

## AVALIAÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO EM TRÊS SALAS DE AULA REFORMADAS ATRAVÉS DE CINCO NORMAS INTERNACIONAIS

Carla Dechechi Felipin  
Eriberto Oliveira do Nascimento  
Paulo Henrique Trombetta Zannin

Laboratório de Acústica Ambiental – Industrial e Conforto Acústico, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 81530-000, Brasil

carladfelipin@gmail.com

eriberto.on@gmail.com

paulo.zannin@gmail.com

**Resumo.** Na teoria acústica de salas de aula é bem sabido que qualquer mudança em uma sala pode alterar dramaticamente o conforto acústico nela. Consequentemente, antes de novas mudanças, o projetista da sala deve avaliar se as mudanças são benéficas ou não, especialmente ao considerar estabelecimentos sensíveis como salas de aula. Nesse sentido, este trabalho é um estudo de caso que visa fazer uma avaliação acústica de três salas de aula, construídas na década de 60, e que em 2007 passaram por uma reforma, que alterou o revestimento acústico original, CELOTEX M1, para um forro de PVC. Essa avaliação foi feita por meio da medição do Tempo de Reverberação (TR) (ISO 3382-1), em dois intervalos de tempo distintos, o primeiro, em 2004 e o segundo, em 2017. Os valores do TR foram então comparados com os valores recomendados pelas normas internacionais do Brasil (12179/1992), França (Decreto / 1995), Japão (JIS A 1419/2000), Estados Unidos da América (ANSI-ASA S12.60 / 2010) e Organização Mundial da Saúde (OMS). Os resultados evidenciaram que a troca do teto acústico pelo de PVC prejudicou a qualidade acústica em todas as salas estudadas. As atuais salas de aula, com teto PVC, são consideradas inadequadas para a inteligibilidade, de acordo com as normas utilizadas. Concluindo, foi possível demonstrar o impacto que qualquer mudança pode causar no conforto acústico.

**Palavras-chave:** Reforma de salas de aula, Tempo de Reverberação, Acústica de Salas, Qualidade acústica.

**Abstract.** In room acoustic theory is well-known that any change in a room can dramatically alter the acoustic comfort on it. Consequently, before further changes, the room designer should evaluate if the changes are beneficial or not, especially when considering sensitive establishments as classrooms. Accordingly, this work is a case study that aims to make an acoustic assessment of three classrooms, built in the 60's decade, which in 2007 those classrooms underwent a renovation, that changed the original acoustic ceiling revetment, CELOTEX M1, to a PVC ceiling. This assessment was done by measuring the Reverberation Time (RT) using ISO 3382-1, at two distinct time frames, the first one, in 2004 and the second, in 2017. The RT values were then compared to the values recommended by international standards from Brazil (12179/1992), France (Decree/1995), Japan (JIS A 1419/2000), United States of America (ANSI-ASA S12.60/2010) and World Health Organization (WHO), which stated the RT for classrooms. The results evidenced that the change of acoustic ceiling by the PVC impaired the acoustic quality in all studied classrooms. The current classrooms, with PVC acoustic ceiling, are considered inadequate for the intelligibility, according to the standards used. In conclusion, it was possible to demonstrate how important it is considering the impact of any change in the classroom regarding its acoustic comfort.

**Keywords:** Classroom Renovation, Reverberation Time, Room Acoustics, Acoustic quality.

### 1. INTRODUÇÃO

O crescimento não planejado dos centros urbanos, as novas técnicas utilizadas na construção, o surgimento de doenças relacionadas à poluição sonora, entre outros fatores, tem causado um aumento significativo no estudo das questões relacionadas à qualidade acústica nas salas de aula. O conforto acústico tem sido buscado por arquitetos e engenheiros em diversos cenários, além disso, atualmente, a acústica arquitetônica não se limita a teatros, cinemas, estúdios e igrejas, mas também abrange ambientes do dia a dia como residências, escritórios e salas de aula. (Houtte, 2011).

