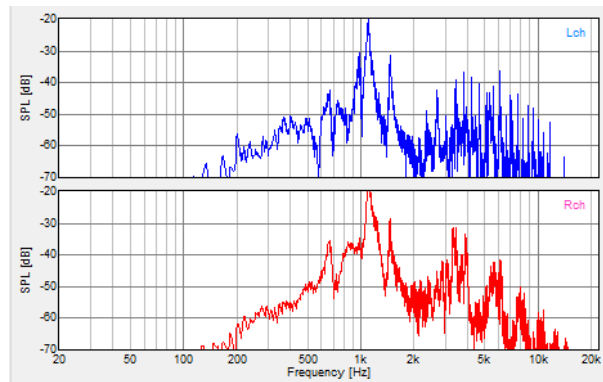


(c)

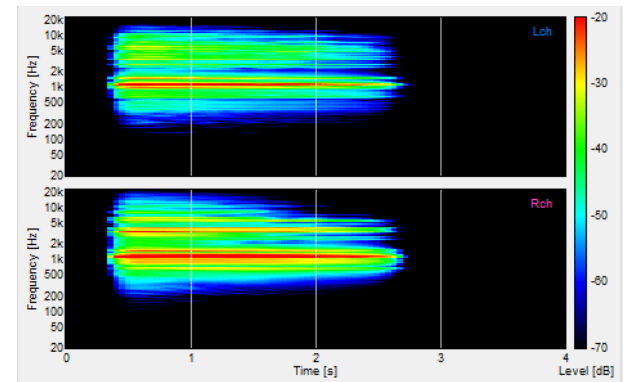
Figura A 14- Resultado da análise do impacto da barra rosca com a P2s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)



(b)



(c)

Figura A 15- Resultado da análise do impacto do percussor do protótipo com a P2s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

- **Resultados dos ensaios na Placa do tipo 2 com patologia, (P2c).**

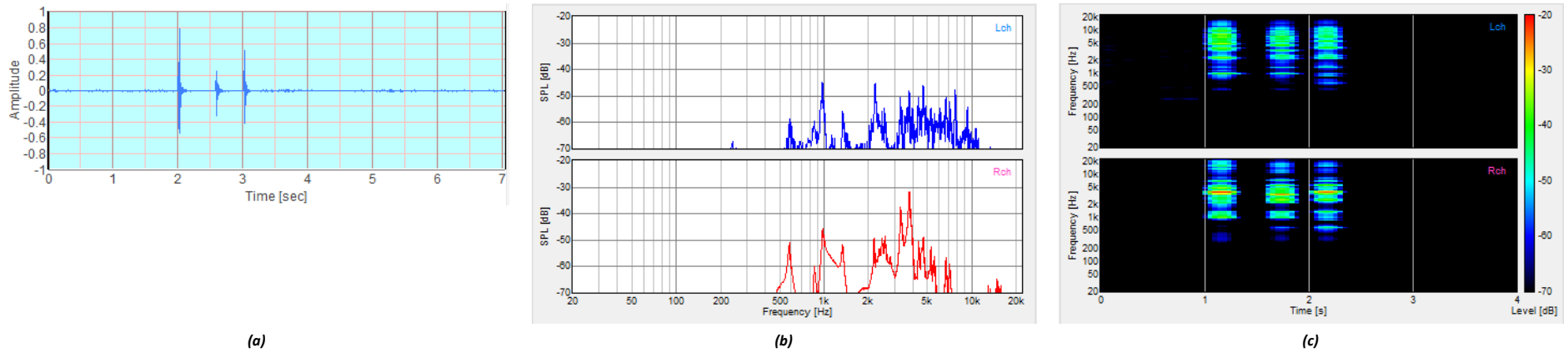


Figura A 16- Resultado da análise do impacto da esfera com a P2c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

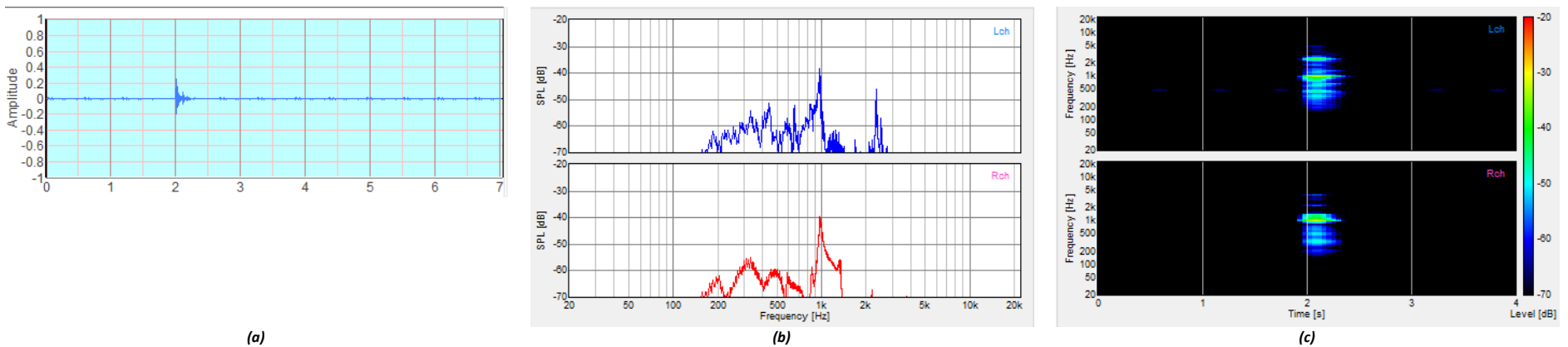
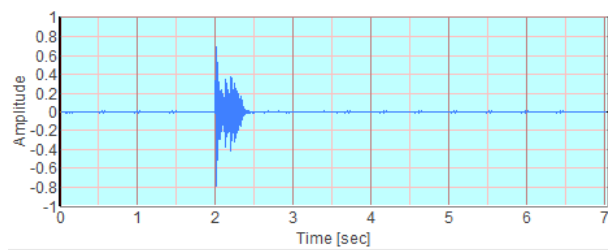
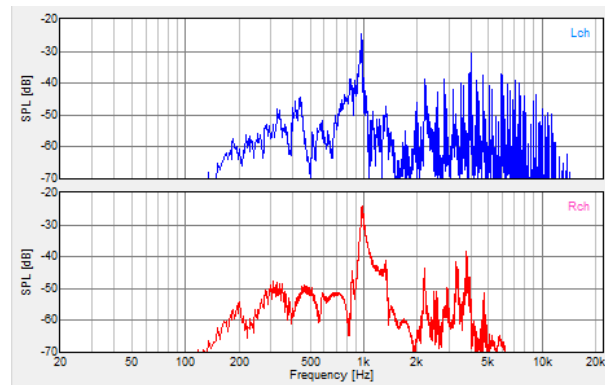


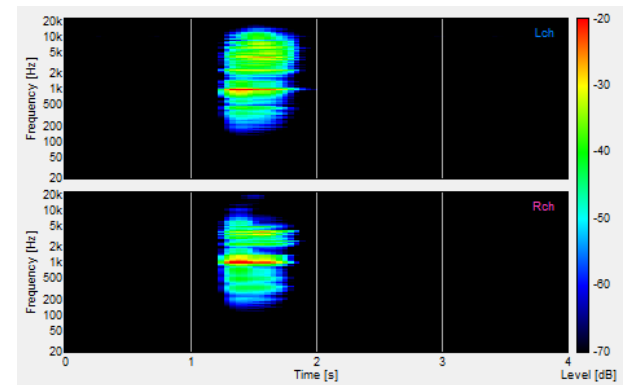
Figura A 17- Resultado da análise do impacto da madeira com a P2c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

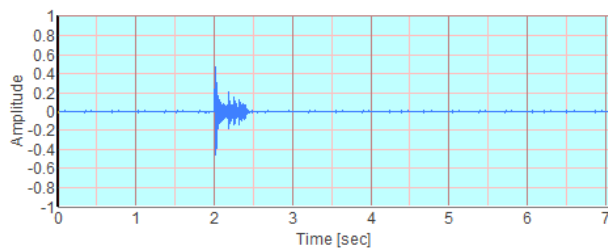


(b)

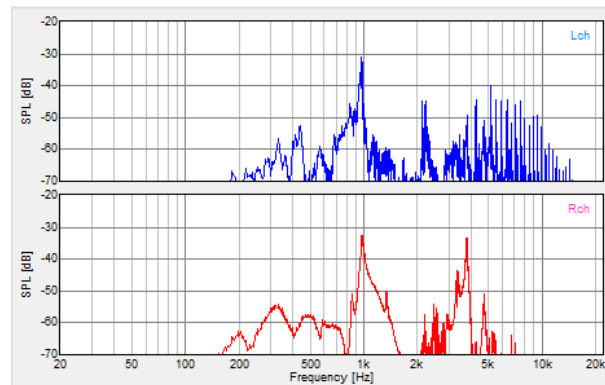


(c)

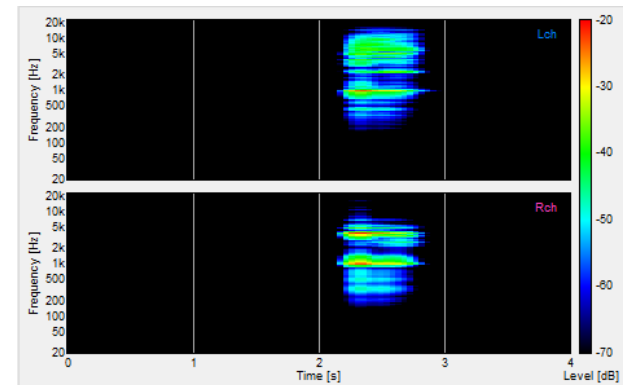
Figura A 18- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P2c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

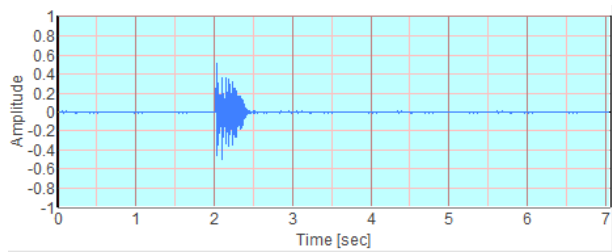


(b)

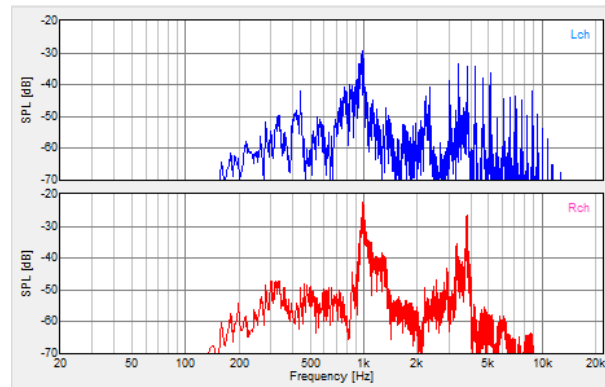


(c)

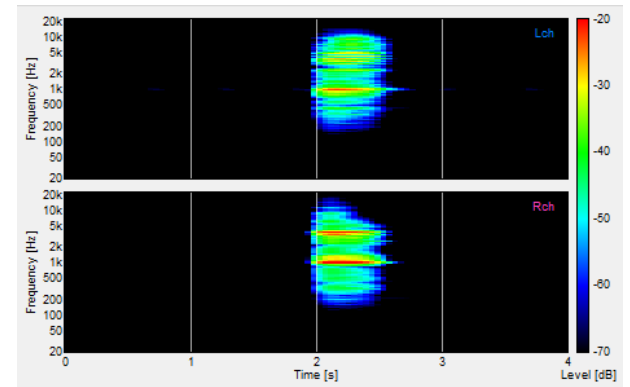
Figura A 19- Resultado da análise do impacto da barra rosca com a P2c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)



(b)



(c)

Figura A 20- Resultado da análise do impacto do percursor do protótipo com a P2c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

- **Resultados dos ensaios na Placa do tipo 3 sem patologia, (P3s)**

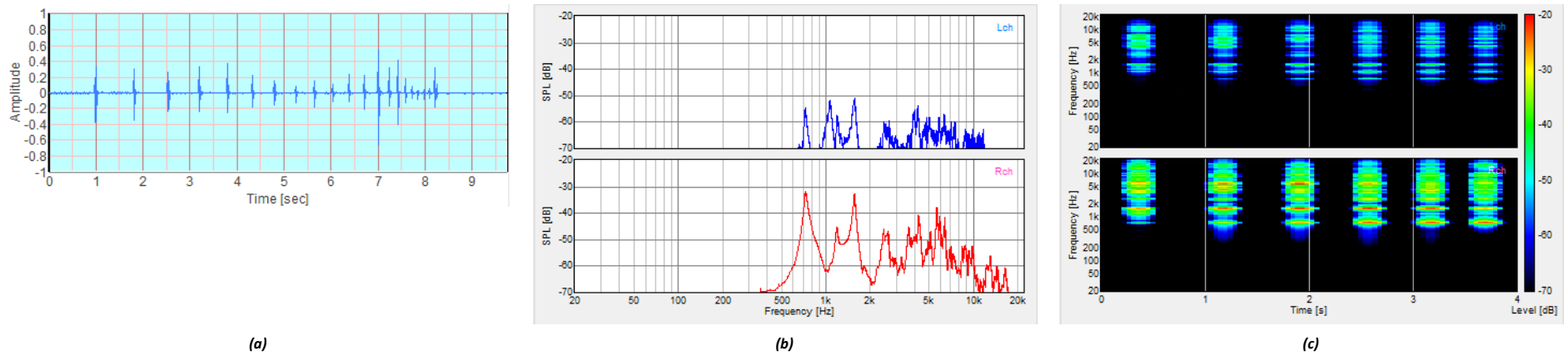


Figura A 21- Resultado da análise do impacto da esfera com a P3s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

