

Fernando de Noronha

Dentina intratubular: Evolução e considerações clínicas

Faculdade de Ciências da Saúde

Universidade Fernando Pessoa

Porto 2019

Fernando de Noronha

Dentina intratubular: Evolução e considerações clínicas

Faculdade de Ciências da Saúde

Universidade Fernando Pessoa

Porto 2019

Fernando de Noronha

Dentina intratubular: Evolução e considerações clínicas

Trabalho apresentado à Universidade Fernando Pessoa como
parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em
Medicina Dentária.

(Fernando de Noronha)

RESUMO

Introdução: A maioria dos europeus idosos terá mais dentes naturais, e por isso haverá um aumento de vários problemas orais, entre os quais a exposição da dentina cervical. A dentina é o maior componente estrutural do dente humano. **Objetivo:** Rever o “estado da arte” relativamente à evolução ao longo do tempo do compartimento mais dinâmico, a dentina intratubular. **Método:** Realizou-se uma revisão narrativa da literatura, durante o período compreendido entre 2009-2019, nos motores de busca “dentin“, “ aging” , “ intratubular dentin”, “sclerotic dentin” e ” dentin permeability”. **Desenvolvimento:** A estrutura dentinária é submetida a alterações fisiológicas e histológicas com o passar do tempo, nestas incluem-se: aumento da espessura, diminuição da densidade dos Odontoblastos, aumento da mineralização no compartimento intratubular e obliteração dos túbulos dentinários. **Conclusões:** O impacto das alterações da dentina intratubular, não é um assunto completamente esclarecido, mas assume na literatura uma importância crescente, com implicações clínicas importantes.

Palavras-chave: “Dentina”, “envelhecimento”, “dentina intratubular”, “dentina esclerótica” e “permeabilidade dentinária”.

ABSTRACT

Introduction: Most older Europeans will have more natural teeth, and so there will be an increase in several oral problems, among which cervical dentine exposure. Dentin is the largest structural component of the human tooth. **Objective:** To review the "state of the art" regarding the evolution over time of the most dynamic compartment, the intratubular dentine. **Method:** A literature review was performed during the period 2009-2019 on the "dentin", "aging", "intratubular dentin", "sclerotic dentin" and "dentin permeability" search engines. **Development:** The dentin structure undergoes physiological and histological changes with the passage of time. These include: thickening, decrease in Odontoblast density, increased intratubular compartment mineralization and obliteration of dentinal tubules. **Conclusions:** The impact of intratubular dentin changes is not a fully understood subject, but it is increasingly important in the literature with important clinical implications.

Keywords: "dentin", "aging", "intratubular dentin", "sclerotic dentin" and "dentin permeability".

DEDICATORIA

A Deus pela benção de me permitir realizar, mais este ciclo de formação profissional
À minha amada família, pelo amor incondicional, apoio e paciência nessa empreitada, em especial a minha querida esposa Andréa e aos meus amados filhos Fernanda, André e Raffael, que em todos momentos me enviaram palavras de incentivo para que eu continuasse esse desafio além-mar.

Em sua alma, o homem planeia os seus caminhos, mas o SENHOR é quem determina
seus passos.

Provérbios 16:9

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer às minhas dedicadas Orientadoras, Professora Doutora Augusta Silveira e Professora Doutora Teresa Sequeira, por terem me aceitado como orientando, além da especial atenção dispensada a minha pessoa no desenvolvimento do trabalho, sem as quais não seria passível de realização.

Aproveito para homenagear alguns Mestres da UFP, que possuem alguns aditivos especiais que compõe um verdadeiro mestre, que é a forma cortês e humana de se expor ao relacionar-se com seus alunos, são eles os Professores Doutores: Sandra Soares, António Lobo, Ana Salazar, Carlos Palmeira, Maria de José de Sá, Teresa Sequeira e Augusta Silveira.

Aos funcionários das bibliotecas e as meninas do restaurante da reitoria agradeço pela simpatia e pelos sorrisos dispensados.

