

Acurácia do método eletrónico versus método radiográfico na determinação do comprimento de trabalho: revisão sistemática integrativa

Accuracy of the electronic method versus the radiographic method in determining working length: integrative systematic review

Célia Marques¹ , Marcella Delphim¹, Rita Fidalgo-Pereira^{1,2} , António Melo-Ferraz^{1,3} , Paulo Miller^{1,3*} , Orlanda Torres^{1,3} 

¹IUCS – CESPU, Instituto Universitário de Ciências da Saúde, Cooperativa de Ensino Superior Politécnico e Universitário, Gandra PRD, Portugal;

²CIIS, Centro Interdisciplinar para a Investigação na Saúde, Faculdade de Medicina Dentária (FMD), Universidade Católica Portuguesa (UCP), Viseu, Portugal;

³UNIPRO- Unidade de Investigação em Patologia e Reabilitação Oral, Instituto Universitário de Ciências da Saúde (IUCS), CESPU, Gandra PRD, Portugal.

*Autor correspondente/Corresponding author: paulo.miller@iucs.cespu.pt

Recebido/Received: 22-06-2023; Revisto/Revised: 30-10-2023; Aceite/Accepted: 31-10-2023

Resumo

Introdução: O método radiográfico apresenta-se como o mais amplamente aplicado no cálculo do comprimento de trabalho (CT). Contudo, apresenta limitações que de forma a serem ultrapassadas, foram desenvolvidos os localizadores eletrónicos apicais (LEAs), com o objetivo de permitir maior precisão e fiabilidade na determinação do CT. **Objetivos:** O presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática integrativa e reunir a evidência científica disponível sobre o método que permite maior precisão na determinação do CT, comparando o método radiográfico e o método de localização eletrónica (LEA). **Material e Métodos:** A pesquisa bibliográfica, foi realizada na plataforma PubMed utilizando palavras-chave combinadas através do operador booleano AND da seguinte forma: ("endodontics" AND "electronic apex locator" AND "radiographic measurement") e ("endodontics" AND "electronic apex locator" AND "radiographic measurements" AND "odontometry"). **Resultados:** Foram identificados 68 artigos reportando estudos comparativos realizados entre os métodos, radiográfico e LEA. Foram incluídos 11 estudos, dos quais em alguns casos os LEAs demonstraram melhores resultados, comparativamente com radiografias periapicais não digitais. Os estudos indicam que apesar de existirem diferenças entre os dois métodos, com maior exatidão na determinação com LEA, as diferenças não se revelaram estatisticamente significativas. Na presença de soluções irrigantes, o hipoclorito de sódio revelou maiores discrepâncias na determinação do CT com o método de LEA. **Conclusões:** Os dois métodos, radiográfico e LEA, devem ser utilizados em associação, visto que cada um possui particularidades que somadas apresentam maiores benefícios potenciando o sucesso do tratamento endodôntico e um melhor e mais completo tratamento aos pacientes.

Palavras-chave: Endodontia, localizador eletrónico apical, odontometria, medição radiográfica.

Abstract

Introduction: The radiographic method is widely used to calculate the working length (CT). However, it presents limitations that, to overcome them, apical electronic locators (LEAs) were developed to allow greater accuracy and reliability in determining the CT. **Objective:** The present study aims to perform an integrative systematic review and gather the available scientific evidence on the method that allows greater accuracy in determining the CT between the radiographic method and the electronic localisation method (LEA). **Materials and Methods:** The literature search was performed on the PubMed platform using keywords combined through the Boolean operator AND as follows: ("endodontics" AND "electronic apex locator" AND "radiographic measurement") and ("endodontics" AND "electronic apex locator" AND "radiographic measurement" AND "odontometry"). **Results:** 68 articles reporting comparative studies performed between the methods, radiographic and LEA, were identified. Eleven studies were included, of which, in some cases, LEAs showed better results than non-digital periapical radiographs. The studies indicate that although there are differences between the two methods, with greater accuracy in determining LEA, the differences did not prove to be statistically significant. In the presence of irrigating solutions, sodium hypochlorite revealed more significant discrepancies in CT determination with the LEA method. **Conclusion:** The two methods, radiographic and LEA, should be used in association since each has particularities that present more significant benefits enhancing the success of endodontic treatment and a better and more complete treatment for patients.

Keywords: Endodontics, electronic apex locator, odontometry, radiographic measurement.



1. INTRODUÇÃO

A terapia endodôntica tem como principal objetivo eliminar a infecção e inflamação presentes no canal radicular e no periápice (Nair, 2004). Esse objetivo é alcançado através de uma preparação químico-mecânica adequada do sistema de canais radiculares utilizando instrumentos endodônticos e soluções irrigantes e, posteriormente, a obturação, prevenindo assim uma futura reinfecção (Haapasalo *et al.*, 2010, 2014).

A odontometria, fase do tratamento endodôntico em que é feita a medição do comprimento de trabalho (CT), é uma das etapas mais precoces da terapia endodôntica e uma das mais importantes para o seu sucesso (D'Assunção *et al.*, 2007). O CT é definido pela Associação Americana de Endodontia como a distância, em milímetros, de um ponto de referência coronal até ao ponto apical onde o preparo do canal e a sua obturação deve terminar. O limite apical corresponde ao ponto onde a preparação por parte dos nossos instrumentos endodônticos deve finalizar bem como o limite da obturação do canal (Harrison *et al.*, 1983; Ricucci, 2002). Quando o CT é bem calculado garante a correta desinfecção, um preparo químico mecânico ideal e o selamento hermético do canal radicular. A correta determinação do CT é uma etapa crucial para o sucesso imediato e a longo prazo do tratamento endodôntico (Gordon & Chandler, 2004; Ricucci & Langeland, 2002). É no entanto, uma etapa desafiadora devido à complexidade da anatomia apical. O cálculo incorreto poderá conduzir à sobreinstrumentação ou subinstrumentação bem como a uma deficiente desinfecção do sistema de canais, e que poderá conduzir a dor pós operatória, inflamação dos tecidos perirradiculares e até a infecções secundárias, situações causadoras de um potencial insucesso do tratamento (Ricucci & Langeland, 2002).

A junção cimento-dentinária, também conhecida por constrição apical (CA), é o ponto apical ideal da instrumentação endodôntica e sua obturação (Ponce & Vilarfernandez, 2003). Esse ponto é caracterizado por ser o menor diâmetro do canal radicular e representa a transição entre o tecido pulpar e o tecido periodontal, sendo localizado em média 0,50-0,75 mm do foramen apical (Kuttler, 1955; Nasiri & Wrbas, 2022).

O método radiográfico, amplamente utilizado na determinação do CT, é um método válido e mais comumente aplicado no cálculo do CT (Gordon & Chandler, 2004). Apesar de ser uma técnica amplamente utilizada, por ser um método que depende unicamente da exposição radiográfica e da interpretação do operador, apresenta limitações, distorção de imagem, sobreposição de estruturas anatómicas, densidade óssea, não coincidência do foramen apical em relação ao ápice radicular, exposição à radiação, tempo de processamento, baixa qualidade da imagem e perda de informação, uma vez que se trata de uma imagem a 2D de estruturas a 3D e incapaz de detetar a localização da CA (Krajczár *et al.*, 2008; Raghu *et al.*, 2014).

Para superar essas limitações, o uso dos LEAs tem vindo a progredir e ganhando popularidade na medicina dentária especificamente na área da endodontia. O método de localização eletrónica para medição do CT foi pela primeira vez estudado por Custer (1918), e posteriormente revisado por Suzuki (1942), que investigou mais a fundo as propriedades de resistência elétrica dos tecidos orais. No entanto, foi apenas

1. INTRODUCTION

The main aim of endodontic therapy is to eliminate the infection and inflammation present in the root canal and the periapical region (Nair, 2004). This objective is achieved through adequate chemical-mechanical preparation of the root canal system using endodontic instruments and irrigating solutions and, subsequently, obturation, thus preventing future reinfection (Haapasalo *et al.*, 2010, 2014).

Odontometry, the phase of endodontic treatment in which the working length (WL) is measured, is one of the earliest stages of endodontic therapy and one of the most important for its success (D'Assunção *et al.*, 2007). CT is defined by the American Association of Endodontics as the distance, in millimetres, from a coronal reference point to the apical point where canal preparation and obturation should end. The apical limit corresponds to the point where the preparation by our endodontic instruments should cease, as well as the limit of the canal obturation (Harrison *et al.*, 1983; Ricucci, 2002). When the CT is well calculated, it guarantees correct disinfection, optimal mechanical chemical preparation and hermetic sealing of the root canal. Correctly determining the CT is a crucial step for the immediate and long-term success of endodontic treatment (Gordon & Chandler, 2004; Ricucci & Langeland, 2002). However, it is a challenging stage due to the complexity of the apical anatomy. An incorrect calculation can lead to over-instrumentation or under-instrumentation as well as poor disinfection of the canal system, which can lead to post-operative pain, inflammation of the periradicular tissues and even secondary infections, situations that cause potential treatment failure (Ricucci & Langeland, 2002).