Notadamente, o ruído da sala de aula interfere fortemente na relação ensino-aprendizagem e pode causar, em determinadas circunstâncias, riscos à saúde. Além disso, vários efeitos negativos estão presentes, inclusive psicofisiológicos, como estresse e aumento da pressão arterial (Hustim, 2018). Além disso, alterações nos limiares auditivos, zumbido, fadiga, muito esforço para manter a concentração e perda de parte do conteúdo ensinado são manifestadas (Stansfeld e Clark, 2015; Peng, Zhang e Wang, 2018; Paiva, Cardoso e Zannin, 2019; Wallas et al., 2019). Muitas vezes, esse ruído concorre com a voz do professor, o que leva a um baixo índice de inteligibilidade nas salas de aula, resultando na perda de compreensão de números e palavras em frases complexas. Este efeito é pronunciado em alunos com nível de alfabetização e alunos em idade escolar (Musacchia et al., 2018). No entanto, o ruído excessivo da sala de aula pode ser evitado devido a um design acústico adequado da sala de aula, além disso, o Tempo de reverberação (TR) pode ser usado quantitativamente para avaliar se uma sala de aula está em conformidade com os padrões de boa condição acústica projetados para a aprendizagem (Yang e Bradley, 2009).

Conforme Cavanaugh, Tocci e Wilkes (2010) reconhecem que o TR é um dos descritores fundamentais da acústica. Eles definem TR como o tempo necessário para o nível de som de excitação sofrer reflexos e absorções sucessivas em superfícies, como paredes, tetos e piso até que o nível de pressão sonora dessa excitação cesse e se torne inaudível, ou que seja igual ao ruído de fundo do ambiente. O TR está intrinsecamente associado à finalidade de uso a que se destina a sala, por exemplo, um TR considerado ótimo para atividades envolvendo fala não é necessariamente o mesmo se a sala for usada para fins musicais. Para fins educacionais, o TR tem uma variabilidade considerável, uma vez que muitos países adotam seus próprios critérios subjetivos de qual será seu tempo de reverberação ideal. Assim, a fim de comparar o TR em uma faixa mais ampla, atenção especial deve ser dada a tais recomendações, que podem estabelecer restrições específicas dependendo do padrão do país. Por exemplo, a norma britânica BB93 (DFE, 2015) afirma que o TR deve ser medido em salas desocupadas e não mobiladas, enquanto a norma alemã DIN 18041: 2004 (DIN, 2004) classifica os quartos pelo seu volume com âbacos específicos e a sala deve estar desocupada.

Assim, este trabalho tem dois objetivos principais, o primeiro objetivo é avaliar a qualidade acústica de três salas de aula da Universidade Federal do Paraná (UFPR), no campus do Centro Politécnico, por meio de medições do TR. Além disso, essas salas de aula foram construídas na década de 1960 e sofreram algumas mudanças ao longo do tempo, incluindo uma grande mudança do teto original Celotex M1 para um teto de PVC mais novo. Posteriormente, o segundo objetivo é verificar se a alteração do teto foi benéfica ou não, em relação aos valores ótimos estabelecidos para os TR apresentados em cinco padrões internacionais de avaliação da qualidade acústica de salas de aula.

## 2. METODOLOGIA

Este trabalho foi dividido em (1) medição do tempo de reverberação em três salas de aula: PG 01, PG 05 e PG15, seguindo as diretrizes da ISO 3382-1; (2) comparação entre os valores de TR medidos anteriormente de Zannin e Ferreira (2009) utilizando o teto original, composto pelo material Celotex M1, que teve um coeficiente de absorção sonora médio maior (0,54), em comparação ao teto mais novo, que era feito de policloreto de vinila conhecido como PVC, com menor coeficiente de absorção sonora médio (0,05) conforme mostrado na Tab. 1

Tabela 1. Comparação do coeficiente de absorção sonora do teto entre as salas de aula original e reformada

Frequência da banda de oitava (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Média
Celotex M1 (original) <sup>(1)</sup>	0,12	0,48	0,50	0,79	0,93	0,48	0,48	0,54
PVC (reformado) <sup>(2)</sup>	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05

<sup>(1)</sup>Knudsen (1978), <sup>(2)</sup>Forouharmajd et al. (2016)

A Figura 1 mostra a comparação do teto original fabricado na década de 1960 e o teto reformado da década de 2010.