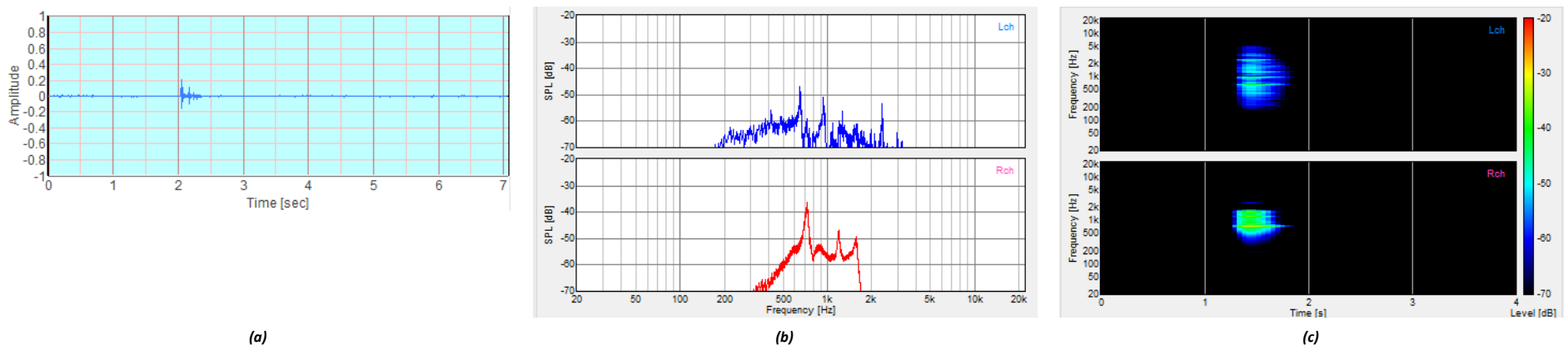
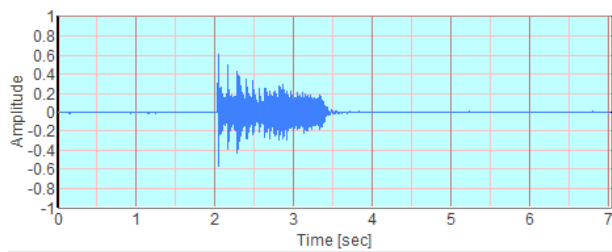
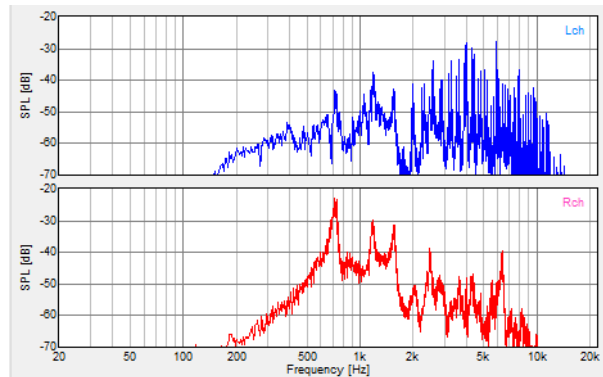


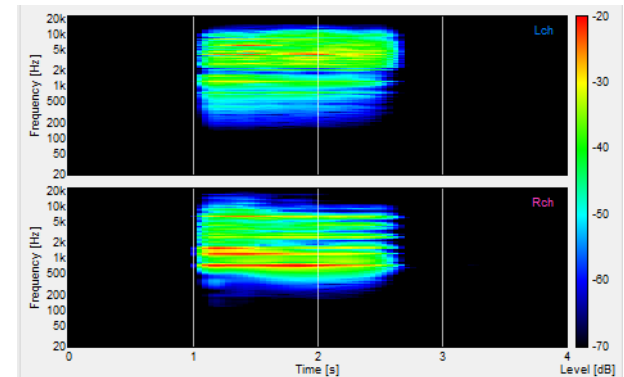
Figura A 22- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P3s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

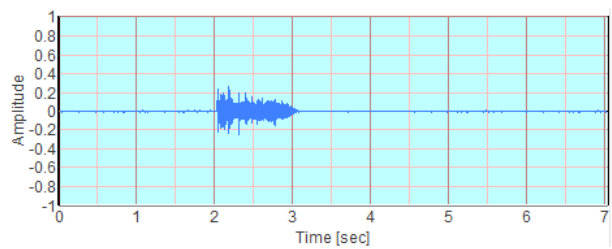


(b)

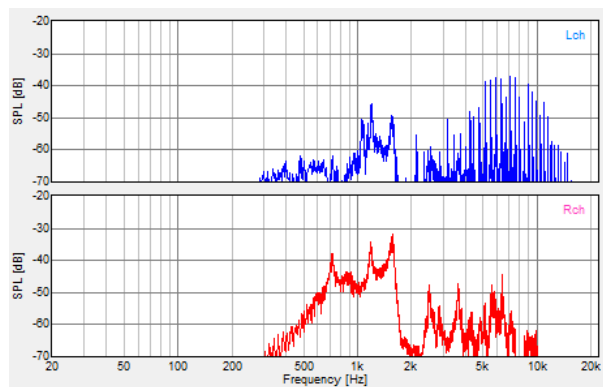


(c)

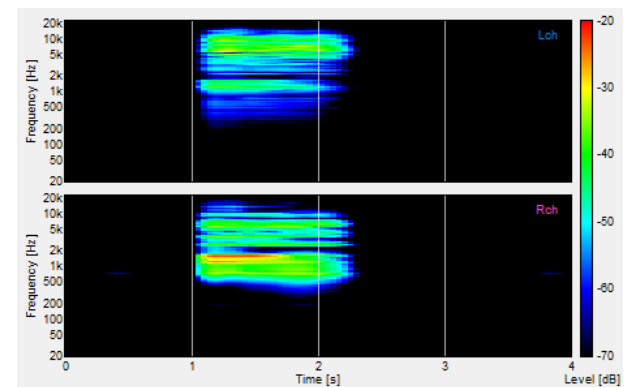
Figura A 23- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P3s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

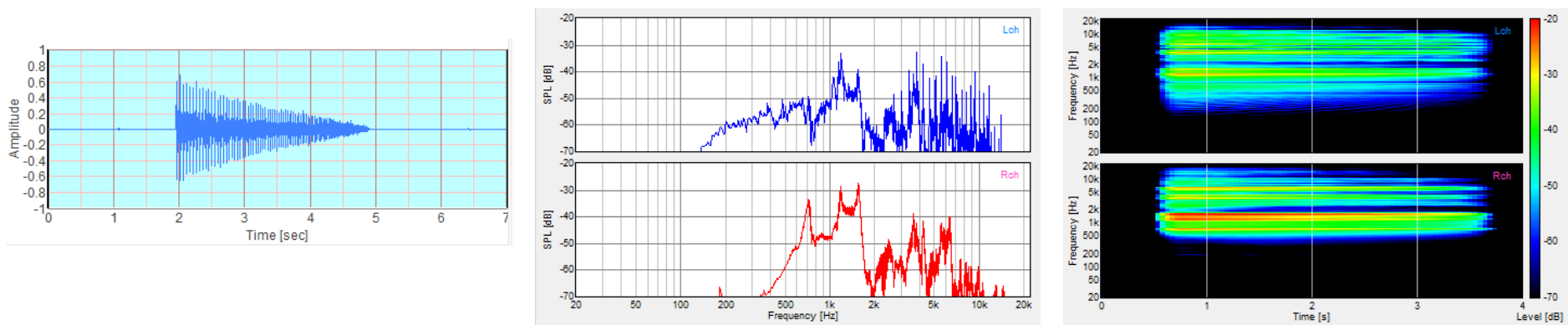


(b)



(c)

Figura A 24- Resultado da análise do impacto da barra rosca com a P3s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a) (b) (c)
 Figura A 25- Resultado da análise do impacto do percussor do protótipo com a P3s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

- **Resultados dos ensaios na Placa do tipo 3 com patologia, (P3c).**

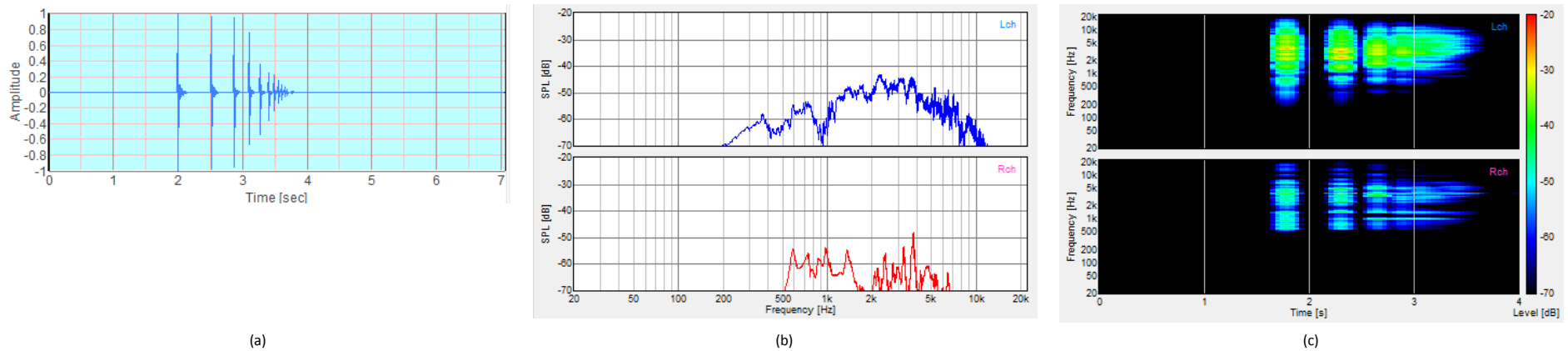


Figura A 26- Resultado da análise do impacto da esfera com a P3c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

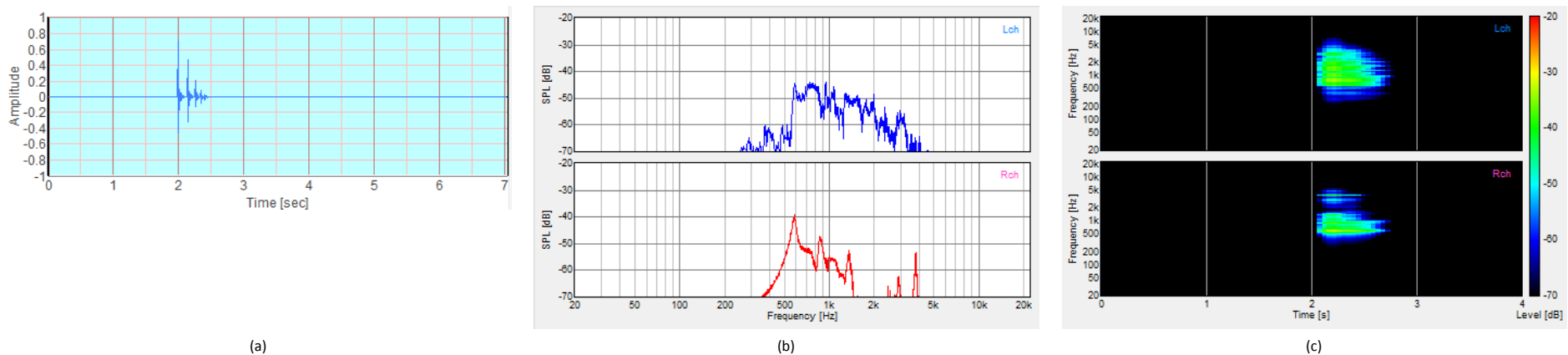
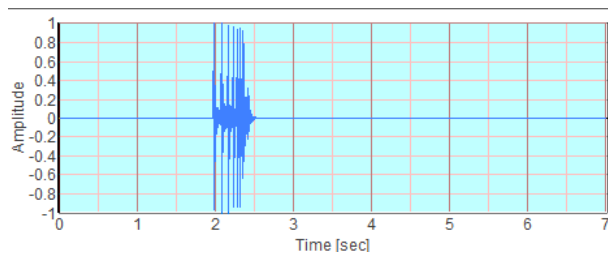
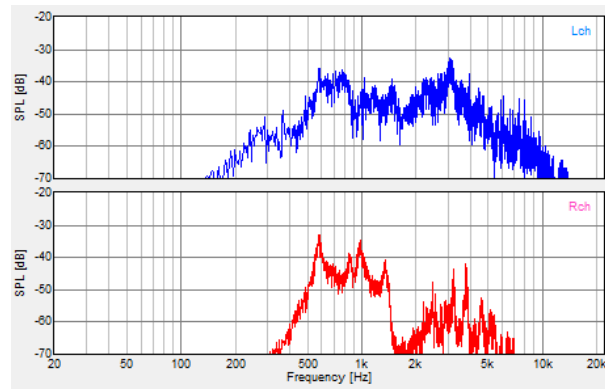


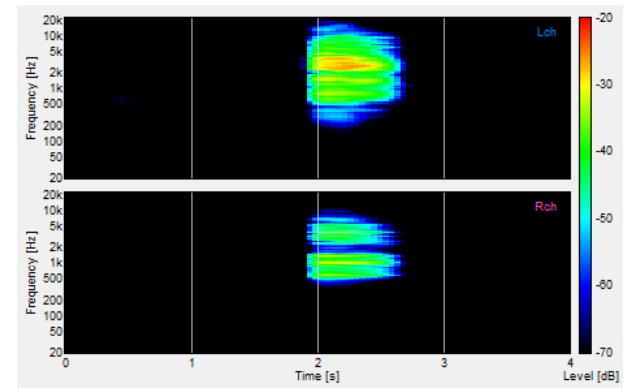
Figura A 27- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P3c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

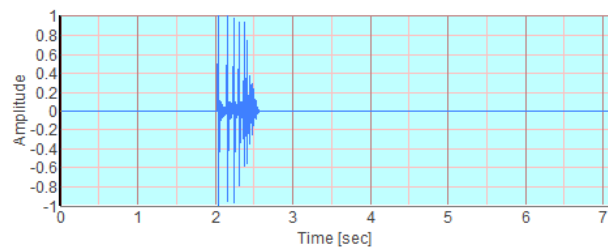


(b)