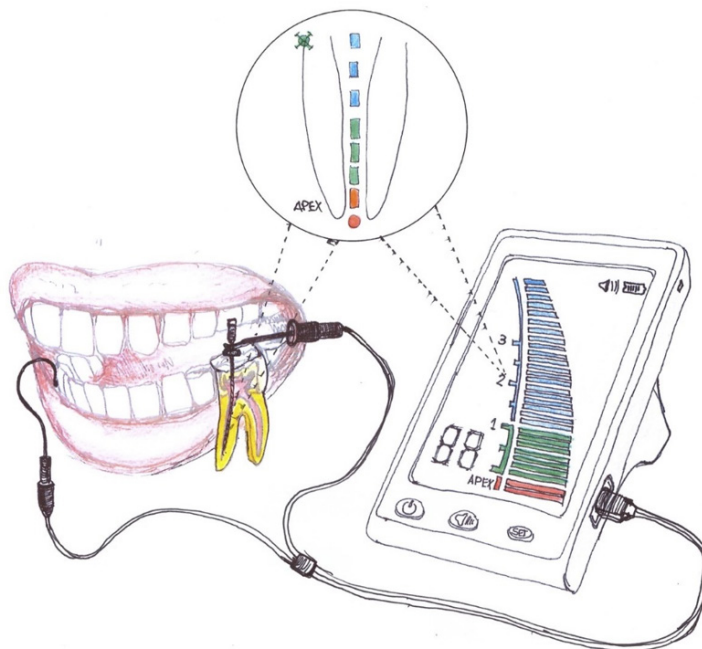
The cement-dentin junction, also known as the apical constriction (CA), is the ideal apical point for endodontic instrumentation and obturation (Ponce & Vilarfernandez, 2003). This point is characterised by being the most minor diameter in the root canal and represents the transition between the pulp tissue and the periodontal tissue, being located on average 0.50-0.75 mm from the apical foramen (Kuttler, 1955; Nasiri & Wrbas, 2022).

The radiographic method, which is widely used to determine the CT, is a valid and most commonly applied method for calculating the CT (Gordon & Chandler, 2004). Despite being a widely used technique, as it is a method that depends solely on radiographic exposure and operator interpretation, it has limitations, such as image distortion, overlapping of anatomical structures, bone density, non-coincidence of the apical foramen with the root apex, radiation exposure, processing time, poor image quality and loss of information, as it is a 2D image of 3D structures and is unable to detect the location of the CA (Krajczár *et al.*, 2008; Raghu *et al.*, 2014).

To overcome these limitations, the use of LEAs has been progressing and gaining popularity in dentistry, specifically in endodontics. The electronic localisation method for measuring CT was first studied by Custer (1918) and later revised by Suzuki (1942), who further investigated the electrical resistance properties of oral tissues. However, it wasn't until Sunada (1962) that the first LEA was developed. Since then, several generations of LEAs have evolved, intending to increase the

com Sunada (1962), que o primeiro LEA foi desenvolvido. Desde então, diversas gerações de LEAs foram evoluindo com o objetivo de aumentar a precisão e acurácia na determinação do CT (Mahmoud et al., 2021; Pishipati, 2013; Raghu et al., 2014) (Figura 1).

precision and accuracy of CT determination (Mahmoud et al., 2021; Pishipati, 2013; Raghu et al., 2014) (Figure 1).



Figura/Figure 1: Esquema representativo do mecanismo de funcionamento dos LEAs/Schematic representation of how LEAs work.

Os LEAs podem ser utilizados na maioria dos tratamentos endodônticos, contudo estes dispositivos eletrônicos também podem apresentar limitações. Podem acusar erro de leitura, em casos onde ocorra perfuração da raiz e/ou fratura radicular. Nesses casos específicos, o LEA pode ser um método auxiliar no diagnóstico das lesões (D'Assunção et al., 2014; Mahmoud et al., 2021; Piasecki et al., 2016).

LEAs can be used in most endodontic treatments, but these devices are also limited. Reading errors can occur in cases where root perforation and root fracture occur. In these specific cases, the LEA can be an auxiliary method for diagnosing lesions (D'Assunção et al., 2014; Mahmoud et al., 2021; Piasecki et al., 2016).

O presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática integrativa da literatura sobre a acurácia entre o método radiográfico convencional e o método eletrônico com os LEAs na determinação do CT em tratamentos endodônticos. Foi realizada uma pesquisa de artigos nos últimos 10 anos, até ao final 2022 em língua inglesa. Os critérios de seleção incluíram, estudos *in vitro*, *in vivo* e meta-análises.

This study aims to conduct a systematic integrative review of the literature on the accuracy of the conventional radiographic method and the electronic method with LEAs in determining the CT in endodontic treatments. A search was conducted for articles from the last ten years to the end of 2022 in English. The selection criteria included *in vitro* and *in vivo* studies and meta-analyses.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. MÉTODO DE BUSCA PARA IDENTIFICAÇÃO DE ESTUDOS

2.1. SEARCH METHOD FOR IDENTIFYING STUDIES

Uma pesquisa bibliográfica foi realizada na plataforma PubMed, que inclui a grande maioria das revistas científicas na área da Medicina Dentária e Endodontia, com as palavras-chave combinadas através do operador booleano AND da seguinte forma: ("endodontics" AND "electronic apex locator" AND "radiographic measurement") e ("endodontics" AND "electronic apex locator" AND "radiographic measurements" AND "odontometry"), para que o maior número possível de artigos fosse obtido.

A bibliographic search was carried out on the PubMed platform, which includes the vast majority of scientific journals in the field of Dentistry and Endodontics, with the keywords combined using the Boolean operator AND as follows: ("endodontics" AND "electronic apex locator" AND "radiographic measurement") and ("endodontics" AND "electronic apex locator" AND "radiographic measurements" AND "odontometry"), so that as many articles as possible could be obtained.

The inclusion criteria were articles published in the last ten years, up to the end of 2022, in English, and which carried out

Como critérios de inclusão foram utilizados artigos publicados nos últimos 10 anos, até ao final de 2022, em inglês, e que realizaram os seus estudos em dentição permanente.

Como critérios de exclusão, artigos publicados há mais de 10 anos, que realizaram os seus estudos em dentição decídua e que tinham como objetivo de estudo métodos que não a radiografia periapical (convencional ou digital) e LEAs.

2.2. DESENHO DO ESTUDO E SELEÇÃO DE ESTUDOS E PROCESSO DE SELEÇÃO DE DADOS

A seleção dos estudos foi realizada em três fases. Numa fase inicial, os estudos foram selecionados por relevância de título e os resumos foram considerados relativamente aos artigos não excluídos nesta fase. Os seis autores (CM, MD, RFP, AMF, PM, OT) analisaram independentemente os títulos e os resumos potencialmente relevantes e foram de encontro aos critérios de inclusão. O número total de artigos para cada combinação de palavras foi compilado e os duplicados foram removidos através do *software* de gestão de referências, *Zotero*. A segunda fase compreendeu a avaliação dos resumos. Os artigos selecionados foram analisados individualmente, lidos e analisados considerando o objetivo do presente estudo. A terceira fase, compreendeu a categorização dos artigos selecionados, através do ano de publicação e autor. Os seguintes critérios foram considerados no presente estudo, autor, título, objetivo, tipo de estudo, idade do participante, tipo de dentes analisados.

A estratégia PICOS foi utilizada para definir a população, intervenção, comparação, resultados e desenho do estudo, com o objetivo de responder à pergunta "Qual dos métodos é o mais preciso na determinação do CT em dentição permanente, método radiográfico ou o método eletrónico com os LEAs?" da seguinte forma: População: pacientes adultos com dentição permanente com indicação para tratamento endodôntico não cirúrgico (TENC). Intervenção: Medição do CT utilizando radiografia periapical e LEAs. Comparação: CT real versus CT obtido com os métodos radiográficos e LEAs. Resultados: avaliar os resultados obtidos pelos dois métodos de determinação do CT. Desenho do estudo: Revisão sistemática integrativa.

Os estudos considerados elegíveis para inclusão no presente trabalho dizem respeito à comparação entre o método radiográfico convencional e/ou digital e os LEAs.

3. RESULTADOS

A pesquisa bibliográfica identificou um total de 68 artigos no PubMed, como mostra o fluxograma representado na figura 2. Depois de removidos os artigos duplicados restaram 36 artigos.

Seguindo os critérios de inclusão e exclusão previamente definidos, 10 artigos não se encontravam disponíveis com a informação pretendida ou tinham como grupo de estudo dentição decídua.

Após a leitura completa e análise minuciosa de cada artigo, 15 artigos foram excluídos pois tinham como objetivo de estudo métodos que não a radiografia periapical (convencional ou digital) e LEAs, restando assim 11 artigos para inclusão na presente revisão sistemática (Chaudhary *et al.*, 2018; Keratitotis *et al.*, 2019; Khandewal *et al.*, 2015; Khursheed *et al.*, 2014; Mahmoud *et al.*, 2021; Pishipati, 2013; Raghu *et al.*, 2014; Rambabu *et al.*, 2018; Ramezani *et al.*, 2022; Shah *et al.*, 2013; Tampelini *et al.*, 2017).

their studies on permanent dentition.

Exclusion criteria were articles published more than ten years ago, which carried out their studies in deciduous dentition and whose study objective was methods other than periapical radiography (conventional or digital) and LEAs.

2.2. STUDY DESIGN AND SELECTION OF STUDIES AND DATA SELECTION PROCESS

The selection of studies was carried out in three phases. In the initial phase, the studies were selected by title relevance and the abstracts were considered with the articles not excluded at this stage. The six authors (CM, MD, RFP, AMF, PM, OT) independently analysed the potentially relevant titles and abstracts and met the inclusion criteria. The total number of articles for each combination of words was collated, and duplicates were removed using the reference management software *Zotero*. The second phase involved assessing the abstracts. The selected articles were analysed individually, read and analysed considering the aim of this study. The third phase involved categorising the articles chosen by year of publication and author. The following criteria were considered in this study: author, title, objective, type of study, age of participant, and type of teeth analysed.