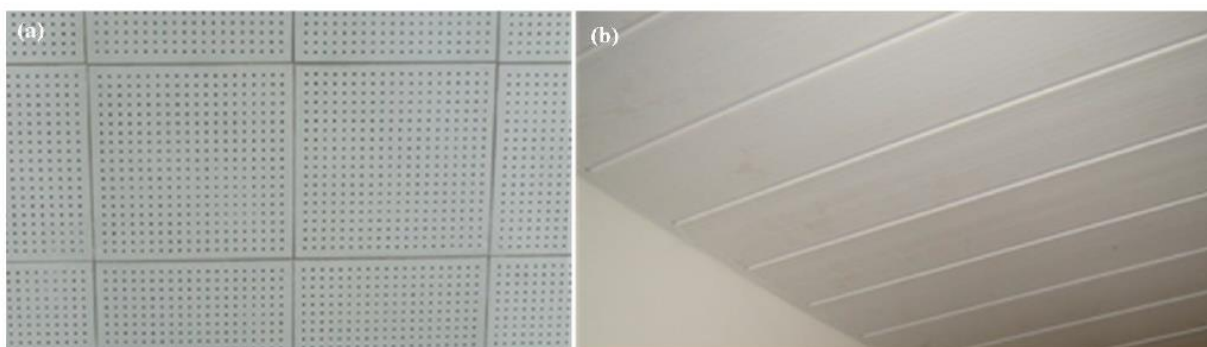


Figura 1. Comparação do tipo de teto; (a) Original – Celotex M1; (b) Reformado – PVC

As medidas do TR foram realizadas em salas de aula mobiliadas e desocupadas, com as portas e janelas fechadas e em dias sem chuva. Este trabalho utilizou o método da resposta impulsiva para as medições seguindo as diretrizes da ISO 3382-1 (ISO, 2009). A Figura 2 mostra o equipamento empregado e a cadeia de medição.

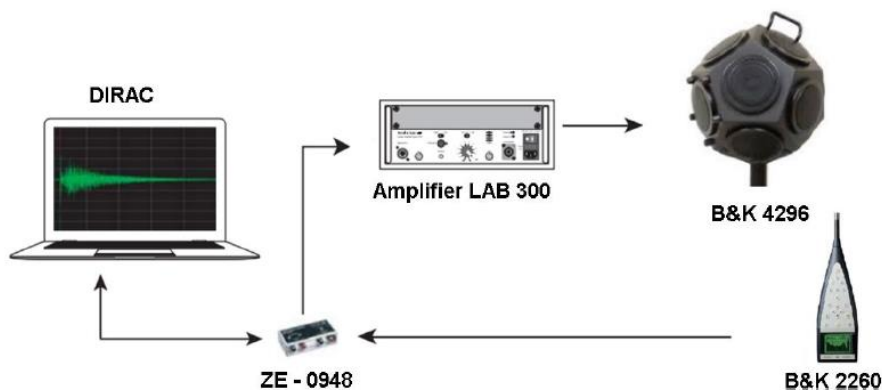


Figura 2. Instrumentação configurada para medir TR via método da resposta impulsiva

O software DIRAC 5.0 foi configurado para medir o tempo de reverberação ( $T_{60}$ ) usando um sinal de e-sweep, como sinal de excitação. A duração desse sinal deve ser 1,5 vezes maior que o valor do tempo de reverberação estimado por meio de uma medição prévia com o tempo de excitação maior que 4 segundos. A fonte sonora dodecaédrica foi posicionada a uma altura de 1,5 m acima do solo e a uma distância de mais de 1,2 m das paredes, as medições foram feitas em pelo menos 4 posições do receptor para o uso do analisador B&K 2260.

A Figura 3 mostra a instrumentação de medição e sua configuração, que foram: a) software DIRAC 5.0 Burel & Kjaer 7841 ou B&K 7841, instalado no notebook Sony VAIO; b) interface de Áudio USB B&K ZE-0948 c) amplificador de potência. Gruppen LAB 300; d) analisador de nível de pressão sonora B&K 2260 e e) fonte sonora dodecaédrica omnidirecional B&K 4296.