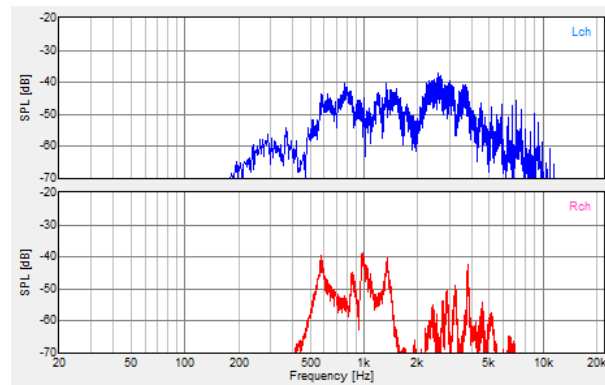


(c)

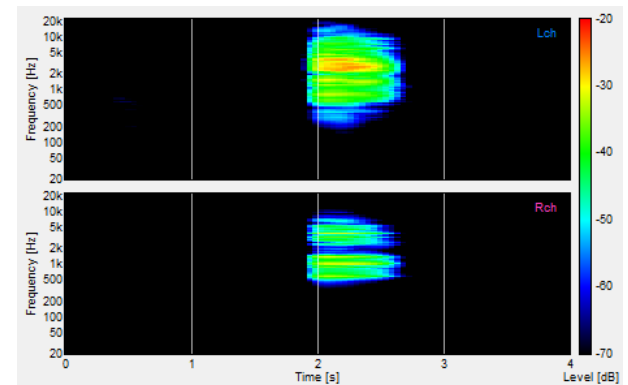
Figura A 28- Resultado da análise do impacto do barra de aço com a P3c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

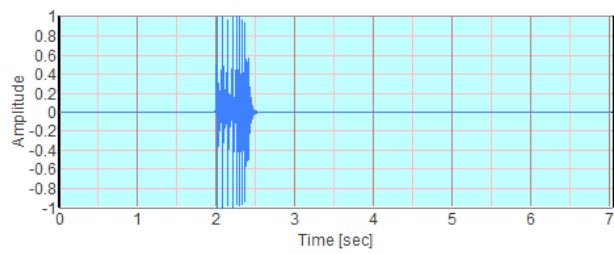


(b)

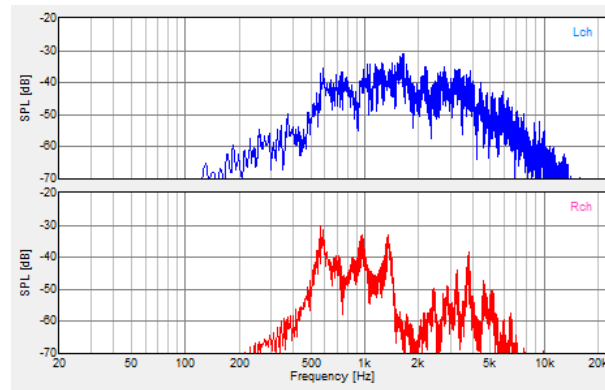


(c)

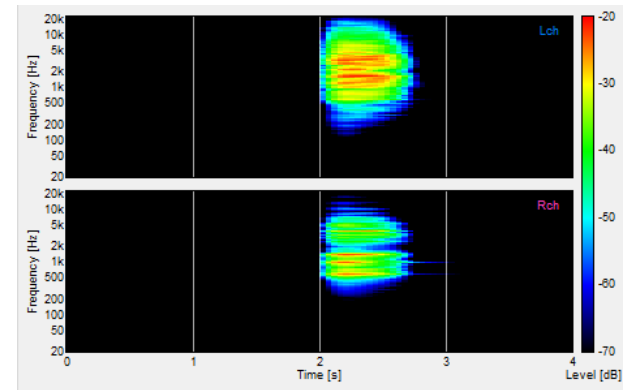
Figura A 29- Resultado da análise do impacto barra rosçada com a P3c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)



(b)



(c)

Figura A 30- Resultado da análise do impacto do precursor do protótipo com a P3c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

- **Resultados dos ensaios na Placa do tipo 4 sem patologia, (P4s).**

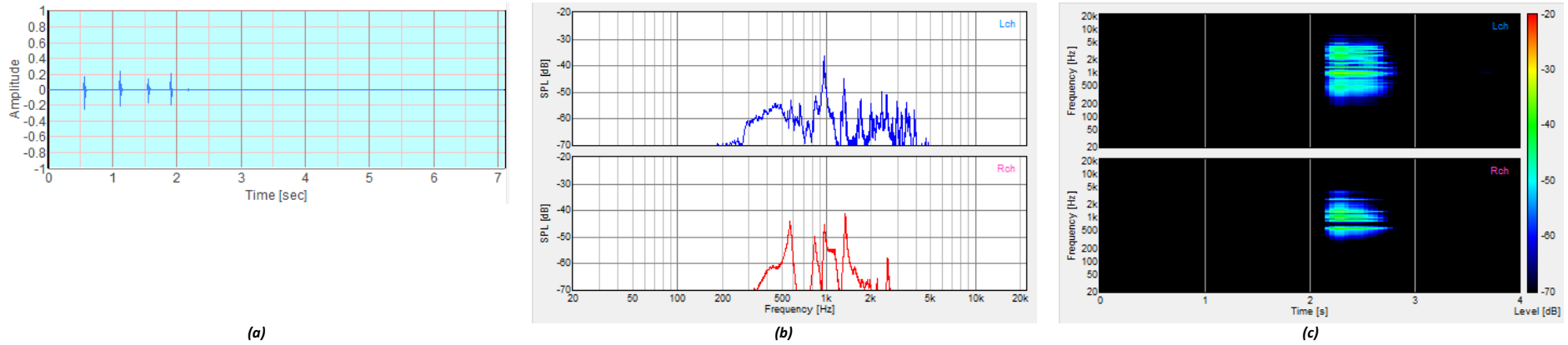


Figura A 31- Resultado da análise do impacto da esfera com a P4s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

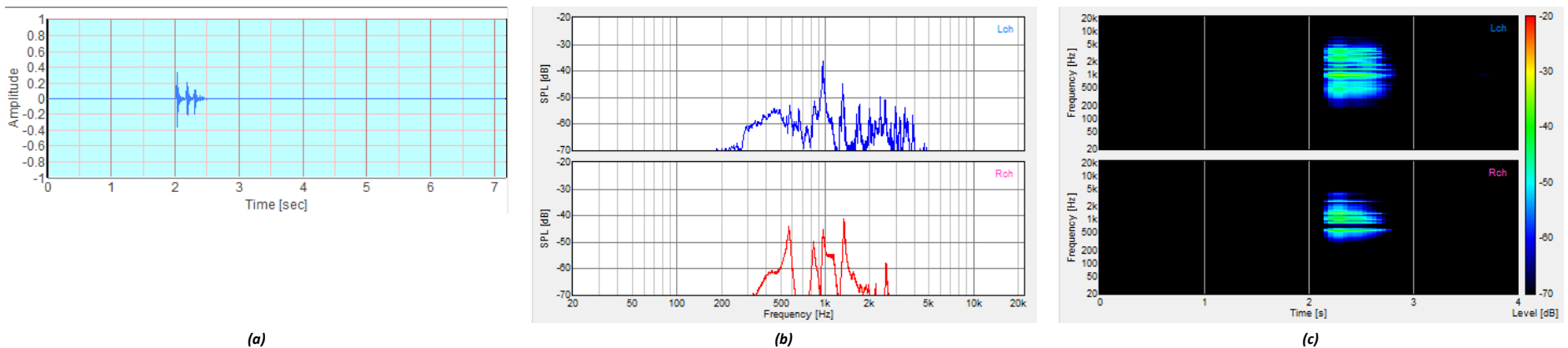
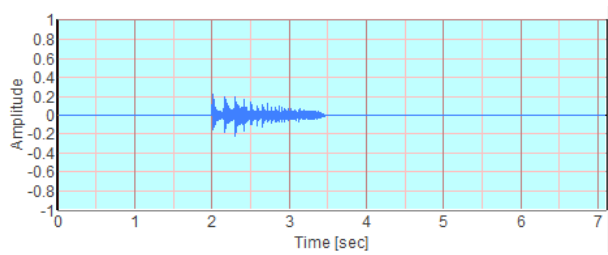
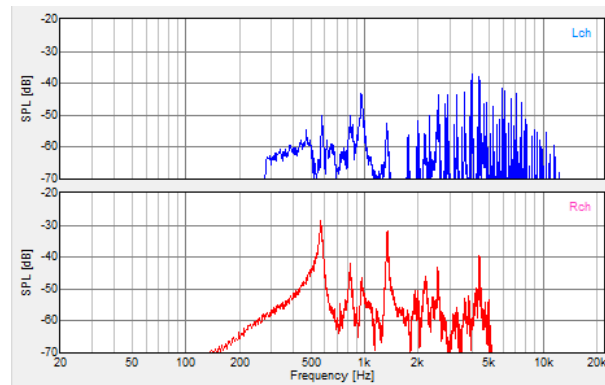


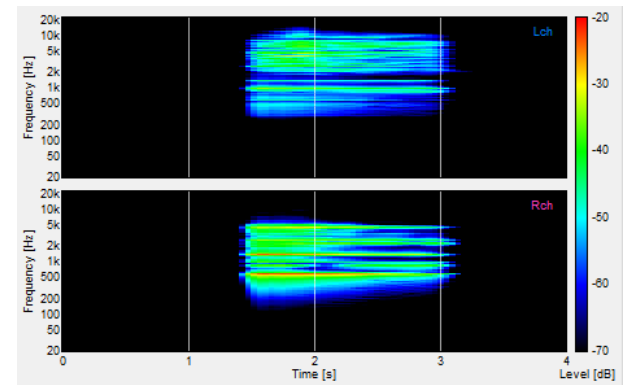
Figura A 32- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P4s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

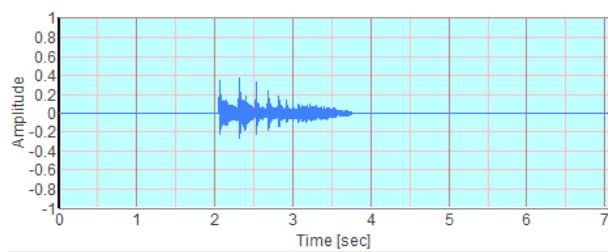


(b)

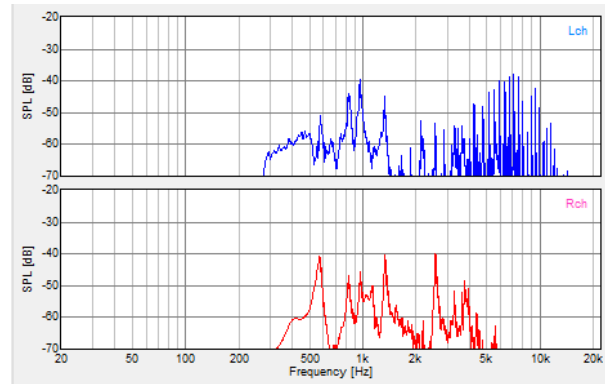


(c)

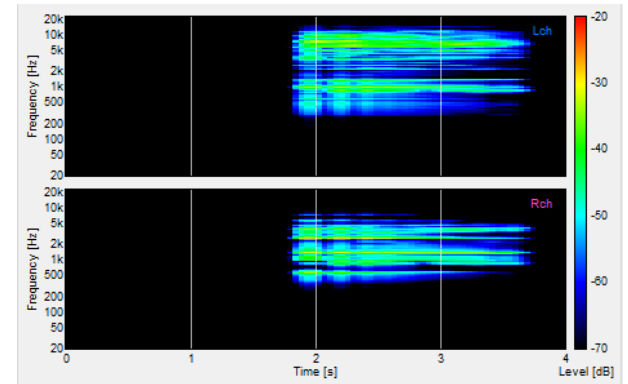
Figura A 33- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P4s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

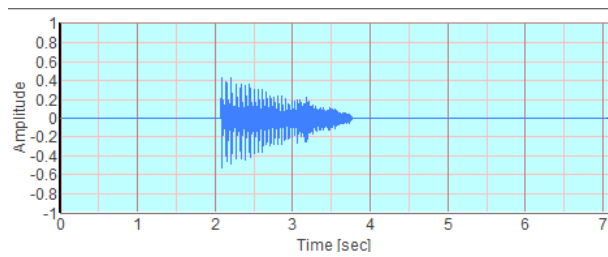


(b)

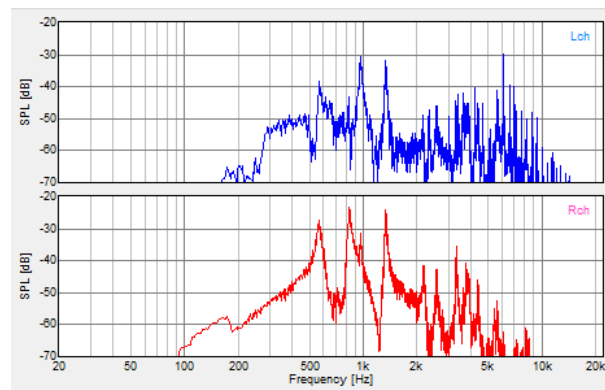


(c)

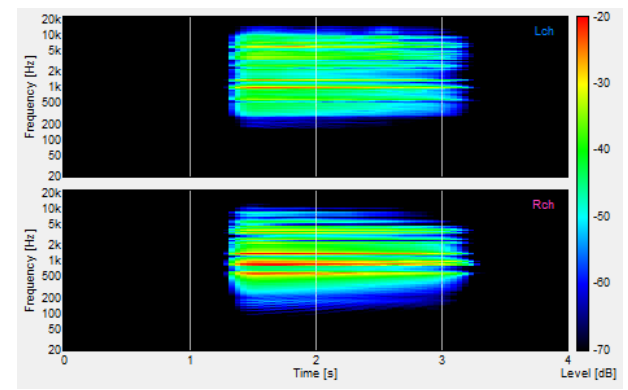
Figura A 34- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P4s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)



(b)



(c)

Figura A 35- Resultado da análise do impacto do prototipo com a P4s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