The PICOS strategy was used to define the population, intervention, comparison, results and study design to answer the question, "Which of the methods is the most accurate in determining CT in permanent dentition, the radiographic method or the electronic method with LEAs?" as follows: Population: adult patients with permanent dentition with an indication for non-surgical endodontic treatment (TENC). Intervention: CT measurement using periapical radiography and LEAs. Comparison: Real CT versus CT obtained with the radiographic methods and LEAs. Results: To evaluate the results obtained by the two methods of determining CT. Study design: Integrative systematic review.

The studies considered eligible for inclusion in this study concerned a comparison between the conventional and digital radiographic methods and the LEAs.

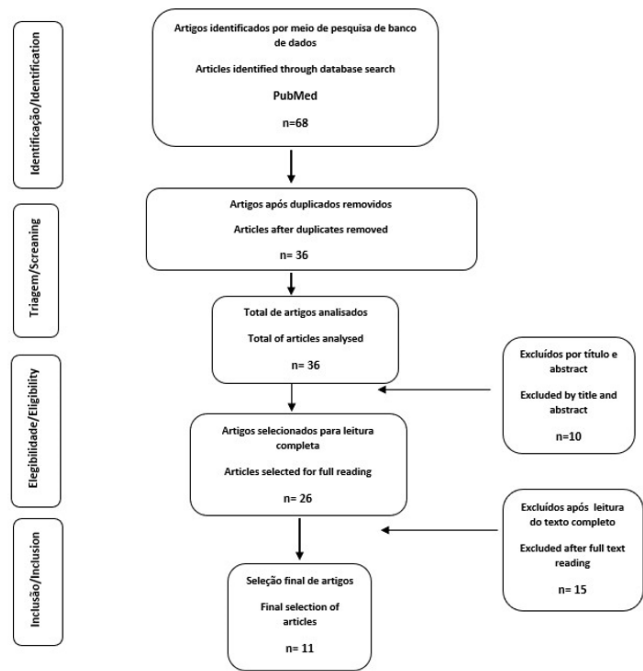
3. RESULTS

The literature search identified 68 articles in PubMed, as shown in the flowchart in Figure 2. After removing duplicate articles, 36 articles remained.

Following the previously defined inclusion and exclusion criteria, ten articles were unavailable with the required information or had deciduous dentition as the study group.

After thoroughly reading and analysing each article, 15 articles were excluded because their study objective was methods other than periapical radiography (conventional or digital) and LEAs, leaving 11 articles for inclusion in this systematic review (Chaudhary *et al.*, 2018; Keratitotis *et al.*, 2019; Khandewal *et al.*, 2015; Khursheed *et al.*, 2014; Mahmoud *et al.*, 2021; Pishipati, 2013; Raghu *et al.*, 2014; Rambabu *et al.*, 2018; Ramezani *et al.*, 2022; Shah *et al.*, 2013; Tampelini *et al.*, 2017).

Table 1 summarises the characteristics, type of intervention and results of the selected studies.



Figura/Figure 2: Diagrama de fluxo Prisma/Prism flow diagram.

Na tabela 1 estão sumarizadas as características, tipo de intervenção e resultados dos estudos selecionados.

Tabela/Table 1: Características, tipo de intervenção e resultados dos estudos selecionados/Characteristics, type of intervention and results of the selected studies.

Autores (ano)/ Authors (year)	Título/ Title	Objetivo/ Purpose	Tipo de estudo/ Study	Idade dos participantes/ Age of participants	Tipo de dentes/ Type of teeth	LEA	Conclusões/ Conclusions
Mahmoud et al. (2021)	“Comparative Evaluation of Accuracy of Different Apex Locators: Propex IQ, Raypex 6, Root ZX, and Apex ID with CBCT and Periapical Radiograph-In Vitro Study”	Comparar a medição do CT realizado com o LEA Propex IQ com outros LEAs, CBCT e radiografia periapical convencional/ Compare CT measurement performed with the Propex IQ LEA to other LEAs, CBCT and conventional periapical radiography.	Estudo <i>in vivo</i> / In vitro study	Não mencionada/ Unmentioned	35 pré molares monocanales/ 35 single-canal pre-molars	Propex IQ; Raypex 6; Root ZX; Apex ID	Radiografias periapicais convencionais foram as menos precisas e não podem ser utilizadas para determinar o CT. Raypex 6, Root ZX e Apex ID demonstraram resultados estatisticamente semelhantes. No entanto, nenhum outro LEA obteve resultados tão precisos quanto o Propex IQ/ Conventional periapical radiographs were the least accurate to determine CT. Raypex 6, Root ZX and Apex ID showed statistically similar results. However, no other LEA obtained results as accurate as Propex IQ.
Rambabu et al. (2018)	“Comparison of Tentative Radiographic Working Length with and without grid Versus Electronic Apex Locator”	Comparar e avaliar a estimativa de CT com radiografia convencional e digital tendo como referência o LEA/Compare and evaluate CT estimation with conventional and digital radiography with reference to LEA	Estudo <i>in vivo</i> / In vitro study	18 a 60 anos/ 18-60 years old	30 dentes monocanales/ 30 monocal teeth	Root ZX	Medição com radiografia digital associada com LEA mostrou-se uma ferramenta melhor que a radiografia convencional associada ao LEA/ Measurement with digital radiography associated with LEA proved to be a better tool than conventional radiography associated with LEA

Raghu et al. (2014)	"In vivo evaluation of the accuracy of working length determination using an electronic apex locator IPEX (NSK) on vital uninfected teeth and teeth with radiographic evidence of periapical lesions"	Comparar a acurácia da medição do CT do LEA IPEX com a radiografia periapical convencional em diferentes condições clínicas/Compare the accuracy of LEA IPEX CT measurement with conventional periapical radiography under different clinical conditions.	Estudo <i>in vivo</i> /In vitro study	Adultos, idades não mencionadas/Adults, ages not mentioned	36 dentes monocanales/36 monocal teeth	IPEX	Resultados semelhantes para ambos os métodos/Similar results for both methods/In vitro, Propex II was more accurate than the conventional radiographic method in determining CT. LEA can reduce the overestimation observed in the radiographic method.
Pishipati (2013)	"An In Vitro Comparison of Propex II Apex Locator to Standard Radiographic Method"	Comparar a acurácia do método radiográfico e do Propex II na determinação do CT/Compare the accuracy of the radiographic method and Propex II in determining the CT.	Estudo <i>in vivo</i> /In vitro study	Não mencionada/Unmentioned	30 dentes monocanales/30 monocal teeth	Propex II	In vitro, o Propex II foi mais preciso do que o método radiográfico convencional na determinação do CT. O LEA pode reduzir a sobre estimação observada no método radiográfico.
Keratotis et al. (2019)	"A comparative evaluation of two working length determination methods"	Determinar o nível de concordância entre o LEA e o método radiográfico na medição do CT/To determine the level of agreement between LEA and the radiographic method in CT measurement.	Estudo <i>in vivo</i> /In vitro study	Não mencionada/Unmentioned	100 dentes monocanales/100 monocal teeth	BINGO 1020	As duas técnicas (LEA e radiografia convencional) demonstraram concordância na medição do CT, sem diferença estatística significativa/Both techniques (LEA and conventional radiography) demonstrated agreement in the measurement of CT, with no statistically significant difference.
Tampelini et al. (2017)	"In vivo assessment of accuracy of Propex II, Root ZX II, and radiographic measurements for location of the major foramen"	Comparar os dois LEAs de terceira geração Propex II e Root ZX II com o método radiográfico convencional na localização do foramen apical/Compare the two third-generation LEAs, Propex II and Root ZX II with the conventional radiographic method in locating the apical foramen	Estudo <i>in vivo</i> /In vitro study	Não mencionada/Unmentioned	32 pré molares monocanales/32 single-canal pre-molars.	Propex II e Root ZX II	Os dois LEAs demonstraram similar acurácia na determinação do CT e melhores resultados quando comparado com o método radiográfico convencional/Both LEAs showed similar accuracy in determining the CT and better results when compared to the conventional radiographic method.
Khandewal et al. (2015)	"Comparative Evaluation of Accuracy of 2 Electronic Apex Locators with Conventional Radiography: An Ex vivo Study"	Avaliar a acurácia do Raypex 5 e do Apex NRG na determinação do CT comparado com método radiográfico convencional/Evaluate the accuracy of Raypex 5 and Apex NRG in determining CT compared with conventional radiographic method.	Estudo <i>ex vivo</i> /Ex vivo study	Não mencionada/Unmentioned	25 dentes monocanales/25 monocal teeth	Raypex 5 e Apex NRG	Em situação de estudo ex vivo, não foi observada diferença na medição do CT entre os LEAs e o método radiográfico convencional/In an ex vivo study situation, no difference in CT measurement was observed between LEAs and the conventional radiographic method.