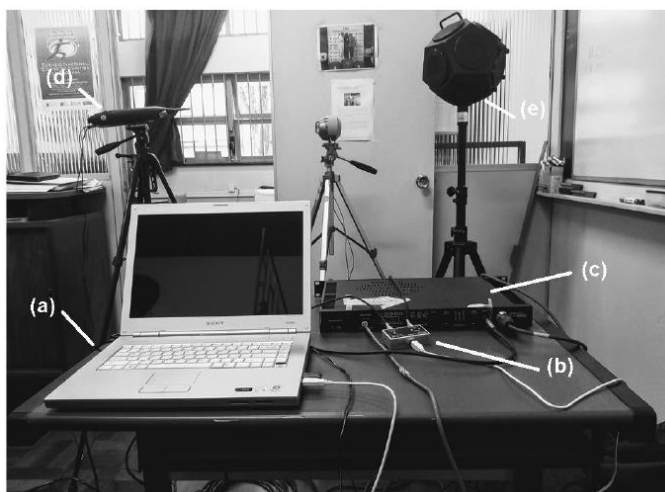


Figura 3. Cadeia de instrumentação de medições e suas configurações

Com relação as salas de aula, várias normas têm diferentes valores de referência para o TR. Em seguida, a Tab. 2 mostra o TR ideal usado em vários países em função do volume da sala. Além disso, a Tab. 2 engloba a recomendação geral da Organização Mundial da Saúde (OMS), que exige um tempo médio de reverberação em torno de 0,6s, independente do volume da sala de aula.

Tabela 2. TR recomendado em vários países<sup>(1)</sup>

País / Norma	Tempo recomendado (s)	Volume (m <sup>3</sup> )
Brasil / NBR – 12179:1992	0,6 até 0,7	270 ≤ V ≤ 600
França / Decree: 1995	0,4 < RT ≤ 0,8	V ≤ 250
	0,6 < RT ≤ 1,2	V > 250
Japão / JIS A 1419:2000	RT = 0,6	V ≤ 200
	RT = 0,7	V > 300
Estados Unidos da América / ANSI/ASA S12.60:2010	RT = 0,6	V ≤ 283
	RT = 0,7	283 ≤ V ≤ 566
Organização Mundial da Saúde (OMS)	TR = 0,6	--

<sup>(1)</sup>Zannin et al. (2011)

Vale ressaltar que a norma brasileira NBR 12179 avalia o tempo de reverberação somente em 500 Hz e, para uso em sala, foi considerada a categoria salas de conferência, que está definida na NBR 12179 (ABNT, 1992). Porém, visando fazer uma comparação justa do TR para cada padrão, foi calculado o tempo de reverberação das médias frequências, ou seja, o valor médio do TR para 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz para quartos mobiliados e desocupados.

### 3. RESULTADOS

A Tabela 3 mostra os valores do TR medidos em cada sala de aula, em ambas as situações, o teto da sala original (Celotex M1) e o teto reformado (PVC). O revestimento acústico do teto original das três salas de aula foi substituído em 2007 por um forro de PVC, de acordo com uma avaliação acústica em salas de aula realizada por Zannin et al (2011).

Tabela 3. Valores de comparação de TR entre salas de aula originais e renovadas

Banda de oitava (Hz)	TR (s) Original <sup>(1,2)</sup>			TR (s) Reformado		
	PG 01	PG 03	PG 15	PG 01	PG 03	PG 15
125	1,3	0,8	1,0	1,4	0,9	1,5
250	0,9	0,8	1,0	1,1	0,9	1,2
500	0,9	0,7	1,0	1,6	1,0	1,5
1000	0,8	0,6	0,9	1,6	1,2	1,7
2000	0,8	0,6	0,9	1,6	1,1	1,6
4000	0,7	0,5	0,7	1,4	1,1	1,4
Média	0,85	0,65	0,95	1,5	1,5	1,5

<sup>(1)</sup>Zannin and Ferreira (2009) <sup>(2)</sup>Zannin, Fiedler and Bunn (2013)

A Figura 4 mostra uma comparação gráfica entre TR, antes e depois do projeto de renovação da sala de aula. Pode ser inspecionado com base na Fig. 4 que o TR aumentou após a reforma da sala de aula.