- **Resultados dos ensaios na Placa do tipo 4 com patologia, (P4c).**

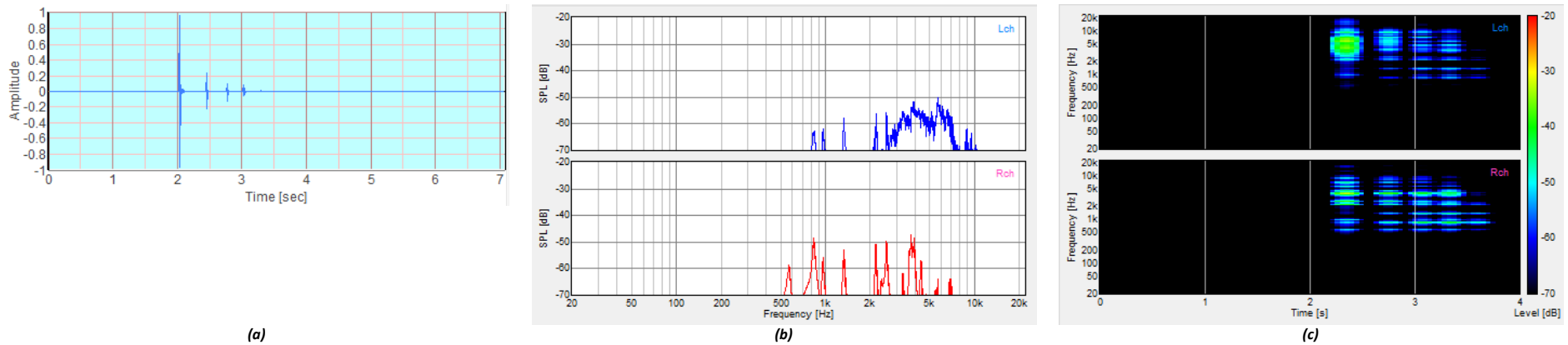


Figura A 36- Resultado da análise do impacto da esfera com a P4c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

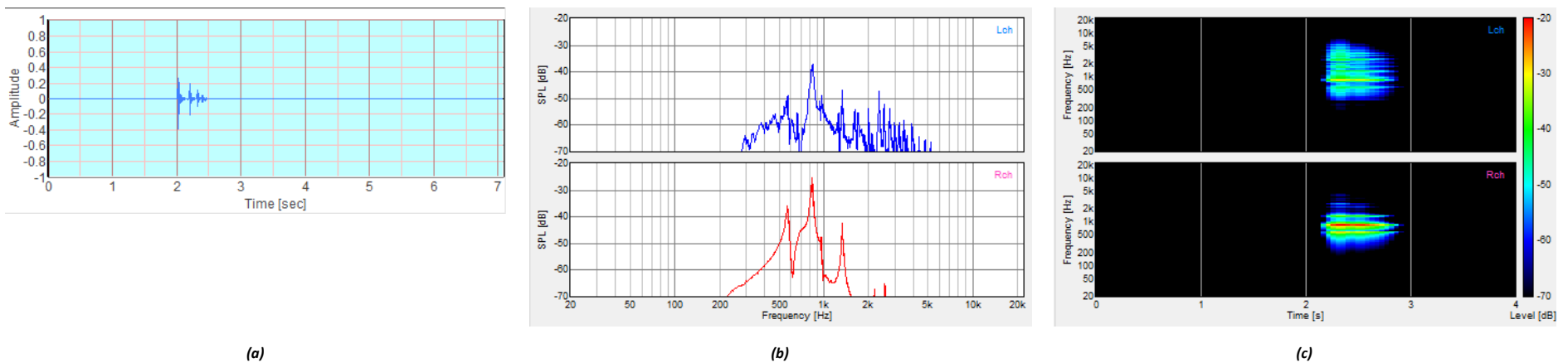
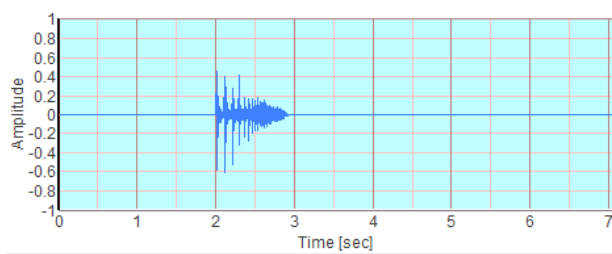
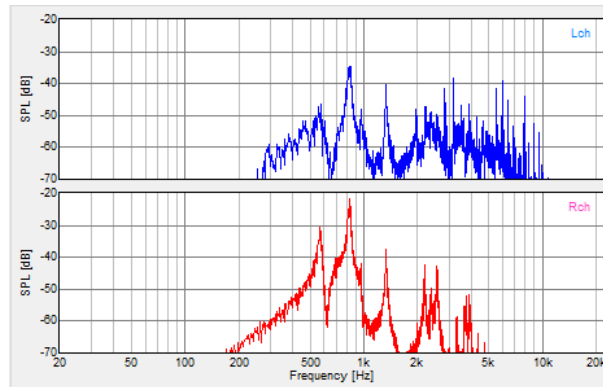


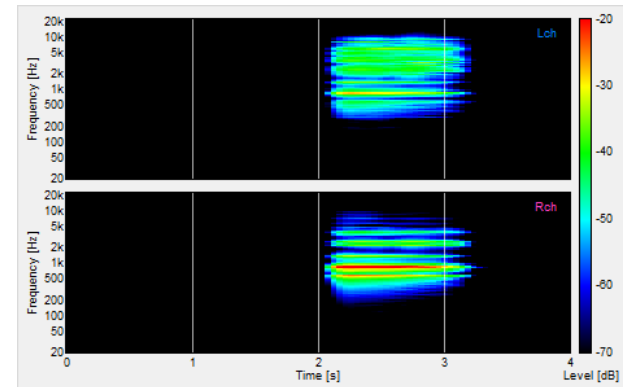
Figura A 37- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P4c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

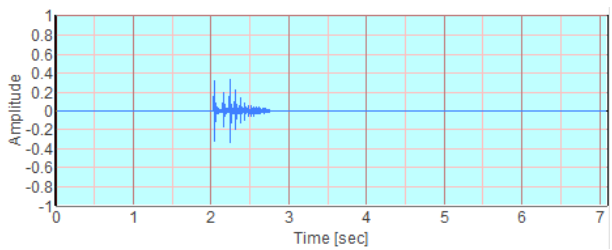


(b)

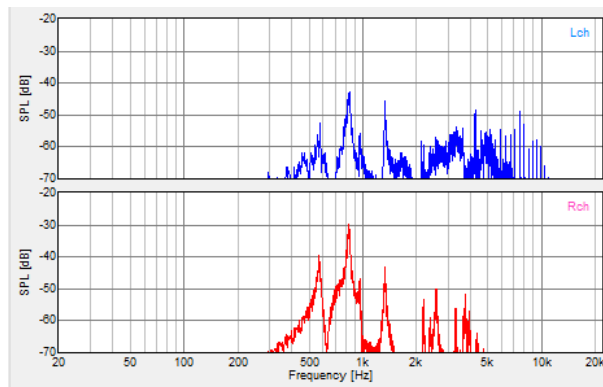


(c)

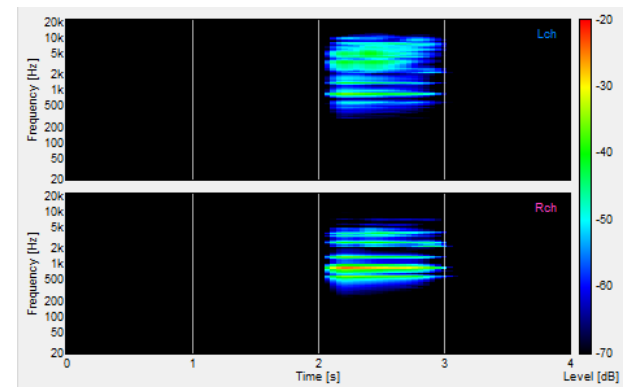
Figura A 38- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P4c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

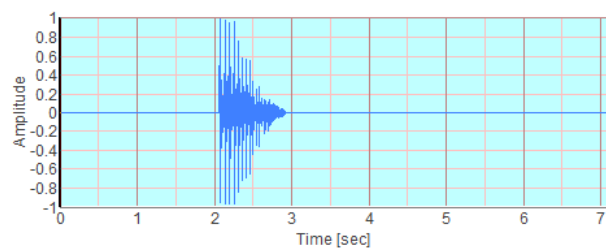


(b)

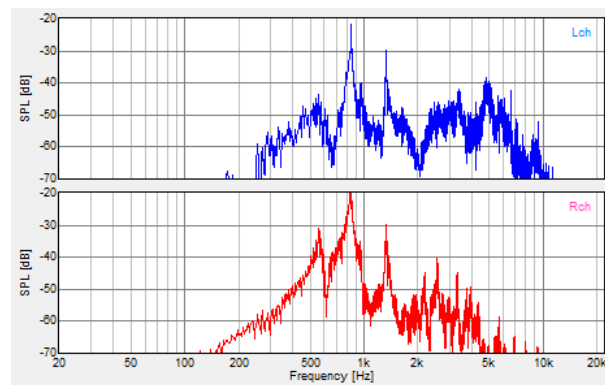


(c)

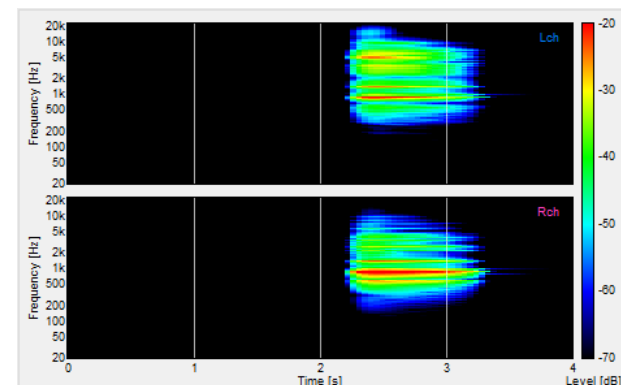
Figura A 39- Resultado da análise do impacto da barra rosca com a P4c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)



(b)



(c)

Figura A 40- Resultado da análise do impacto do precursor do protótipo com a P4c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

- **Resultados dos ensaios na Placa do tipo 5 sem patologia, (P5s).**

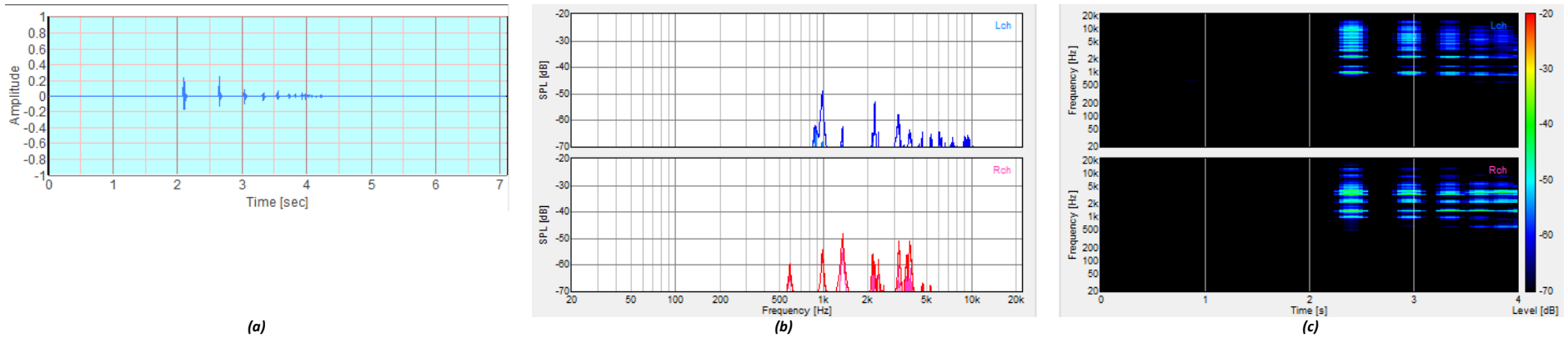


Figura A 41- Resultado da análise do impacto da esfera com a P5s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

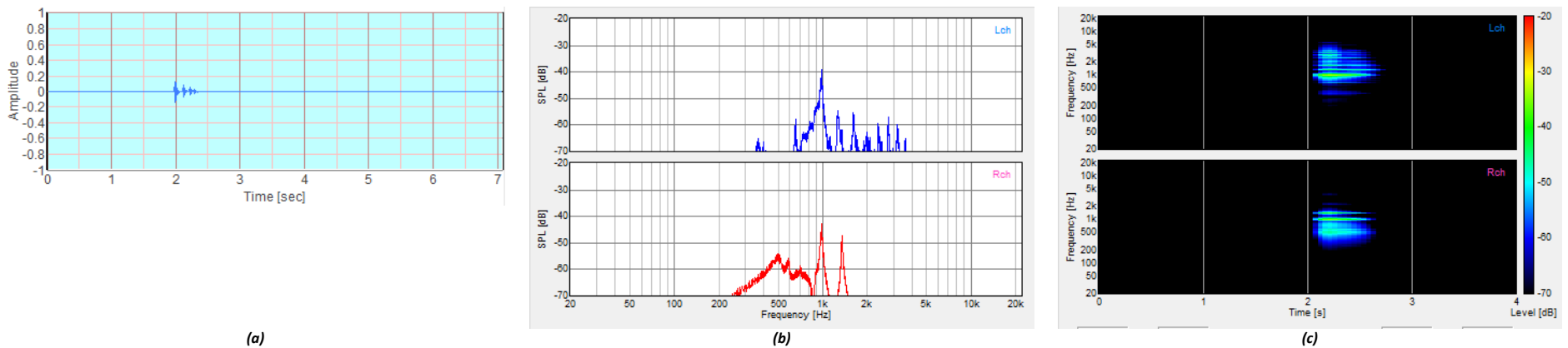
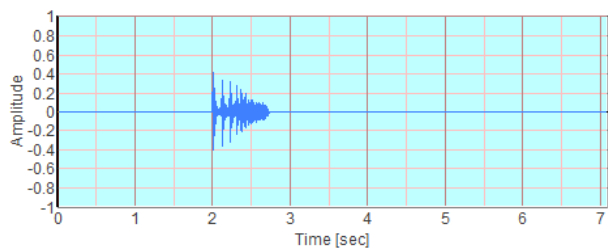
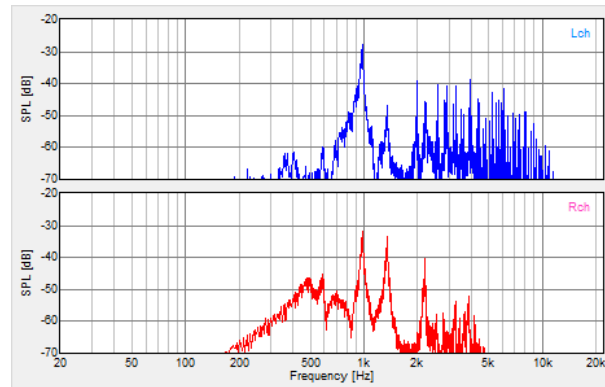