Khursheed et al. (2014)	"A comparative evaluation of working length with digital radiography and third generation apex locator (Propex) in the presence of various intracanal irrigants: An in vivo/ex vivo study"	Comparar a determinação do CT usando radiografia periapical digital com o LEA Propex, na presença de diversas soluções irrigantes/ Compare the CT determination using digital radiography with the LEA Propex in the presence of different irrigation solutions.	Estudo in vivo/ ex vivo/ In vivo/ex vivo study	Não mencionada/ Unmentioned	40 dentes monocanales/ 40 monocal teeth	Propex	A performance da medição do CT utilizando radiografia periapical digital foi similar ao LEA Propex na presença da solução irrigante em termos de capacidade diagnóstica. Não foi observada diferença estatística. Entre os irrigantes, o melhor resultado foi observado na presença de gluconato de clorexidina, com 92,50%, enquanto a maior discrepância de resultados foi obtida com o hipoclorito de sódio/The performance of CT measurement using digital periapical radiography was similar to LEA Propex in the presence of irrigating solution in terms of diagnostic ability. No statistical difference was observed. Among irrigants, the best result was observed in the presence of chlorhexidine gluconate, with 92.50%, while the greatest discrepancy in results was obtained with sodium hypochlorite
Mandlik et al. (2013)	"An in vivo Evaluation of Different Methods of Working Length Determination"	Comparar a habilidade manual, radiografia periapical digital e LEA na determinação da constrição apical/Compare manual dexterity, digital periapical radiography and LEA in determining apical constriction.	Estudo in vivo/ In vitro study	Não mencionada/ Unmentioned	31 incisivos e pré molars supra numerários/ 31 supra numerary incisors and pre molars	Root ZX	Concluiu-se que LEA apresentou melhores resultados na medição do CT quando comparado com o método radiográfico digital/ It was concluded that LEA showed better results in CT measurement when compared to the digital radiographic method.
Chaudhary et al. (2018)	"An in vivo comparison of accuracy of two electronic apex locators in determining working length using stainless steel and nickel titanium files"	Comparar a acurácia do Propex II e iPex II em condições clínicas com a radiografia periapical/ Compare the accuracy of Propex II and iPex II under clinical conditions with periapical radiography.	Estudo in vivo/ In vitro study	Não mencionada/ Unmentioned	60 dentes monocanales/ 60 monocal teeth	Propex II e iPex II	Os dois LEAs são clinicamente aceitáveis na medição do CT/Both LEAs are clinically acceptable in CT measurement.
Ramezani et al. (2022)	"Accuracy of three types of apex locators versus digital periapical radiography for working length"	Comparar a acurácia de 3 LEAs: Woodpex III, Woodpex V e Root ZX com a radiografia digital/ Comparing the accuracy of 3 LEAs: Woodpex III, Woodpex V and Root ZX with digital radiography.	Estudo in vivo/ In vitro study	Não mencionada/ Unmentioned	58 pré-molares superiores Monocanales/ 58 maxillary premolars monocal	Woodpex III; Woodpex V e Root ZX	Os LEAs Woodpex V e Root Zx apresentaram melhores resultados comparativamente ao método radiográfico digital/Woodpex V and Root Zx LEAs showed better results compared to the digital radiographic method.
Legenda/Legend: * CT (Comprimento de trabalho); LEA (Localizador electrónico apical); CBCT (Tomografia computadorizada de feixe cónico).							

Os principais resultados dos estudos avaliados foram os seguintes:

- Dos LEAs avaliados, o Root ZX e o Propex II foram os localizadores eletrónicos mais utilizados nos estudos seleccionados (Chaudhary *et al.*, 2018; Mahmoud *et al.*,

The main results of the studies evaluated were as follows:

- Of the LEAs evaluated, Root ZX and Propex II were the most commonly used electronic locators in the selected studies (Chaudhary *et al.*, 2018; Mahmoud *et al.*, 2021; Pishipati, 2013; Rambabu *et al.*, 2018; Shah *et*

2021; Pishipati, 2013; Rambabu *et al.*, 2018; Shah *et al.*, 2013; Tampelini *et al.*, 2017).

- Quando avaliados os LEAs Raypex 6 e Apex ID com radiografias periapicais convencionais, em estudos *in vitro*, o método radiográfico mostrou-se menos preciso na odontometria. O mesmo resultado foi observado com o Root ZX em estudos *in vivo* (Mahmoud *et al.*, 2021; Shah *et al.*, 2013).
- A medição do CT utilizando radiografia digital e o LEA Root ZX mostrou-se uma ferramenta melhor que a radiografia convencional associada ao mesmo LEA, num estudo *in vitro* (Rambabu *et al.*, 2018).
- Quando comparados os LEAs IPEX e Bingo 1020 com o método radiográfico, os dois LEAs obtiveram os mesmos resultados que o método radiográfico, em estudos *in vivo* (Keratiotis *et al.*, 2019; Raghu *et al.*, 2014).
- Quando comparado os LEAs Propex II e Root ZX II entre si não houve diferença de precisão na odontometria; no entanto, quando comparados com o método radiográfico convencional, apresentaram maior acurácia comparativamente ao método radiográfico convencional (Pishipati, 2013; Tampelini *et al.*, 2017).
- Na presença de soluções irrigantes, no estudo que compara o método radiográfico digital com o LEA ProPex foi observado que na presença de soluções irrigantes, o melhor resultado foi observado com o gluconato de clorexidina, com 92,50%, enquanto a maior discrepância de resultados foi obtida com o hipoclorito de sódio. Em relação à determinação da odontometria, os dois métodos obtiveram resultados semelhantes (Khursheed *et al.*, 2014).
- Quando comparados os LEAs Raypex 5 e Apex NRG com o método radiográfico convencional, não foi observada diferença na acurácia entre os métodos (Khandewal *et al.*, 2015).
- Dos estudos avaliados cujo o objetivo era comparar a acurácia entre o método radiográfico e o método eletrônico na determinação do CT, a maioria não apresentou diferença estatisticamente significativa nos resultados obtidos entre os dois métodos (Chaudhary *et al.*, 2018; Keratiotis *et al.*, 2019; Khandewal *et al.*, 2015; Khursheed *et al.*, 2014; Raghu *et al.*, 2014; Rambabu *et al.*, 2018). No entanto, são mais os estudos que demonstram maior acurácia por parte do método eletrônico relativamente ao método radiográfico (Mahmoud *et al.*, 2021; Pishipati, 2013; Ramezani *et al.*, 2022; Shah *et al.*, 2013; Tampelini *et al.*, 2017) como demonstrado na tabela 2.

al., 2013; Tampelini *et al.*, 2017).

- When the Raypex 6 and Apex ID LEAs were evaluated with conventional periapical radiographs in vitro studies, the radiographic method proved less accurate in odontometry. The same result was observed with Root ZX in in vivo studies (Mahmoud *et al.*, 2021; Shah *et al.*, 2013).
- CT measurement using digital radiography and the Root ZX LEA proved to be a better tool than conventional radiography associated with the same LEA in an in vitro study (Rambabu *et al.*, 2018).
- When the IPEX and Bingo 1020 LEAs were compared with the radiographic method, both LEAs obtained the same results as the radiographic method in vivo studies (Keratiotis *et al.*, 2019; Raghu *et al.*, 2014).
- When the Propex II and Root ZX II LEAs were compared to each other, there was no difference in accuracy in odontometry; however, when compared to the conventional radiographic method, they showed greater accuracy compared to the conventional radiographic method (Pishipati, 2013; Tampelini *et al.*, 2017).
- In the study comparing the digital radiographic method with the LEA ProPex, it was observed that in the presence of irrigating solutions, the best result was observed with chlorhexidine gluconate, with 92.50%. In contrast, the most significant discrepancy in results was obtained with sodium hypochlorite. In terms of determining odontometry, the two methods obtained similar results (Khursheed *et al.*, 2014).
- When the Raypex 5 and Apex NRG LEAs were compared with the conventional radiographic method, no difference in accuracy was observed between the methods (Khandewal *et al.*, 2015).
- Of the studies evaluated, the aim of which was to compare the accuracy of the radiographic method and the electronic method in determining the TC, the majority showed no statistically significant difference in the results obtained between the two methods (Chaudhary *et al.*, 2018; Keratiotis *et al.*, 2019; Khandewal *et al.*, 2015; Khursheed *et al.*, 2014; Raghu *et al.*, 2014; Rambabu *et al.*, 2018). However, more studies show that the electronic method is more accurate than the radiographic method (Mahmoud *et al.*, 2021; Pishipati, 2013; Ramezani *et al.*, 2022; Shah *et al.*, 2013; Tampelini *et al.*, 2017) as shown in Table 2.

Tabela/Table 2: Tabela demonstrativa dos resultados da acurácia dos métodos radiográfico e eletrônico dos estudos selecionados para esta revisão sistemática integrativa/Table showing the results of the accuracy of the radiographic and electronic methods of the studies selected for this integrative systematic review.

Autores/ Authors	Objetivo de comparação/ Comparison objective	Método radiográfico/ Radiographic method	LEA	Sem diferenças estatisticamente significativas/ No statistical significant difference
Pishipati KVC (2013)	Rx convencional vs. LEA Propex II/ Conventional X-ray vs. LEA Propex II		X	

Mandlik et al. (2013)	Rx digital vs. LEA Root ZX/ Digital X-ray vs. LEA Root ZX		X	
Raghu et al. (2014)	Rx digital vs. LEA IPEX/ Digital X-ray vs. LEA IPEX			X
Khursheed et al. (2014)	Rx digital vs. LEA Propex/ Digital X-ray vs. LEA Propex			X
Khandewal et al. (2015)	Rx convencional vs. LEAs Raypex 5 e Apex NRG/ Conventional X-ray vs. LEAs Raypex 5 e Apex NRG			X
Tampelini et al. (2017)	Rx convencional vs. LEAs Propex II e Root ZX II/ Conventional X-ray vs. LEAs Propex II e Root ZX II		X	
Rambabu et al. (2018)	Rx convencional vs. Rx digital vs. LEA Root ZX/ Conventional X-ray vs. Rx digital vs. LEA Root ZX			X
Chaudhary et al. (2018)	Rx convencional vs. LEAs Propex II e IPEX II/ Conventional X-ray vs. LEAs Propex II e IPEX II			X
Keratotis et al. (2019)	Rx convencional vs. LEA Bingo 1020/ Conventional X-ray vs. LEA Bingo 1020			X
Mahmoud et al. (2021)	Rx convencional vs. LEAs Propex IQ, Raypex 6, Root ZX, Apex ID/ Conventional X-ray vs. LEAs Propex IQ, Raypex 6, Root ZX, Apex ID		X	
Ramezani et al. (2022)	Rx digital vs. LEAs Woodpex V, Woodpex III, Root ZX/ Digital X-ray vs. LEAs Woodpex V, Woodpex III, Root ZX		X	
Legenda/Legend: * LEA (Localizador eletrônico apical); RX (raio-x)/LEA (Electronic apex locator); RX (X- ray).				