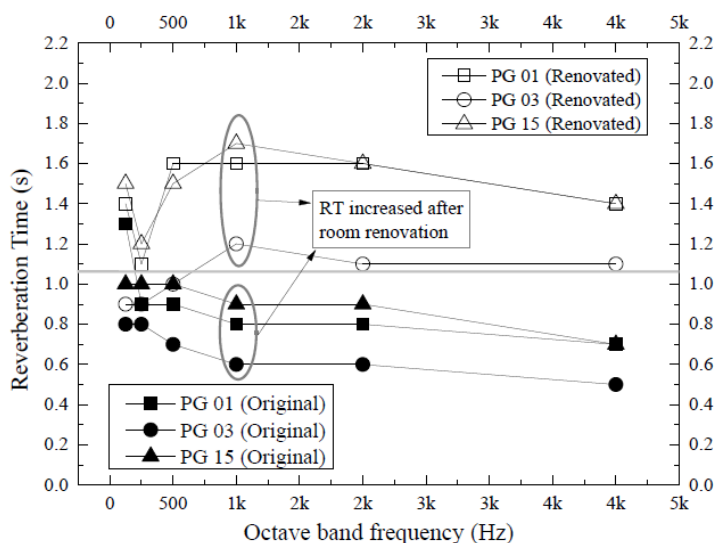


Figura 4. Tempo de reverberação versus frequência. Mostra o aumento geral no TR após a renovação da sala

Além disso, apesar da diferença de volume entre as salas estudadas, pode-se afirmar que, em geral, o tempo de reverberação aumentou após o processo de reforma da sala de aula, conforme mostrado na Tabela 4. Os volumes da sala de aula para PG 01, PG 03 e PG 15 foram 367,18 m<sup>3</sup>, 294,74 m<sup>3</sup> e 350,53 m<sup>3</sup>, respectivamente.

Tabela 4. Aumento da porcentagem do TR após a renovação da sala de aula

Banda de oitava (Hz)	PG 01	PG 03	PG 15
125	7,69%	12,50%	50,00%
250	22,22%	12,50%	20,00%
500	77,78%	42,86%	50,00%
1000	100,00%	100,00%	88,89%
2000	100,00%	83,33%	77,78%
4000	100,00%	120,00%	100,00%

Baseado na Tab. 3, que mostrou os resultados das medições do TR para essas 3 salas de aula, os resultados foram comparados com as normas conforme mostrado na Tab. 5.

Tabela 5. Comparação entre o teto original e reformado com várias normas

Sala	Condição	Brasil	França	Japão	EUA	OMS
PG 01	Original	Inapropriado	Apropriado	Inapropriado	Inapropriado	Inapropriado
	Reformado	Inapropriado	Inapropriado	Inapropriado	Inapropriado	Inapropriado
PG 03	Original	Apropriado	Apropriado	Apropriado	Apropriado	Inapropriado
	Reformado	Inapropriado	Apropriado	Inapropriado	Inapropriado	Inapropriado
PG 15	Original	Inapropriado	Apropriado	Inapropriado	Inapropriado	Inapropriado
	Reformado	Inapropriado	Inapropriado	Inapropriado	Inapropriado	Inapropriado

Nem todas as salas de aula que utilizam o revestimento acústico original, CELOTEX M1, estão de acordo com todas as normas internacionais apresentadas na Tabela 2, mas ficou evidente que a substituição pelo PVC piorou a qualidade acústica das salas. O valor do TR quase dobrou para as salas de aula reformadas. Da mesma forma, após o projeto das salas de aula reformadas, nenhuma das salas de aula é adequada pela norma brasileira NR 12179.