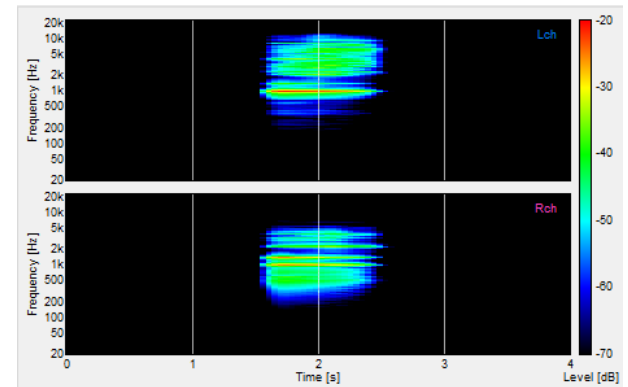
Figura A 42- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P5s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

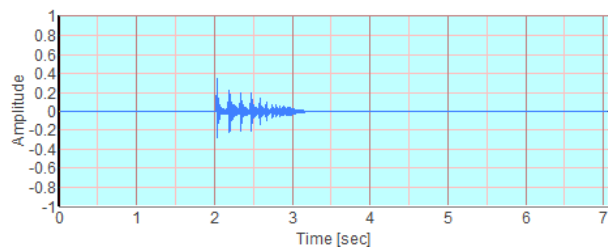


(b)

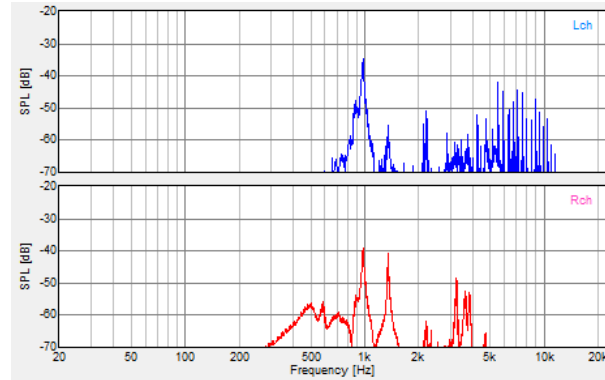


(c)

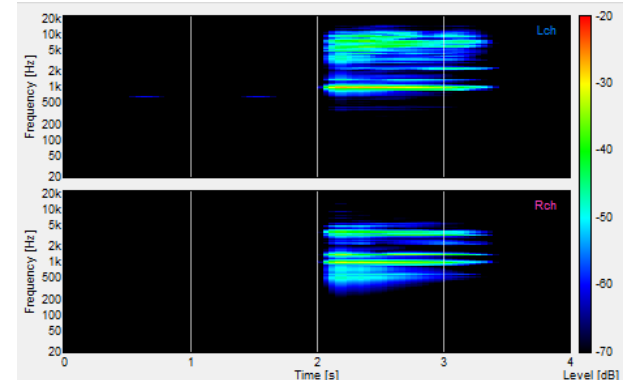
Figura A 43- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P5s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

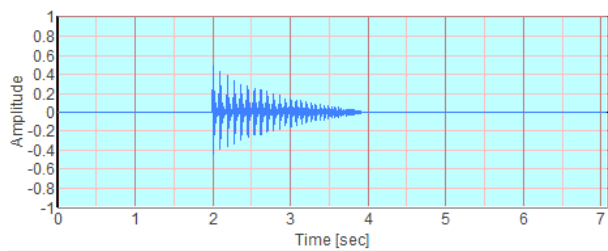


(b)

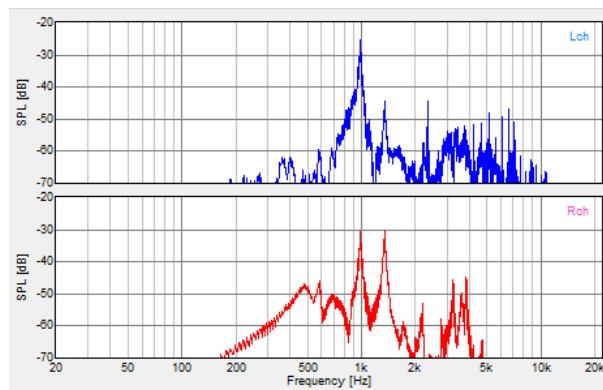


(c)

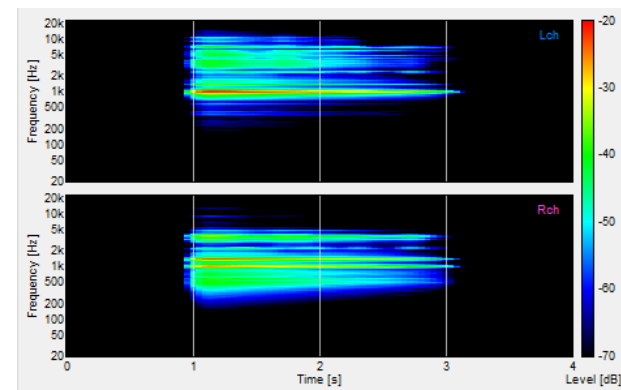
Figura A 44- Resultado da análise do impacto da barra rosca com a P5s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)



(b)



(c)

Figura A 45- Resultado da análise do impacto do percursor do protótipo com a P5s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

- **Resultados dos ensaios na Placa do tipo 5 com patologia, (P5c).**

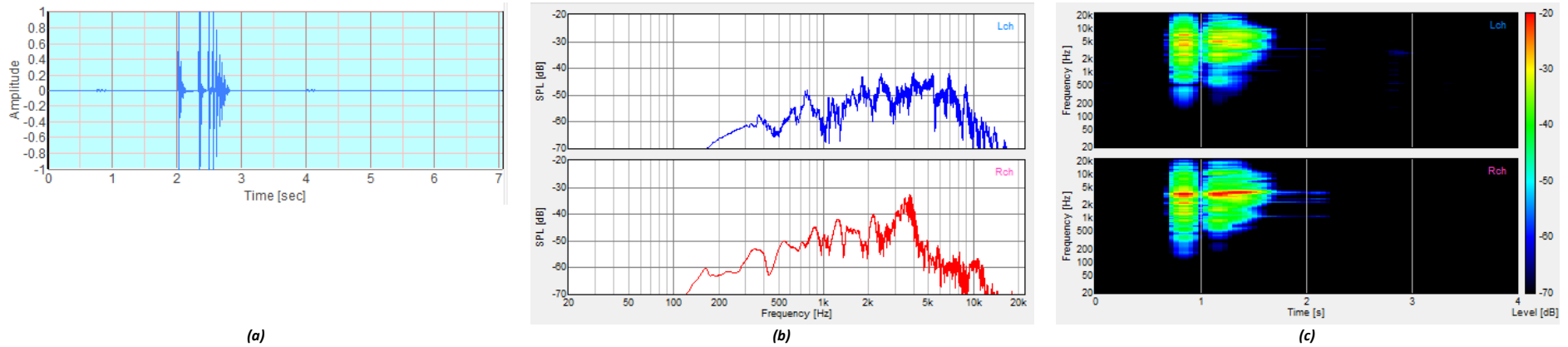


Figura A 46- Resultado da análise do impacto da esfera com a P5c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

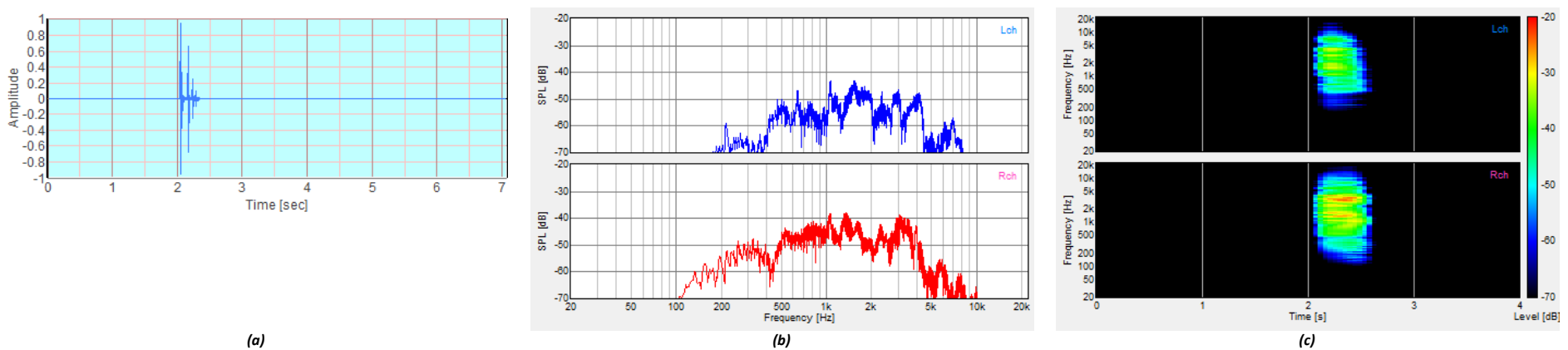


Figura A 47- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P5c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

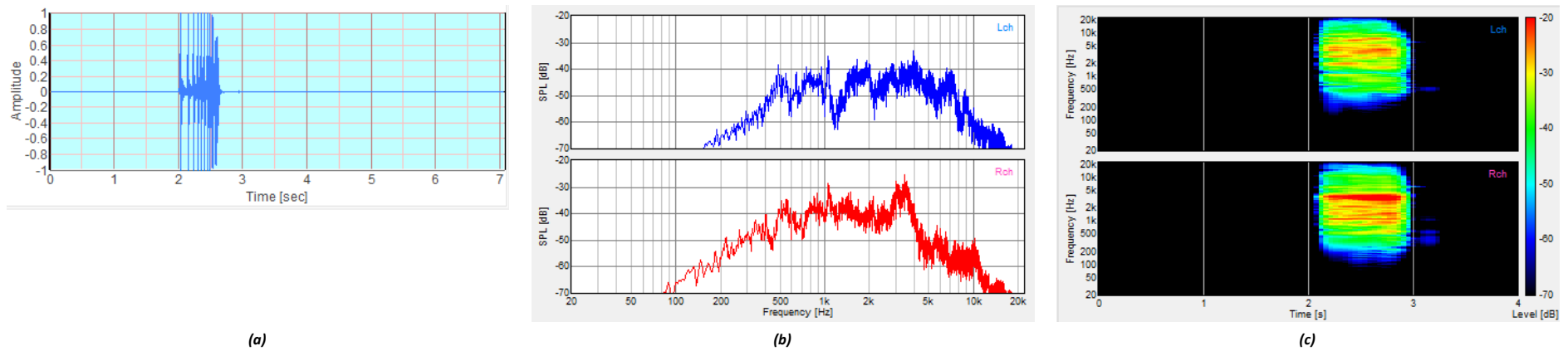


Figura A 48- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P5c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

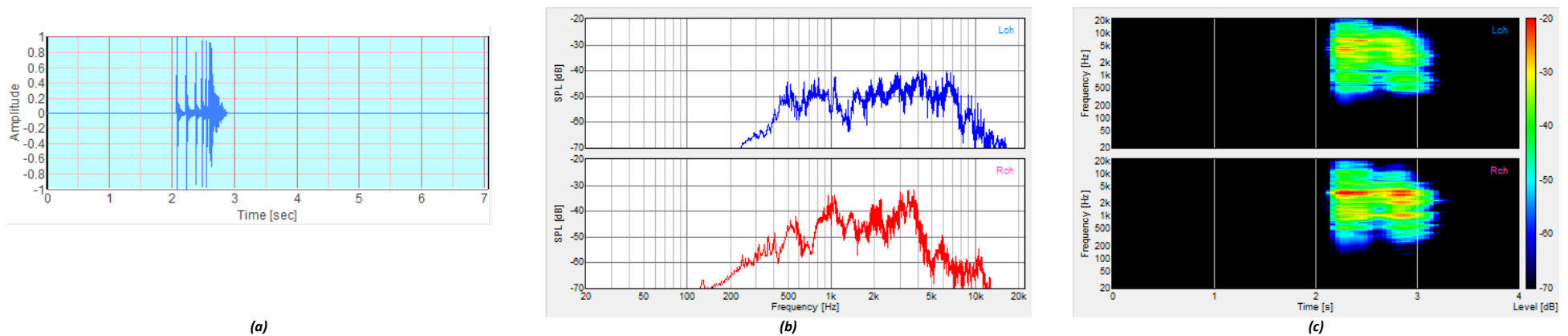
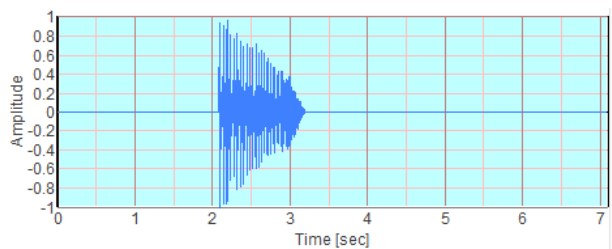
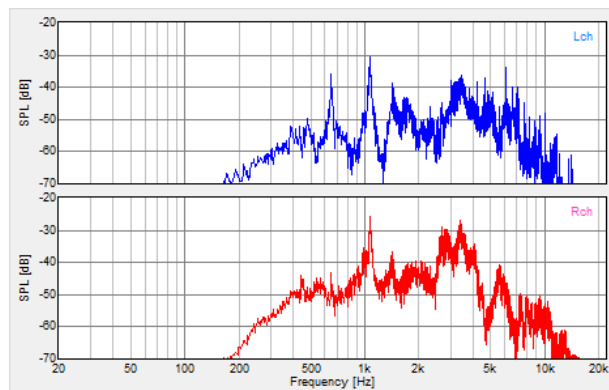