4. DISCUSSÃO

4.1. MÉTODO RADIOGRÁFICO

O método radiográfico foi descoberto por Wilhelm Conrad Röntgen (Weber, 2001) em 1895, enquanto trabalhava com raios catódicos. A capacidade de auxiliar em diagnósticos permitiu a difusão da técnica e a sua utilização em larga escala por diversas especialidades dentro da Medicina. Na Medicina Dentária, o doutor Edmund Kells é tido como o primeiro médico dentista a realizar a técnica, nos Estados Unidos. Em 1899 utilizou pela primeira vez a técnica radiográfica com a finalidade de determinar o comprimento do conduto radicular, com a aplicação de um fio denominado "fio diagnóstico" (Jacobsohn & Fedran, 1995; Weber, 2001).

A correta odontometria é uma das etapas iniciais mais importantes para o sucesso da terapia endodôntica, uma vez que o CT corretamente determinado garante uma eficaz desinfecção e conformação do sistema de canais (Ricucci, 2002; Ricucci & Langeland, 2002). No entanto, localizar a posição apical adequadamente torna-se muitas vezes um desafio. A necessidade de uma odontometria rigorosa é indispensável, pois casos em que ocorrem sobreinstrumentação causam uma incompleta regeneração do cimento, ligamento periodontal e possível destruição do osso alveolar, levando assim a um maior tempo de cicatrização ou até à sua impossibilidade por completo (Chaudhary *et al.*, 2018). Em oposição, em casos de subinstrumentação, um incorreto preparo do canal radicular e consequentemente incorreta obturação resulta na presença de bactérias patogênicas dentro do mesmo, podendo futuramente desencadear novos processos inflamatórios e infecciosos (Raghu *et al.*, 2014; Rambabu *et al.*, 2018). O método radiográfico foi considerado, por muito tempo, o único possível e mais utilizado na determinação da odontometria. Esse método, também denominado de método de Ingle, consiste na visualização da radiografia e na interpretação do posicionamento da lima localizada dentro do canal pelo operador. Esse método tem como referencial coronal a ponta de uma cúspide e como referencial apical o apex anatômico ou

4. DISCUSSION

4.1. RADIOGRAPHIC METHOD

The radiographic method was discovered by Wilhelm Conrad Röntgen (Weber, 2001) in 1895 while he was working with cathode rays. The technique's ability to aid diagnosis allowed it to be disseminated and used on a large scale by various medical specialties. In dentistry, Dr Edmund Kells is considered to be the first dentist to use the technique in the United States. In 1899, he used the radiographic technique for the first time to determine the length of the root canal, using a "diagnostic wire" (Jacobsohn & Fedran, 1995; Weber, 2001). Correct odontometry is one of the most critical initial stages for successful endodontic therapy since correctly determined CT guarantees effective disinfection and shaping of the canal system (Ricucci, 2002; Ricucci & Langeland, 2002). However, localising the apical position properly is often a challenge. The need for rigorous odontometry is indispensable, as cases of over-instrumentation cause incomplete regeneration of the cementum periodontal ligament and possible destruction of the alveolar bone, thus leading to a longer healing time or even its complete impossibility (Chaudhary *et al.*, 2018). On the other hand, in cases of under instrumentation, incorrect preparation of the root canal and consequent incorrect obturation results in the presence of pathogenic bacteria inside it, which can trigger new inflammatory and infectious processes in the future (Raghu *et al.*, 2014; Rambabu *et al.*, 2018). For a long time, the radiographic method was considered the only possible and most widely used method for determining odontometry. This method, also known as the Ingle method, consists of the operator visualising the radiograph and interpreting the file's position inside the canal. The coronal reference point for this method is the tip of a cusp, and the apical reference point is the anatomical or radiological apex (Vieyra & Acosta, 2011).

To improve the radiographic image obtained and save consultation time, the digital era emerged, namely digital X-rays. This technique has many advantages, such as faster image acquisition, lower radiation dose (exposure can be

radiológico (Vieyra & Acosta, 2011).

No sentido de melhorar a imagem radiográfica obtida e poupar tempo de consulta surgiu a era digital, nomeadamente o Rx digital. Essa técnica possui algumas vantagens, como uma maior velocidade na aquisição das imagens, menor dose de radiação (podendo reduzir a exposição até 77%) e a possibilidade de edição da imagem adquirida (Kantor, 2005). Essa última sendo uma mais valia pois, muitas vezes, o seu ajuste evita a necessidade de uma nova radiografia, reduzindo a exposição do paciente à radiação. O sensor digital não é tão flexível quanto uma película radiográfica convencional, sendo mais difícil o seu posicionamento no local correto da cavidade oral do paciente (Keratiotis *et al.*, 2019; Khursheed *et al.*, 2014).

O cálculo do CT pela técnica de Ingle empregando o Rx toma por referência o ápex anatômico/radiológico. Contudo, o foramen apical na maioria das vezes (entre 40 a 90% consoante o grupo de dentes) não segue o mesmo caminho do canal radicular, podendo localizar-se a 3 mm do ápex anatômico/radiológico (Gordon & Chandler, 2004). Outras limitações desse método são nomeadamente a distorção de imagem, a não coincidência entre o ápice anatômico/radiológico e o foramen apical e a impossibilidade de visualização da CA/foramen apical (Chandler & Koshy, 2002; Krajczár *et al.*, 2008). Uma forma encontrada para minimizar as distorções foi a utilização do método do paralelismo durante a execução do procedimento radiográfico, associada a um correto posicionamento da película radiográfica. No entanto, mesmo nestas condições, ainda é possível observar uma distorção de aproximadamente 5% com esta técnica (Vande Voorde & Bjorndahl, 1969).

4.2. LOCALIZADORES ELETRÔNICOS DE ÁPEX

No intuito de superar as limitações do método radiográfico, os LEAs têm sido cada vez mais utilizados (Martins *et al.*, 2014; Nasiri & Wrbas, 2022). Os LEAs são dispositivos eletrônicos posicionados no interior do canal radicular com intuito de mensurá-los. Desde o seu aparecimento, o seu princípio de funcionamento foi evoluindo e desde então são classificados por gerações (Golvankar *et al.*, 2019; Nasiri & Wrbas, 2022). Os LEAs de primeira geração, baseiam-se no princípio da resistência de corrente elétrica contínua entre um instrumento dentro do canal radicular e um eletrodo posicionado na mucosa oral. Esta primeira geração de aparelhos apresenta certos inconvenientes, como a necessidade de ter um canal sempre seco e livre de fluidos, uma vez que a ponta do instrumento, ao entrar em contato com esses fluidos, indica erroneamente a CA. A segunda geração de LEAs utiliza a impedância como forma de medição. O valor é medido segundo a oposição que um circuito elétrico faz à passagem de uma corrente elétrica alternada quando é submetido a uma tensão. Porém, assim como os de primeira geração possui baixa precisão na presença de fluidos intracanales (Gordon & Chandler, 2004). Os localizadores de terceira geração, diferentes dos anteriores, utilizam duas frequências para determinar a CA e, consequentemente, a posição da lima no canal. Porém a limitação desses aparelhos é a necessidade de calibração a cada uso. A quarta e quinta gerações de LEAs foram desenvolvidas para medir a resistência e a capacitância separadamente (ao invés de medir apenas a impedância - valor da resultante) para maior precisão, método denominado "*ratio method*". Além disso, estes LEAs não sofrem

reduced by up to 77%) and the possibility of editing the acquired image (Kantor, 2005). The latter is an added value as its adjustment often avoids needing a new X-ray, reducing the patient's exposure to radiation. The digital sensor is less flexible than conventional radiographic film, making it more difficult to position it in the correct place in the patient's oral cavity (Keratiotis *et al.*, 2019; Khursheed *et al.*, 2014).

The calculation of the CT using Ingle's X-ray technique takes the anatomical/radiological apex as a reference. However, the apical foramen most often (between 40 and 90% depending on the group of teeth) does not follow the same path as the root canal and can be located 3 mm from the anatomical/radiological apex (Gordon & Chandler, 2004). Other limitations of this method include image distortion, non-coincidence between the anatomical/radiological apex and the apical foramen and the impossibility of visualising the apical CA/foramen (Chandler & Koshy, 2002; Krajczár *et al.*, 2008). One way of minimising distortions was to use the parallelism method during the radiographic procedure, associated with the correct positioning of the radiographic film. However, even under these conditions, it is still possible to observe a distortion of approximately 5% with this technique (Vande Voorde & Bjorndahl, 1969).