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho teve dois objetivos principais: primeiro, avaliar a qualidade acústica de três salas de aula, por meio do descritor acústico do tempo de reverberação. E em segundo lugar, para verificar se a mudança do forro acústico, ocorrida há alguns anos, pelo forro de PVC prejudicou esta qualidade. Também foi observado que as salas de aula são classificadas como inadequadas pela maioria das normas de vários países após a reforma das salas de aula.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Governo Alemão, por meio do Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico - DAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst) e ao Governo Brasileiro, por meio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e da CAPES pelo apoio financeiro, que possibilitou a compra dos medidores de nível sonoros.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992) NBR 12179: Tratamento acústico em recintos fechados: Procedimento [Brazilian Association of Technical Standards. NBR 12179: Acoustic Treatment of Indoor Spaces: Procedure]. Rio de Janeiro. (In Portuguese)
- Cavanaugh, W. J., Tocci, Gregory C., and WILKES, J. A., 2010. *Architectural acoustics: Principles and practice*. John Wiley & Sons, 1Ed.
- DEPARTMENT FOR EDUCATION (DFE), BB93: Building Bulletin 93 – Acoustic design of schools: performance standards. London. 2015.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) - DIN 18041.2004. Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. [Acoustical quality in small to medium-sized rooms] Germany, Berlin, Beuth Verlag, 2004.

- Forouharmajd, Farhad et al., 2016. “Assessment of normal incidence absorption performance of sound absorbing materials”. *International Journal of Environmental Health Engineering*, Vol. 5, No. 1, pp. 10.
- International Organization for Standardization—ISO 3382, 2009. *Acoustics—measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters*. Geneva.
- Houtte, E. V. H et al., 2011. “The impact of voice disorders among teachers: vocal complaints, treatment-seeking behavior, knowledge of vocal care, and voice-related absenteeism”. *Journal of voice*, Vol. 25, No. 5, pp. 570-575.
- Hustim, M. et al. “Assessing Noise Pollution and its Impact on Student’s Blood Pressure and Their Learning Performance in Palestine”. In: *MATEC Web of Conferences - International Conference on Civil, Offshore & Environmental Engineering ICCOEE 2018*. EDP Sciences, v. 203, p. 03008, 2018.
- Knudsen, O., and Harris, C. M. 1978. “Acoustical designing in architecture”. *American Institute of Physics for the Acoustical Society of America*, pp. 408.
- Musacchia, Gabriella et al., 2018. “Effects of noise and age on the infant brainstem response to speech”. *Clinical Neurophysiology*, Vol. 129, No. 12, pp. 2623-2634.
- Paiva, K. M., Cardoso, M. R. A., and Zannin, P. H. T., 2019. “Exposure to road traffic noise: Annoyance, perception and associated factors among Brazil's adult population”. *Science of the Total Environment*, Vol. 650, pp. 978-986.
- Peng, J., Zhang, H., and Wang, D., 2018. “Measurement and analysis of teaching and background noise level in classrooms of Chinese elementary schools”. *Applied Acoustics*, Vol. 131, pp. 1-4.
- Stansfeld, S., and Clark, C., 2015. “Health effects of noise exposure in children”. *Current environmental health reports*, Vol. 2, No. 2, pp. 171-178.
- Wallas, A. E. et al., 2019. “Traffic noise and other determinants of blood pressure in adolescence”. *International journal of hygiene and environmental health*, Vol. 222, No. 5. pp. 824-830.
- Yang, W., and Bradley, J. S., 2009. “Effects of room acoustics on the intelligibility of speech in classrooms for young children”. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 125, n. 2, p. 922-933, 2009.
- Zannin, P. H. T. et al., 2011. “Classroom Acoustics: Measurements, Simulations and Applications”. In: *Rebecca J. Newley. (Org.). Classrooms: Management, Effectiveness and Challenges*. 1ed. New York, USA: Nova Science Publishers, v. 1, p. 133-161, 2011.
- Zannin, P. H. T. and Ferreira, A. M. C. 2009. “Field measurements of acoustic quality in university classrooms”. *Journal of Scientific and Industrial Research (JSIR)*, Vol. 69, pp. 1053-1057.
- Zannin, P. H. T., Fiedler, P. E. K and Bunn, F., 2013. “Reverberation time in classrooms—Case Study: When an administrative decision changes acoustic quality”. *Journal of Scientific and Industrial Research (JSIR)*, Vol. 72, pp. 506-540.

## 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.