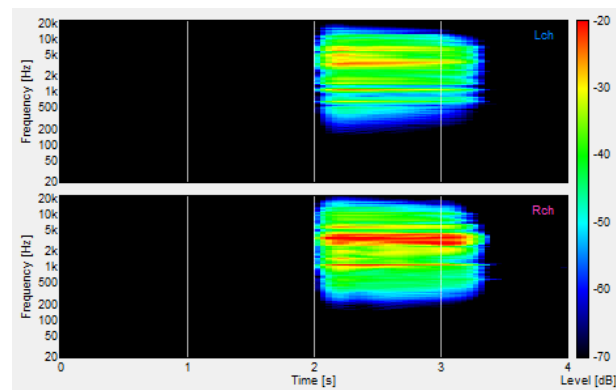
Figura A 49- Resultado da análise do impacto da barra rosca com a P5c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)



(b)



(c)

Figura A 50- Resultado da análise do impacto do percursor do protótipo com a P5c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

- **Resultados dos ensaios na Placa do tipo 6 sem patologia, (P6s).**

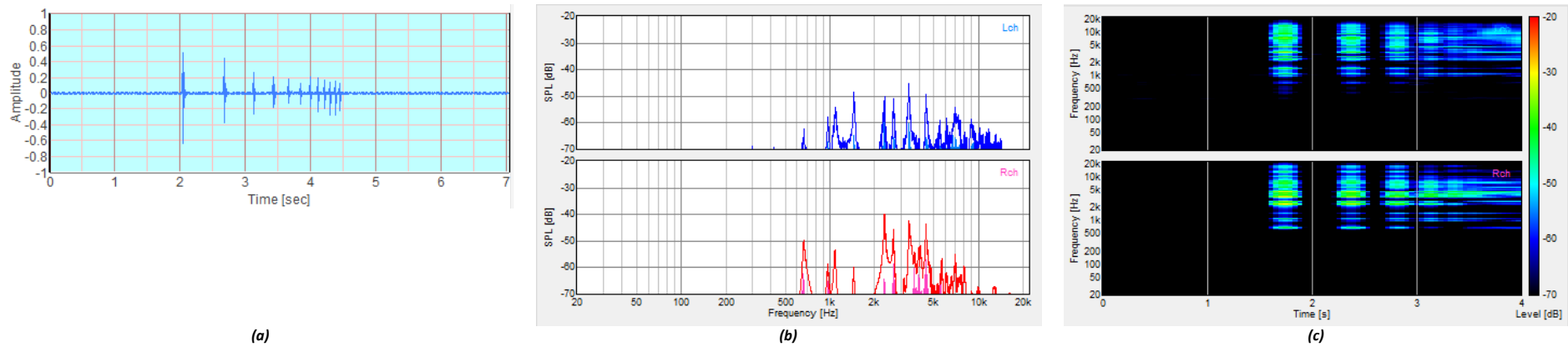


Figura A 51- Resultado da análise do impacto da esfera com a P6s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

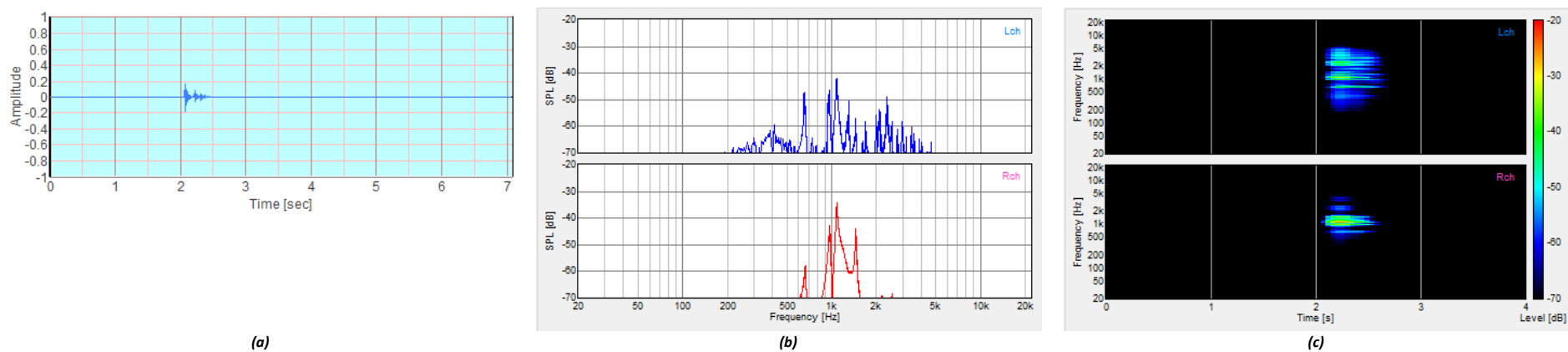
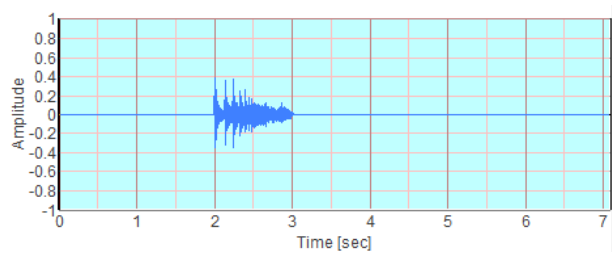
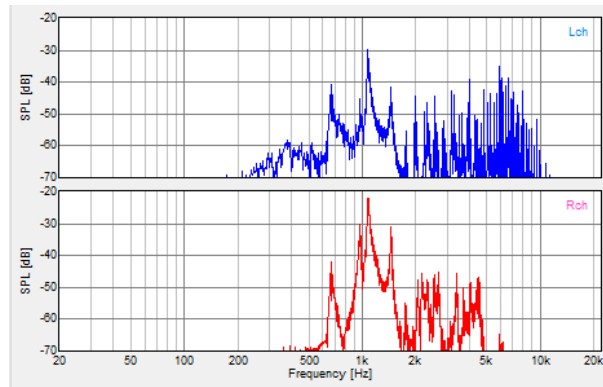


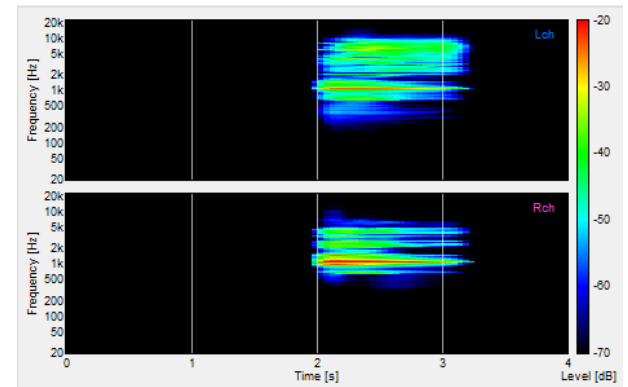
Figura A 52- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P6s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

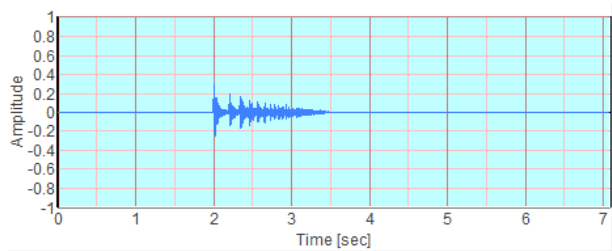


(b)

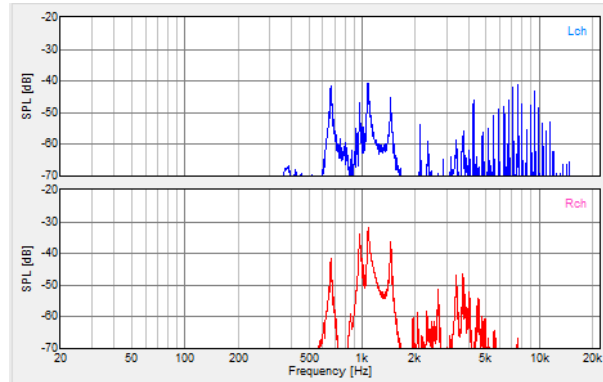


(c)

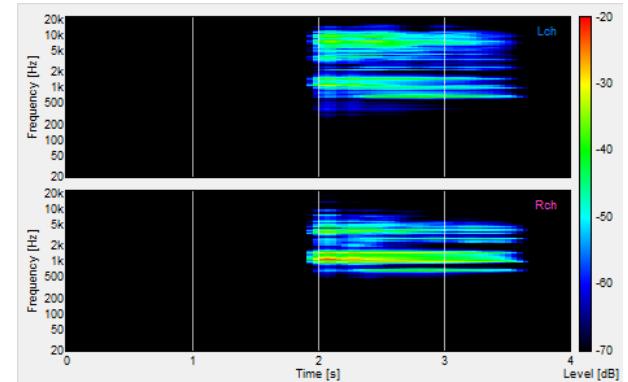
Figura A 53- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P6s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

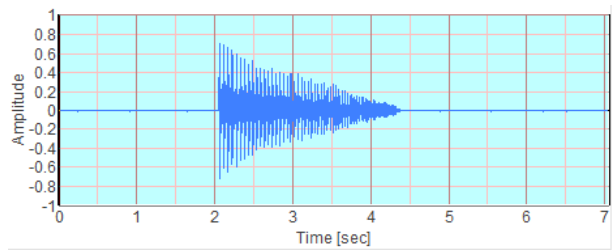


(b)

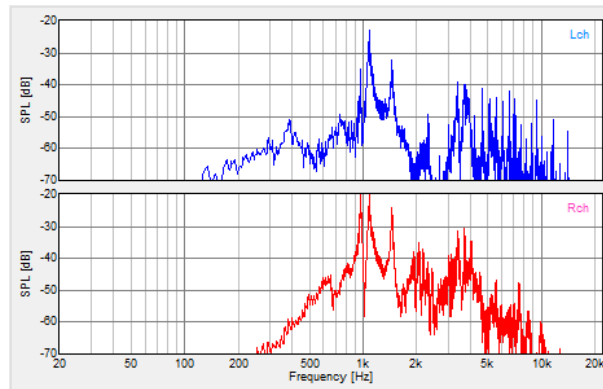


(c)

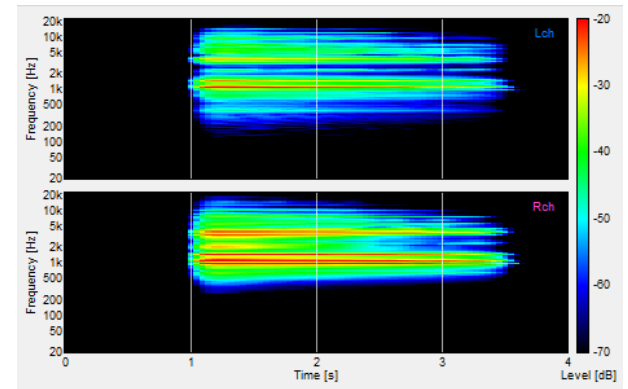
Figura A 54- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P6s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)



(b)



(c)

Figura A 55- Resultado da análise do impacto do percussor do protótipo com a P6s em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

• **Resultados dos ensaios na Placa do tipo 6 com patologia, (P6c).**

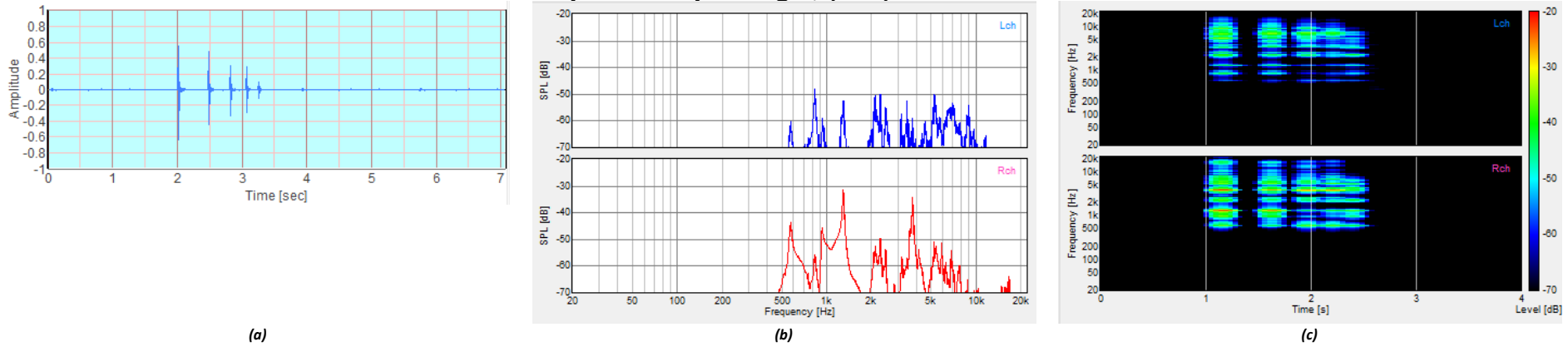


Figura A 56- Resultado da análise do impacto da esfera com a P6c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