4.2. ELECTRONIC APEX LOCATORS

To overcome the limitations of the radiographic method, LEAs have been increasingly used (Martins *et al.*, 2014; Nasiri & Wrbas, 2022). LEAs are electronic devices positioned inside the root canal to measure it. Since their appearance, their operating principle has evolved, and they have since been categorised into generations (Golvankar *et al.*, 2019; Nasiri & Wrbas, 2022). First-generation LEAs are based on the principle of direct electrical current resistance between an instrument inside the root canal and an electrode positioned on the oral mucosa. This first generation of devices has certain drawbacks, such as the need to have a canal that is always dry and free of fluids since the tip of the instrument, when it comes into contact with these fluids, erroneously indicates the CA. The second generation of LEAs uses impedance as the measurement method. The value is measured according to the opposition that an electrical circuit makes to the passage of an alternating electric current when it is subjected to a voltage. However, like the first generation, it has low accuracy in the presence of intracanal fluid (Gordon & Chandler, 2004). The third-generation locators, unlike the previous ones, use two frequencies to determine the CA and, consequently, the position of the file in the canal. However, the limitation of these devices is that they need to be calibrated each time. The fourth and fifth generations of LEAs have been developed to measure resistance and capacitance separately (instead of only measuring impedance - the value of the resultant) for greater precision, known as the "*ratio method*". In addition, these LEAs do not undergo measurement changes in the presence of intra-channel fluids and do not require calibration with each use (Mahmoud *et al.*, 2021; Nasiri & Wrbas, 2022; Pishipati, 2013; Raghu *et al.*, 2014). Today, the sixth generation of LEAs already exists, resulting from adapting the fifth generation, the adaptive localiser generation. These have greater consistency for measurements in root perforation and resorption (Haupt & Hülsmann, 2018).

alterações de medição na presença de fluidos intra canalares e não necessitam de calibração a cada uso (Mahmoud *et al.*, 2021; Nasiri & Wrbas, 2022; Pishipati, 2013; Raghu *et al.*, 2014). Hoje em dia, já existe a sexta geração de LEAs, resultantes da adaptação dos de quinta geração, conhecidos pela geração dos localizadores adaptativos. Estes, apresentam uma maior consistência para medições na presença de perfuração radicular e reabsorção radicular (Haupt & Hülsman, 2018).

Atualmente, os LEAs utilizados têm uma previsibilidade de resultados superior a 90% e vieram reduzir o tempo de consulta relativamente ao método radiográfico. Apresentam-se como um recurso importante para determinar a odontometria de forma segura (pela redução da exposição repetidas vezes ao Rx). No entanto, sua utilização deve ser sempre complementada pelo método radiográfico (Mahmoud *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2014; Rambabu *et al.*, 2018).

4.3. MÉTODO RADIOGRÁFICO VERSUS MÉTODO ELETRÔNICO (LEAS)

No estudo realizado por Raghu *et al.* (Raghu *et al.*, 2014), ao realizar a determinação do CT em dentes com lesões periapicais, os autores constataram uma medição mais precisa utilizando o método radiográfico em comparação com LEA, porém essa diferença não foi considerada estatisticamente significativa. Em concordância com estes resultados, o estudo *in vivo* realizado por Keratotis *et al.* (Keratotis *et al.*, 2019), em que os autores compararam o LEA BINGO 1020 com o método radiográfico convencional, concluiu-se que não há diferença estatisticamente significativa na determinação do CT entre os dois métodos em grupos com os mais diversos diagnósticos pulpites reversível, pulpites irreversível, necrose pulpar, dentes previamente tratados e dentes com lesões periapicais.

Num estudo *in vitro*, que comparou quatro LEAs diferentes e o método radiográfico convencional separadamente, tendo como *gold standard* o CT obtido através de microscopia, os autores observaram que os valores obtidos com o método radiográfico convencional foram os menos precisos, sendo os valores obtidos com Propex IQ os mais precisos. Os resultados obtidos com o Raypex 6, Root ZX e Apex ID foram considerados aceitáveis e superiores aos resultados obtidos com a radiografia periapical convencional isoladamente, no entanto inferiores ao Propex IQ (Mahmoud *et al.*, 2021). Além deste, Pishipati KVC (Pishipati, 2013), no seu estudo onde compara ProPex II (LEA de quinta geração) com radiografia periapical convencional, constatou precisão de 86,6% e 76,66% relativamente aos métodos, respectivamente, considerando um desvio de $\pm 0,5\text{mm}$. Esse resultado corrobora com Mahmoud *et al.* (Mahmoud *et al.*, 2021), em relação ao estudo *in vitro* e a dentes monocanales. Além disso, em relação a sobre-estimação do CT, quando utilizado o LEA foi de 3,33%, e quando utilizado o método radiográfico foi de 20%, demonstrando que apesar da sobre-estimação ter ocorrido com os dois métodos, com o LEA é menos frequente (Pishipati, 2013).

Estudos *in vivo* representam um desafio quanto à calibração e comparação dos objetos de estudo. Porém, são capazes de simular situações clínicas de forma mais precisa. No caso da avaliação da odontometria, o estudo de Tampelini *et al.* (Tampelini *et al.*, 2017) procurou padronizar os grupos

Atualmente, os LEAs utilizados têm uma previsibilidade de resultados superior a 90% e vieram reduzir o tempo de consulta relativamente ao método radiográfico. Apresentam-se como um recurso importante para determinar a odontometria de forma segura (pela redução da exposição repetidas vezes ao Rx). No entanto, sua utilização deve ser sempre complementada pelo método radiográfico (Mahmoud *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2014; Rambabu *et al.*, 2018).

4.3. RADIOGRAPHIC METHOD VERSUS ELECTRONIC METHOD (LEAS)

In the study carried out by Raghu *et al.* (Raghu *et al.*, 2014), when determining the CT in teeth with periapical lesions, the authors found a more accurate measurement using the radiographic method compared to the LEA, but this difference was not considered statistically significant. In agreement with these results, the *in vivo* study carried out by Keratotis *et al.* (Keratotis *et al.*, 2019), in which the authors compared the LEA BINGO 1020 with the conventional radiographic method, concluded that there was no statistically significant difference in the determination of CT between the two methods in groups with the most diverse diagnoses reversible pulpitis, irreversible pulpitis, pulp necrosis, previously treated teeth and teeth with periapical lesions.

In an *in vitro* study comparing four different LEAs and the conventional radiographic method separately, with CT obtained through microscopy as the gold standard, the authors observed that the values obtained with the conventional radiographic method were the least accurate, with the values obtained with Propex IQ being the most accurate. The results obtained with Raypex 6, Root ZX and Apex ID were considered acceptable and superior to those obtained with conventional periapical radiography alone but inferior to Propex IQ (Mahmoud *et al.*, 2021). In addition to this, Pishipati KVC (Pishipati, 2013), in his study comparing ProPex II (fifth generation LEA) with conventional periapical radiography, found an accuracy of 86.6% and 76.66% for the methods, respectively, considering a deviation of $\pm 0.5\text{mm}$. This result corroborates Mahmoud *et al.* (Mahmoud *et al.*, 2021), about the *in vitro* study and single-channel teeth. In addition, when the LEA was used, the overestimation of the TC was 3.33%. When the radiographic method was used, it was 20%, demonstrating that although overestimation occurred with both methods, it is less frequent with the LEA (Pishipati, 2013).

In vivo studies represent a challenge in calibrating and comparing study objects. However, they can simulate clinical situations more accurately. In the case of odontometry assessment, the study by Tampelini *et al.* (Tampelini *et al.*, 2017) sought to standardise the groups by comparing single-canal premolars with similar canal size estimates, as well as close ages between the patients, which would guarantee approximate stage of root development and anatomical variations and deposition of apical cementum. The authors report that the two third-generation apical locators used in the study, ProPex II and Root ZX II, obtained superior results to the conventional radiographic method alone. The LEAs achieved 59.37% and 75% accuracy, respectively. Regarding the Root ZX II, the accuracy value was lower than that observed by other authors, 94.28% and 91.9%, respectively (Plotino *et al.*, 2006; Real *et al.*, 2011), however the studies compared were carried out *in vitro*, and

ao comparar pré-molares monocanales e com estimativa de tamanho do canal semelhantes, além de idades próximas entre os pacientes, o que garantiria um estágio de desenvolvimento radicular aproximado e de variações anatômicas e deposição de cimento apical. Os autores relatam que os dois localizadores apicais de terceira geração utilizados no estudo, ProPex II e Root ZX II, obtiveram resultados superiores ao método radiográfico convencional usado isoladamente. Os LEAs obtiveram 59,37% e 75% de precisão, respectivamente. Relacionado ao Root ZX II, o valor de precisão foi menor do que o observado por outros autores, 94,28% e 91,9%, respectivamente (Plotino *et al.*, 2006; Real *et al.*, 2011), no entanto os trabalhos comparados foram realizados *in vitro*, e o ponto mais apical avaliado foi o foramen apical ao contrário do estudo anterior cujo ponto apical medido foi a CA.

Também realizado *in vivo*, o estudo de Rambabu *et al.* (Rambabu *et al.*, 2018) comparou o uso de LEA associado à radiografia periapical digital e à radiografia periapical convencional, e como resultado os autores observaram que o primeiro grupo obteve resultados estatisticamente superiores ao segundo grupo. Os autores também reforçam a importância de associar os dois métodos em conjunto, não individualmente, para a obtenção de resultados mais precisos.

Ainda em estudos *in vivo*, o trabalho realizado por Chaudhary *et al.* (Chaudhary *et al.*, 2018) observou que os dois LEAs (Propex II e iPex II) comparados entre si não demonstraram diferenças nos resultados obtidos na determinação do CT. Quando comparados os LEAs com o método radiográfico, também não foram observadas diferenças, contrapondo os resultados de Tampelini *et al.* (Tampelini *et al.*, 2017), que observaram uma acurácia maior com o uso de LEAs, embora os LEAs avaliados nos dois estudos não foram os mesmos. Segundo os primeiros autores, foi encontrado apenas um artigo *in vitro* na literatura, que comparasse a acurácia entre os mesmos LEAs utilizados, para corroborar o estudo. No entanto, quando comparado com estudos em que apenas um dos LEAs era analisado individualmente, os resultados foram semelhantes. Os mesmos autores sugerem, então, que os LEAs são dispositivos úteis para odontometria quando associados à radiografia e que podem diminuir seu número durante o tratamento endodôntico, porém não elimina de todo a sua utilização (Chaudhary *et al.*, 2018). Quando comparado o LEA com o método radiográfico digital, os resultados obtidos com o LEA Root ZX foram muito semelhantes aos tamanhos reais dos canais radiculares, apresentando uma acurácia de 99,85%. A medição do CT com o método radiográfico digital apresentou leituras superestimadas em relação ao tamanho real do canal radicular medido pós extração. Uma explicação dos autores para este fato foi devido à posição do foramen apical estar localizada mais lateralmente ao invés central na maioria dos dentes estudados. Sendo assim, o tamanho real do canal, na maioria dos casos, era menor do que o interpretado pelos médicos dentistas, gerando uma medição exagerada (Shah *et al.*, 2013).

Relativamente à presença de soluções irrigantes, ainda se questiona o seu uso durante a odontometria, uma vez que na presença de excesso de umidade por parte das soluções irrigadoras pode levar a condicionalismos na leitura por parte dos LEAs (Duran-Sindreu *et al.*, 2013). Alguns autores questionam

the most apical point assessed was the apical foramen unlike the previous study whose apical point measured was the CA.

Also carried out *in vivo*, the study by Rambabu *et al.* (Rambabu *et al.*, 2018) compared the use of LEA associated with digital periapical radiography and conventional periapical radiography, and as a result, the authors observed that the first group obtained statistically superior results to the second group. The authors also emphasised associating the two methods rather than individually to get more accurate results.

Also, in *in vivo* studies, the study by Chaudhary *et al.* (Chaudhary *et al.*, 2018) observed that the two LEAs (Propex II and iPex II) compared to each other showed no differences in the results obtained when determining the CT. When LEAs were compared with the radiographic method, no differences were observed either, contradicting the results of Tampelini *et al.* (Tampelini *et al.*, 2017), who showed greater accuracy using LEAs. However, the LEAs evaluated in the two studies were different. According to the first authors, only one *in vitro* article was found in the literature that compared the accuracy of the same LEAs used to corroborate their study. However, compared with studies in which only one LEA was analysed individually, the results were similar. The same authors, therefore, suggest that LEAs are helpful devices for odontometry when associated with radiography. They may decrease in number during endodontic treatment but not eliminate their use (Chaudhary *et al.*, 2018). When comparing the LEA with the digital radiographic method, the results obtained with the LEA Root ZX were very similar to the actual sizes of the root canals, showing an accuracy of 99.85%. CT measurements using the digital radiographic method showed overestimated readings to the actual size of the root canal measured after extraction. One of the authors' explanations was that the apical foramen was located more laterally than centrally in most teeth studied. Therefore, the actual size of the canal in most cases was smaller than that interpreted by the dentists, generating an exaggerated measurement (Shah *et al.*, 2013).

Regarding the presence of irrigating solutions, their use during odontometry is still questioned since the presence of excess moisture in the irrigating solutions can lead to constraints in the reading by the LEAs (Duran-Sindreu *et al.*, 2013). Some authors question that when solutions with high conductivity are used, such as sodium hypochlorite, there is a reduced reading of the actual working length. In contrast, with solutions with low conductivity, there is an exaggerated reading (Khursheed *et al.*, 2014). According to the article by Khursheed *et al.* (Khursheed *et al.*, 2014), which evaluated the third-generation Propex LEA, when subjecting the LEA to measurements with different irrigating solutions and comparing the solutions 0.9% sodium chloride, 3% sodium hypochlorite and 2% chlorhexidine gluconate, greater accuracy was observed in the CT reading in the presence of 2% chlorhexidine gluconate. In the presence of 0.9% sodium chloride or 3% sodium hypochlorite, the ProPex reading was reduced, being the least accurate in the presence of 3% sodium hypochlorite. The same result with sodium hypochlorite was also observed in other studies in the literature (Diemer *et al.*, 2022; Tinaz *et al.*, 2002).

In the presence of 3% sodium hypochlorite, the effectiveness of third-generation LEA decreases as the canal

que, quando são utilizadas soluções com alta condutividade, como hipoclorito de sódio, ocorre uma leitura diminuída do real comprimento de trabalho, enquanto com soluções com baixa condutividade ocorre uma leitura exagerada (Khursheed *et al.*, 2014). Segundo o artigo de Khursheed *et al.* (Khursheed *et al.*, 2014), que avaliou o LEA de terceira geração Propex, ao submeter o LEA a medições com diferentes soluções irrigadoras e comparar as soluções cloreto de sódio 0,9%, hipoclorito de sódio 3% e gluconato de clorexidina 2%, foi observada uma maior acurácia na leitura do CT na presença de gluconato de clorexidina 2%. Na presença do cloreto de sódio 0,9% ou hipoclorito de sódio 3%, a leitura do ProPex foi diminuída, sendo a menos precisa na presença de hipoclorito de sódio 3%. O mesmo resultado com a utilização do hipoclorito de sódio foi observado também por outros estudos presentes na literatura (Diemer *et al.*, 2022; Tinaz *et al.*, 2002).

Na presença de hipoclorito de sódio 3%, a eficácia do LEA de terceira geração diminui uma vez que o canal está cheio de eletrólitos fortes/positivos, levando a uma incorreta leitura pelo dispositivo. Por outro lado, quando comparado com radiografia periapical digital, o ProPex (LEA de terceira geração) utilizando gluconato de clorexidina 2% apresentou uma acurácia de 92,50%. Quando comparado o LEA e método radiográfico digital, não foi observada diferença estatística, os dois métodos apresentaram resultados semelhantes (Khursheed *et al.*, 2014). Na mesma direção desses resultados, o estudo de Khandewal *et al.* (Khandewal *et al.*, 2015) comparou os LEAs de quarta (Raypex 5) e quinta (Apex NRG XFR) geração num estudo *ex vivo*. Os autores não relataram diferença em relação à acurácia dos localizadores apicais em determinar o CT quando comparado ao método radiográfico convencional. No trabalho foi utilizado hipoclorito de sódio 2,5% para limpeza dos canais antes de ser feita a leitura com os LEAs, uma vez que os autores assumiram por estudos prévios que a solução irrigante não alteraria a leitura do equipamento.

5. CONCLUSÕES

A presente revisão sistemática possibilitou sintetizar e analisar os artigos presentes na literatura e reunir as evidências científicas atuais disponíveis sobre a comparação da eficácia entre o método radiográfico versus localizadores eletrônicos apicais na determinação do comprimento de trabalho.

No entanto, é prudente referir que os dois métodos devem ser utilizados em associação, uma vez que cada um possui particularidades que somadas apresentam maiores benefícios.

Os artigos analisados não revelaram diferenças estatisticamente significativas entre os dois métodos.

Os autores, na sua maioria, afirmaram que devem ser associados os LEAs com radiografia de diagnóstico. Além disso, reforçam que o método de imagem é importante para documentação dos casos, bem como “suporte” legal para os médicos dentistas.

Os LEAs, são dispositivos particularmente úteis quando a porção apical do canal é de difícil visualização devido à sobreposição de estruturas anatômicas como dentes impactados, torus, arco zigomático, densidade óssea elevada e sobreposição de raízes. Além disso, como um auxiliar na terapia endodôntica, o LEA pode potencialmente reduzir o número

is filled with solid/positive electrolytes, leading to an incorrect reading by the device. On the other hand, compared to digital periapical radiography, the ProPex (third generation LEA) using 2% chlorhexidine gluconate showed an accuracy of 92.50%. When LEA and digital radiography were compared, no statistical difference was observed; the two methods showed similar results (Khursheed *et al.*, 2014). In the same vein as these results, the study by Khandewal *et al.* (Khandewal *et al.*, 2015) compared fourth (Raypex 5) and fifth (Apex NRG XFR) generation LEAs in an *ex vivo* study. The authors reported no difference in the accuracy of the apical locators in determining the CT compared to the conventional radiographic method. In this study, 2.5% sodium hypochlorite was used to clean the canals before taking the readings with the LEAs since the authors assumed from previous studies that the irrigating solution would not alter the equipment's readings.

5. CONCLUSIONS

This systematic review has made it possible to synthesise and analyse the articles in the literature and bring together the current scientific evidence available on comparing the effectiveness of the radiographic method versus electronic apical locators in determining working length.

However, it is prudent to point out that the two methods should be used in combination, as each has its particularities that together offer more significant benefits.

The articles analysed showed no statistically significant differences between the two methods.

Most of the authors stated that LEAs should be associated with diagnostic radiography. They also emphasised that the imaging method is essential for documenting cases, as well as providing legal "support" for dentists.