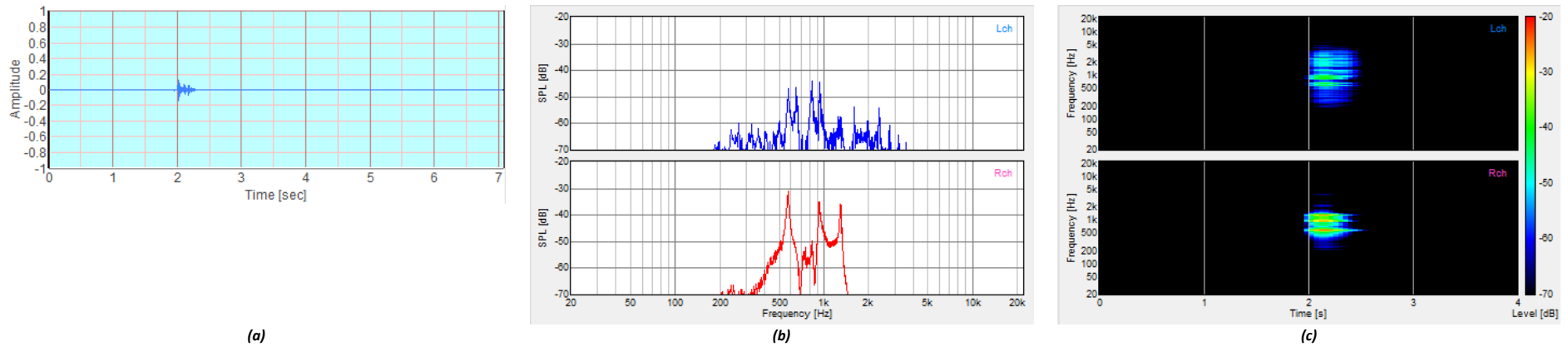
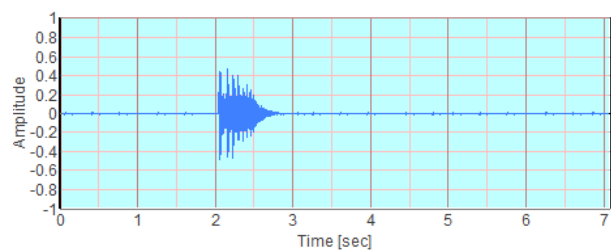
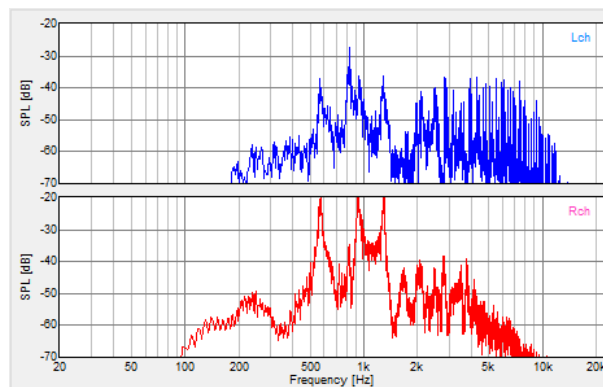


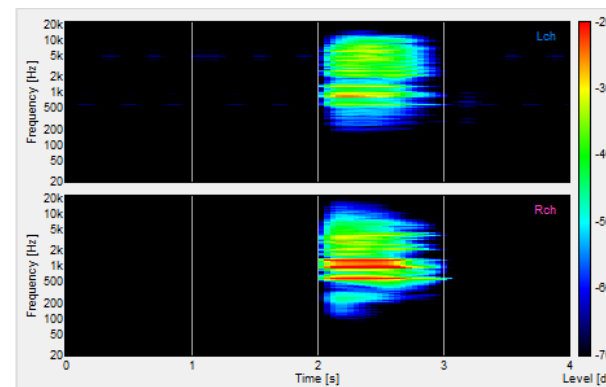
Figura A 57- Resultado da análise do impacto do cabo de madeira com a P6c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

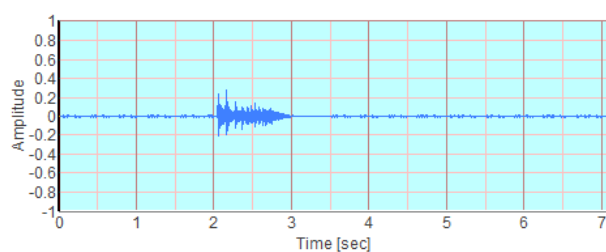


(b)

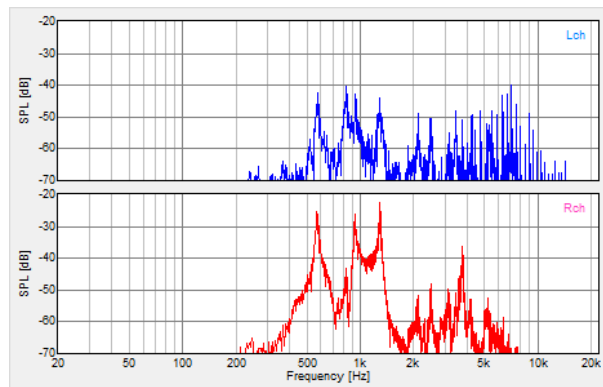


(c)

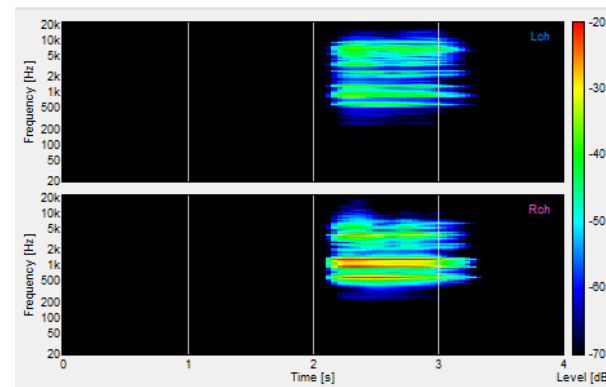
Figura A 58- Resultado da análise do impacto da barra de aço com a P6c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)

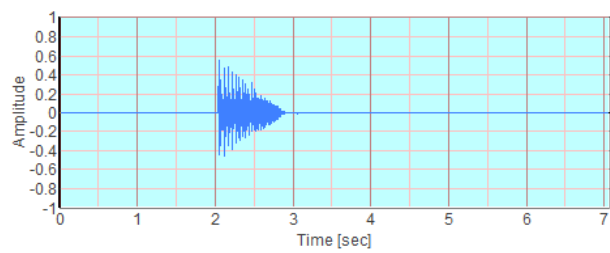


(b)

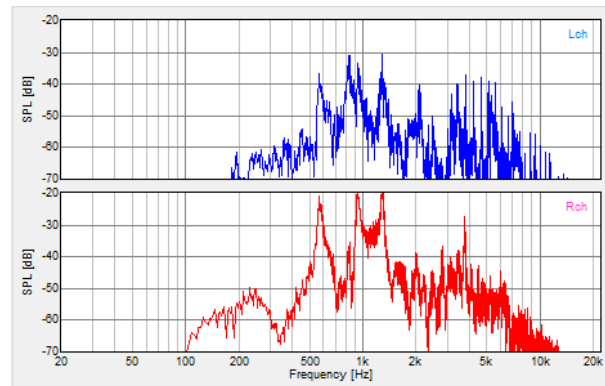


(c)

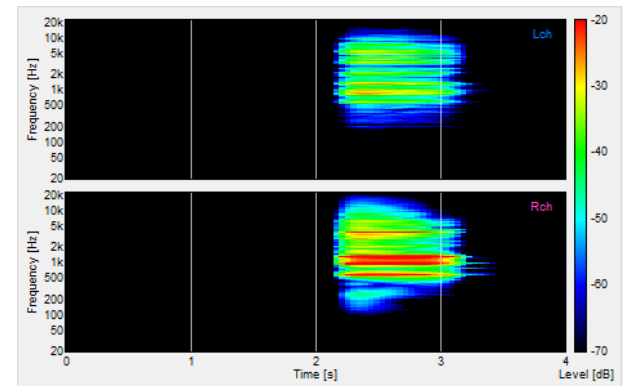
Figura A 59- Resultado da análise do impacto da barra roscada com a P6c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.



(a)



(b)



(c)

Figura A 60- Resultado da análise do impacto do percussor do protótipo com a P6c em a) amplitude no tempo, b) densidade espectral e c) espectrograma.

APÊNDICE III
(Análise do protótipo no tempo de assentamento)

A placa escolhida para o ensaio foi a do tipo 3, abaixo seguem os ensaios com o protótipo no decorrer do tempo na placa com patologia e sem patologia conforme a descrição

- **Ensaio da Placa sem patologia após 45 minutos do assentamento**

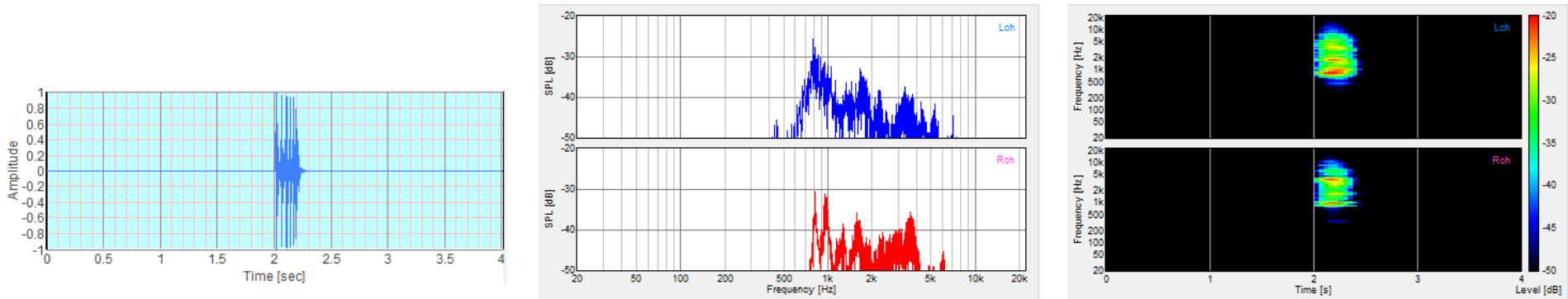


Figura A 61-Resultado da P4s com 45 minutos em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.

- **Ensaio da Placa com patologia após 45 minutos do assentamento**

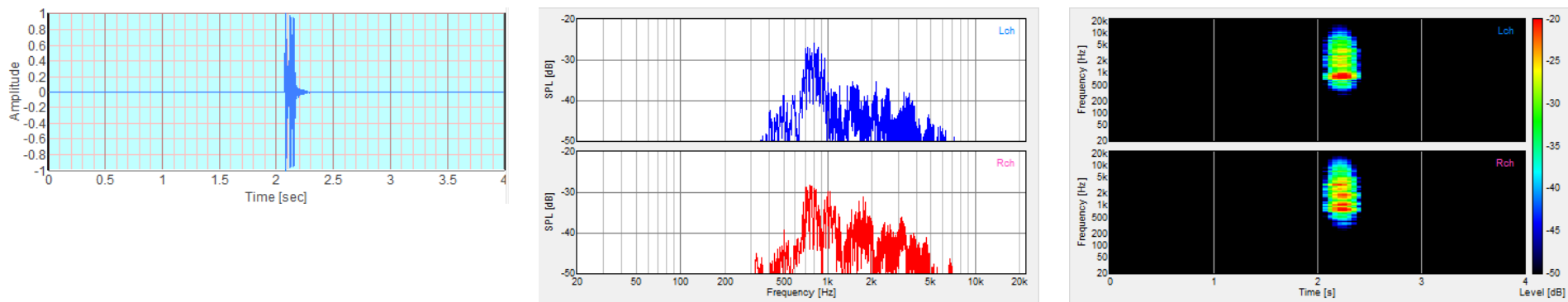


Figura A 62-Resultado da P4c com 45 minutos em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.

- **Ensaio da Placa sem patologia após 4 horas do assentamento**

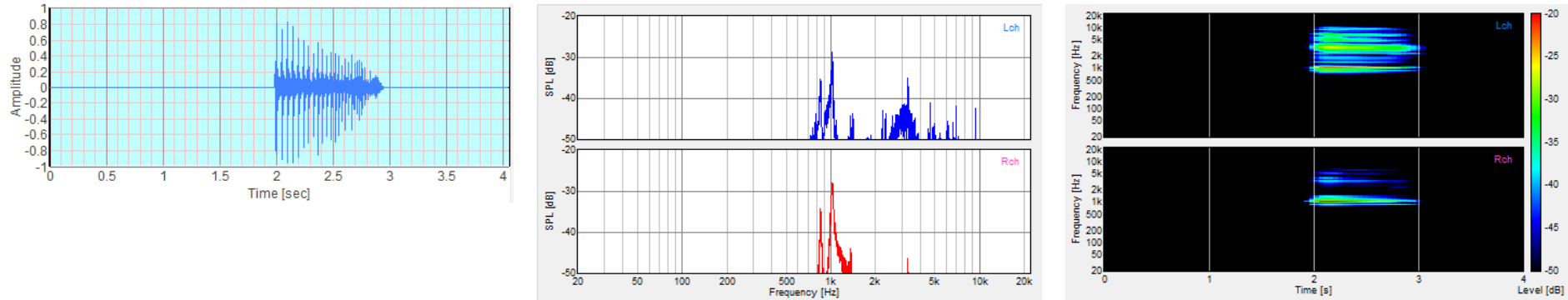


Figura A 63-Resultado da P4s com 4horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.