LEAs are beneficial when the apical portion of the canal is difficult to visualise due to overlapping anatomical structures such as impacted teeth, torus, zygomatic arch, high bone density and overlapping roots. Furthermore, as an aid in endodontic therapy, the LEA can reduce the number of conventional periapical radiographs used for odontology, reducing the amount of ionising radiation on the patient.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there are no conflicts of interest.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Conceptualization, C.M., M.D. and O.T.; methodology, C.M. and M.D.; validation, R.F.-P., A.M.-F., P.M. and O.T.; formal analysis, C.M., R.F.-P. and O.T.; research, C.M. and M.D.; writing – C.M. and M.D.; writing – revision and editing, R.F.-P. and O.T.; visualization, P.M. and A.M.-F.; supervision, O.T.; All the authors have read and agree with the published version of the manuscript.

de radiografias periapicais convencionais utilizadas para odontometria, diminuindo a quantidade de radiação ionizante sobre o paciente.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

CONTRIBUIÇÕES AUTORAIS

Conceptualização, C.M., M.D. e O.T.; metodologia, C.M. e M.D.; validação, R.F.-P., A.M.-F., P.M. e O.T.; análise formal, C.M., R.F.-P. e O.T.; investigação, C.M. e M.D.; redação – C.M. e M.D.; redação - revisão e edição, R.F.-P. e O.T.; visualização, P.M. e A.M.-F.; supervisão, O.T. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS/REFERENCES

- Chandler, N. P., & Koshy, S. Radiographic practices of dentists undertaking endodontics in New Zealand. *Dentomaxillofacial Radiol* **31**: 317–321, 2002.
- Chaudhary, S., Gharti, A., & Adhikari, B. An in vivo comparison of accuracy of two electronic apex locators in determining working length stainless steel and nickel titanium files. *Clin. Cosmet. Investig. Dent.* **10**: 75–82, 2018.
- D'Assunção, F. L. C., de Albuquerque, D. S., Salazar-Silva, J. R., de Queiroz Ferreira, L. C., & Bezerra, P. M. The accuracy of root canal measurements using the Mini Apex Locator and Root ZX-II: An evaluation in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* **104**: e50–e53, 2007.
- D'Assunção, F. L. C., Sousa, J. C. N., Felinto, K. C. A., de Medeiros, T. C., Leite, D. T., de Lucena, R. B., & de Oliveira Lima, J. Accuracy and Repeatability of 3 Apex Locators in Locating Root Canal Perforations: An Ex Vivo Study. *JOE* **40**: 1241–1244, 2014.
- Diemer, F., Plews, E., Georgelin-Gurgel, M., Mishra, L., & Kim, H.-C. Effect of Sodium Hypochlorite Concentration on Electronic Apex Locator Reliability. *Materials* **15**: 863, 2022.
- Duran-Sindreu, F., Gomes, S., Stöber, E., Mercadé, M., Jané, L., & Roig, M. In vivo evaluation of the iPex and Root ZX electronic apex locators using various irrigants. *In. Endod J* **46**: 769–774, 2013.
- Golvankar, K., Kader, M. A., Latheef, A. A., Mohammed Ali, A. B., Abullais, S. S., & Sibagathullah, M. Comparison of Accuracy in Determining the Root Canal Working Length by Using Two Generations of Apex Locators – An In Vitro Study. *Maced J Med Sci* **7**: 3276–3280, 2019.
- Gordon, M. P. J., & Chandler, N. P. Electronic apex locators. *Int Endo J* **37**: 425–437, 2004.
- Haapasalo, M., Shen, Y., Qian, W., & Gao, Y. Irrigation in Endodontics. *Dent. Clin. N Am* **54**: 291–312, 2010.
- Haapasalo, M., Shen, Y., Wang, Z., & Gao, Y. Irrigation in endodontics. *Br Dent J* **216**: 299–303, 2014.
- Harrison, J. W., Baumgartner, J. C., & Svec, T. A. Incidence of pain associated with clinical factors during and after root canal therapy. Part 2. Postobturation pain. *JOE* **9**: 434–438, 1983.
- Haupt, F., & Hülsmann, M. Consistency of electronic measurements of endodontic working length when using multiple devices from the same manufacturer—An in vitro study. *Clin Oral Investig* **22**: 3107–3112, 2018.
- Jacobsohn, P. H., & Fedran, R. J. Making Darkness Visible: The Discovery of X-ray and Its Introduction to Dentistry. *J Am Dent Assoc* **126**: 1359–1366, 1995.
- Kantor, M. L. Dental digital radiography. *J Am Dent Assoc* **136**: 1358–1360, 2005.
- Keratiotis, G., Kournetas, N., Agrafioti, A., & Kontakiotis, E. G. A comparative evaluation of two working length determination methods. *Aust Endod J* **45**: 331–336, 2019.
- Khandewal, D., Ballal, N. V., & Saraswathi, M. V. Comparative Evaluation of Accuracy of 2 Electronic Apex Locators with Conventional Radiography: An Ex vivo Study. *JOE* **41**: 201–204, 2015.
- Khursheed, I., Bansal, R., Bansal, T., Singh, H. P., Yadav, M., & Reddy, K. J. A comparative evaluation of working length with digital radiography and third generation apex locator (Propex) in the presence of various intracanal irrigants: An in vivo/ex vivo study. *Dent Res J* **11**, 2014.
- Krajczár, K., Marada, G., Gyulai, G., & Tóth, V. Comparison of radiographic and electronic working length determination on palatal and mesio-buccal root canals of extracted upper molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* **106**: e90–e93, 2008.
- Kuttler, Y. Microscopic investigation of root apices. *J Am Dent Assoc* **50**: 544–552, 1955.
- Mahmoud, O., Awad Abdelmagied, M. H., Dandashi, A. H., Jasim, B. N., Tawfik Kayali, H. A., & Al Shehadat, S. Comparative Evaluation of Accuracy of Different Apex Locators: Propex IQ, Raypex 6, Root ZX, and Apex ID with CBCT and Periapical Radiograph—In Vitro Study. *Int J Dent* **2021**: 1–7, 2021.
- Martins, J. N. R., Marques, D., Mata, A., & Caramês, J. Clinical Efficacy of Electronic Apex Locators: Systematic Review. *JOE* **40**: 759–777, 2014.
- Nair, P. N. R. Pathogenesis of Apical Periodontitis and the Causes of Endodontic Failures. *Crit Rev Oral Biol Med* **15**: 348–381, 2004.
- Nasiri, K., & Wrbas, K.-T. Accuracy of different generations of apex locators in determining working length; a systematic review and meta-analysis. *Saudi Dent J* **34**: 11–20, 2022.
- Piasecki, L., Carneiro, E., da Silva Neto, U. X., Westphalen, V. P. D., Brandão, C. G., Gambarini, G., & Azim, A. A. The Use of Micro-Computed Tomography to Determine the Accuracy of 2 Electronic Apex Locators and Anatomic Variations Affecting Their Precision. *JOE* **42**: 1263–1267, 2016.
- Pishipati, K. V. C. An In Vitro Comparison of Propex II Apex Locator to Standard Radiographic Method. *Iran Endod J* **8**: 114–117, 2013.
- Plotino, G., Grande, N. M., Brigante, L., Lesti, B., & Somma, F. Ex vivo accuracy of three electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator and Propex. *Int Endod J* **39**: 408–414, 2006.
- Ponce, E., & Vilarfernandez, J. The Cemento-Dentino-Canal Junction, the Apical Foramen, and the Apical Constriction: Evaluation by Optical Microscopy.

- JOE* **29**: 214–219, 2003.
- Raghu, K., Razvi, S., Vinaychandra, R., Daniel, J., Kini, A., & Nandakishore, K. In vivo evaluation of the accuracy of working length determination using an electronic apex locator IPEX (NSK) on vital uninfected teeth and teeth with radiographic evidence of periapical lesions. *J Int Soc Prev Community Dent* **4**: 204, 2014.
- Rambabu, T., Srikanth, V., Sajjan, G., Ganguru, S., Gayatri, C., & Roja, K. Comparison of tentative radiographic working length with and without grid versus electronic apex locator. *Contemp Clin Dent* **9**: 88, 2018.
- Ramezani, M., Bolbolian, M., Aliakbari, M., Alizadeh, A., Tofangchiha, M., Faegh, S. M., Patini, R., & D'Amato, G. Accuracy of Three Types of Apex Locators versus Digital Periapical Radiography for Working Length Determination in Maxillary Premolars: An In Vitro Study. *Clin Pract* **12**: 1043–1053, 2022.
- Real, D. G., Davidowicz, H., Moura-Netto, C., Zenkner, C. de L. L., Pagliarin, C. M. L., Barletta, F. B., & de Moura, A. A. M. Accuracy of working length determination using 3 electronic apex locators and direct digital radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* **111**: e44–e49, 2011.
- Ricucci. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *Int Endod J* **31**: 384–393, 2002.
- Ricucci & Langeland. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *Int Endod J* **31**: 394–409, 2002.
- Shah, N., Singh, S., Mandlik, J., Pawar, K., Gupta, P., & Shaik, S. A. An in vivo Evaluation of Different Methods of Working Length Determination. *J Contemp Dent Pract* **14**: 644–648, 2013.
- Tampelini, F. G., Coelho, M. S., Rios, M. de A., Fontana, C. E., Rocha, D. G. P., Pinheiro, S. L., & Bueno, C. E. da S. In vivo assessment of accuracy of Propex II, Root ZX II, and radiographic measurements for location of the major foramen. *Restor Dent Endod* **42**: 200, 2017.
- Tinaz, A., Sevimli, L., Gorgul, G., & Turkoz, E. The Effects of Sodium Hypochloride Concentrations on the Accuracy of an Apex Locating Device. *JOE* **28**: 160–162, 2002.
- Vande Voorde, H. E., & Bjorndahl, A. M. Estimating endodontic “working length” with paralleling radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* **27**: 106–110, 1969.
- Vieyra, J. P., & Acosta, J. Comparison of working length determination with radiographs and four electronic apex locators: Comparison of working length determination. *Int Endod J* **44**: 510–518, 2011.
- Weber, A. L. History of Head and Neck Radiology: Past, Present, and Future. *Radiology* **218**: 15–24, 2001.