- **Ensaio da Placa com patologia após 4 horas do assentamento**

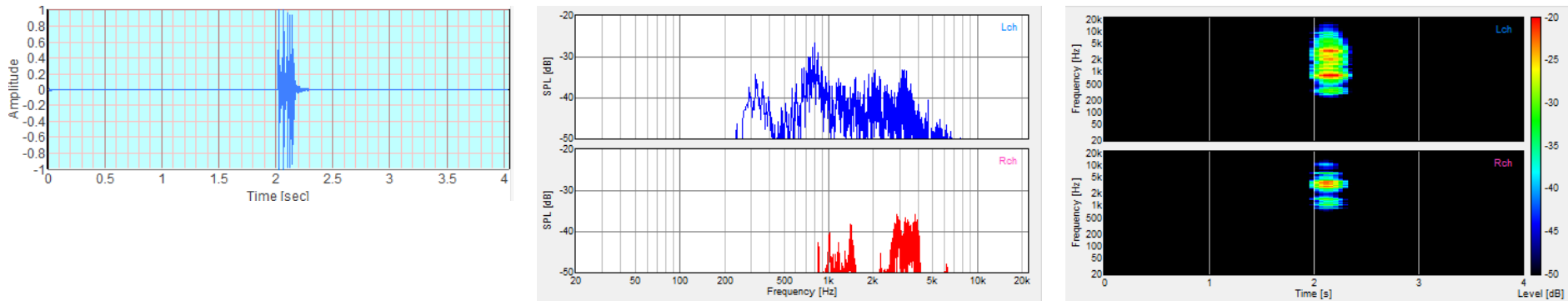


Figura A 64-Resultado da P4c com 4horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.

- **Ensaio da Placa sem patologia após 16 horas do assentamento**

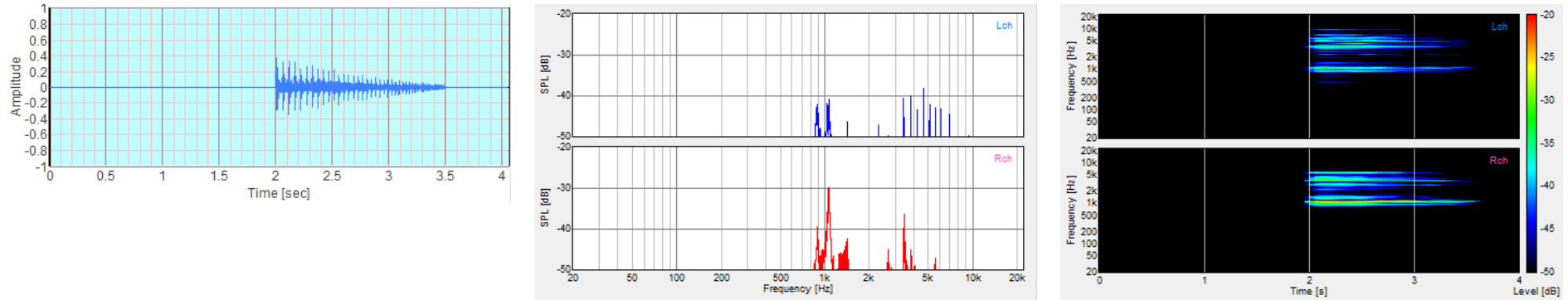


Figura A 65-Resultado da P4s com 16horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.

- **Ensaio da Placa com patologia após 16 horas do assentamento**

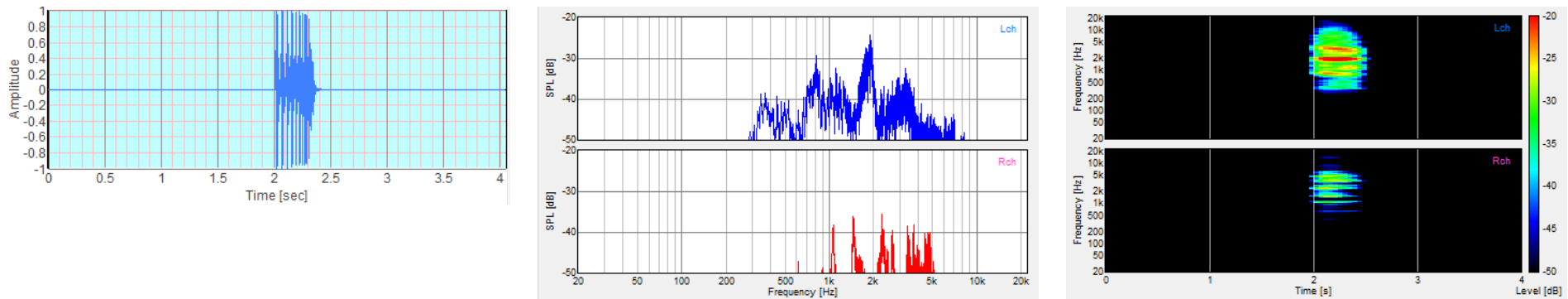


Figura A 66-Resultado da P4c com 16horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.

- **Ensaio da Placa sem patologia após 24 horas do assentamento**

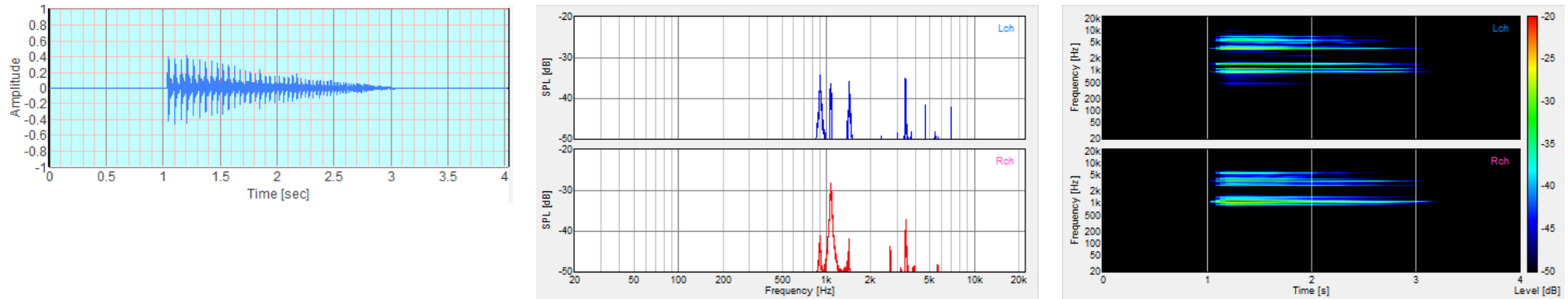


Figura A 67-Resultado da P4s com 24horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.

- **Ensaio da Placa com patologia após 24 horas do assentamento**

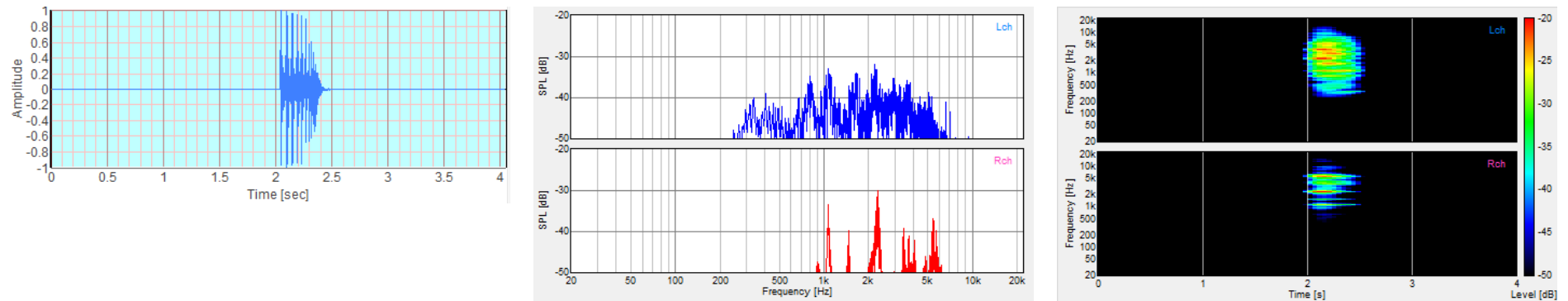


Figura A 68-Resultado da P4c com 24horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.

- **Ensaio da Placa sem patologia após 40 horas do assentamento**

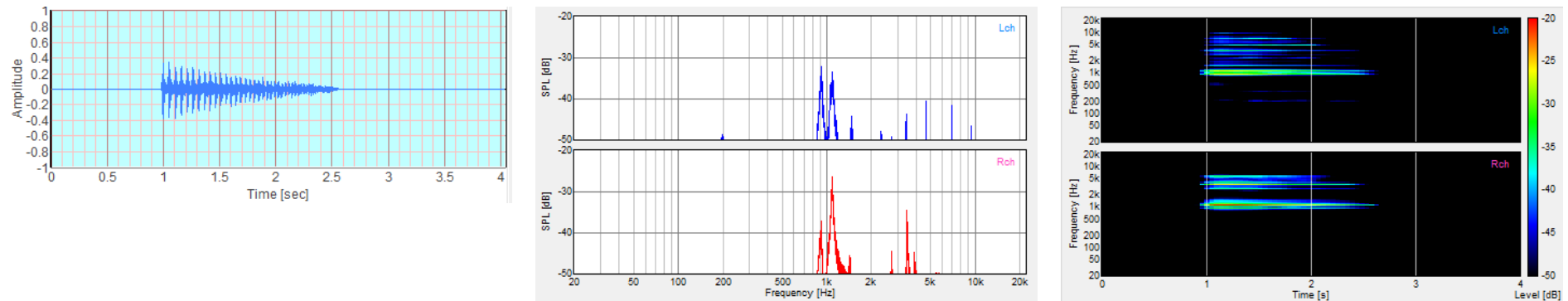


Figura A 69-Resultado da P4s com 40horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.

- **Ensaio da Placa com patologia após 40 horas do assentamento**

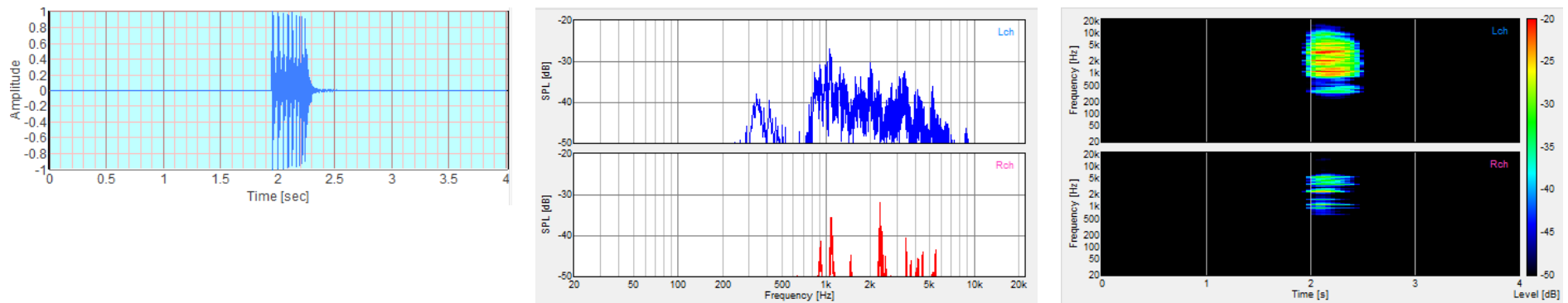


Figura A 70-Resultado da P4c com 40horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.

- **Ensaio da Placa sem patologia após 50 horas do assentamento**

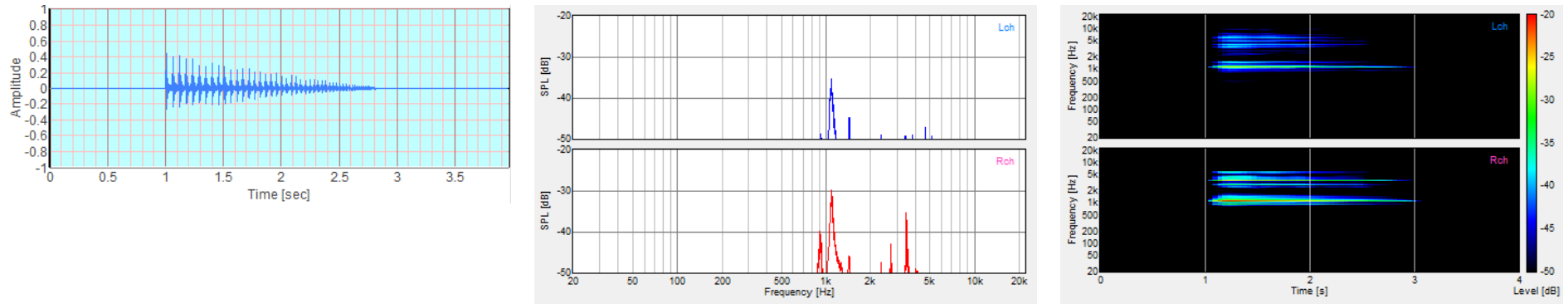


Figura A 71-Resultado da P4s com 50horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.

- **Ensaio da Placa com patologia após 50 horas do assentamento**

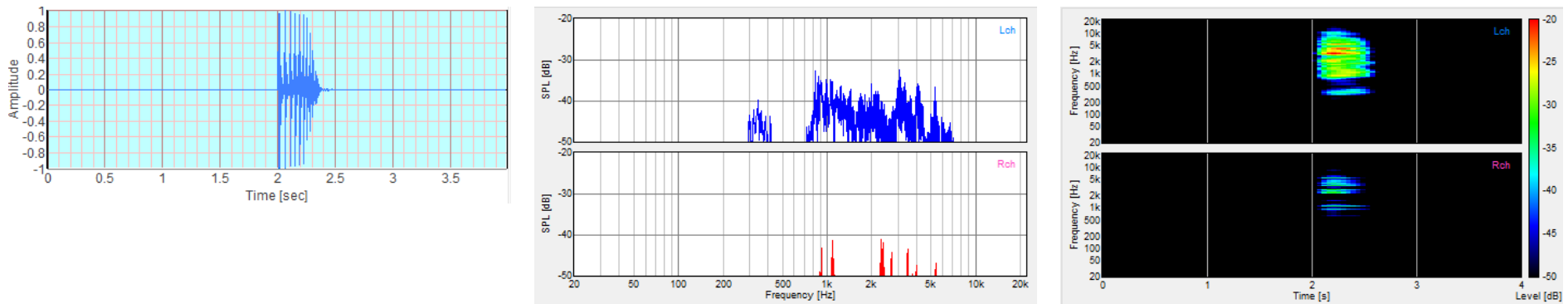


Figura A 72-Resultado da P4c com 50horas em função da a)amplitude, b)densidade espectral e c)espectrograma.