Em especial aos meus 18(dezoito) queridos colegas de turma (turma 18/19), ou melhor dizendo aos meus novos amigos, ao qual tive a felicidade de conhecer e conviver neste breve período por um designo de Deus. Estes compartilharam horas preciosas de estudos em equipe e que foram fundamentais para o êxito dessa etapa, em destaque referencio o meu grupo de estudo diário são eles: a Dra Gabriella Rosembach (BR- Alemanha- Itália), Dr Renan de La Vita (BR- Espanha), Dr Marco Andrade (BR- Portugal), Dr João Carlos Zanata (BR- Portugal) e Dr Bruno Reis (BR- Irlanda), certamente os laços formados entre nós, serão marcas eternas que carregaremos por toda a nossa vida, o meu muito obrigado.

Não poderia deixar de registrar também a benção de poder ter conhecido e convivido com as Dra Sawsan Morue (Líbano-Cuba), Dra Cristina Stefanelli (BR- Inglaterra), Dra Taila, (BR- Portugal), Dra Magali Knorst (BR- Italia), Dr. Walter Miranda (BR- Holanda), Dra Rosana (BR- Portugal), Dr. Luiz Fernando Magacho (BR-Portugal) e Dr Eduardo Bone (BR- Itália) que em todos momento compartilharam palavras de incentivo e de carinho, o meu muito obrigado.

ÍNDICE

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
DEDICATÓRIA.....	vii
AGRADECIMENTOS.....	viii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xi
I. INTRODUÇÃO	1
1. Materiais e Método	1
II. DESENVOLVIMENTO.....	2
1. Processo envelhecimento.....	2
2- Odontogénese	2
3- Dentinogénese	3
3.1. Da célula ectomesenquimatosa ao odontoblasto maduro	3
3.2. Pré-dentina, dentina inter e intratubular.....	3
3.3. Mineralização: dentina do manto e circumpulpar.....	4
4- Caracterização da dentina humana	4
4.1. Composição química.....	5
4.2- Organização estrutural	5
4.3. Evolução estrutural da dentina intratubular	6
5. Propriedades mecânicas.....	7

5.1. Dureza.....	8
5.2. Elasticidade.....	8
5.3. Resistência à fractura.....	9
6. Considerações clínicas.....	10
III. DISCUSSÃO.....	12
IV. CONCLUSÃO.....	14
BIBLIOGRAFIA.....	16

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

DSP	Sialo proteína de dentina
DPP	Dentina fosforina
Gpa	Gigapascal
HA	Hidroxiapatita
JAC	Junção amelo-cementária
JAD	Junção amelo-dentinária
kDa	Quilodalton
DI	Dentina Intratubular
kg/mm ²	Quilograma por milímetro quadrado
mm	Milímetro
mm ²	Milímetro quadrado
Mpa	Megapascal
nm	Nanometro
Od	Odontoblastos
µm	Micrometro

I. INTRODUÇÃO

A nível mundial a expansão demográfica é acompanhada de um substancial crescimento da população de idosos, principalmente nos países desenvolvidos. Esta realidade resulta do aumento da expectativa de vida, promovida por fatores relacionados em parte pela melhoria das condições de vida e cuidados de saúde (Côrte-Real *et al.*, 2011). Admite-se que entre 2010 e 2050 a proporção de idosos duplicará (Beard *et al.*, 2016).

Devido a esse aumento da expectativa de vida, frequentemente associado a uma melhoria da qualidade de vida, a maioria dos europeus idosos terá mais dentes naturais, e por isso haverá possivelmente um aumento de vários problemas orais, entre os quais se sobressai a retração gengival e a conseqüente exposição de superfícies da dentina cervical (Petersen *et al.*, 2005).

Mediante as alterações que envolvem a dentina, destacam-se significativas alterações na estrutura tubular da dentina, influenciadas pela idade, pela vitalidade pulpar e a capacidade reparativa do complexo de polpa / dentina (Van Loveren, 2013).

O processo de obliteração dos túbulos dentinários, resulta em alterações na microestrutura interna da coroa dentária, influenciando as propriedades mecânicas (Senawongse *et al.*, 2006), a qual a resistência a fadiga e à fractura da dentina diminui significativamente com o envelhecimento (Ryou *et al.*, 2015).

Com este trabalho pretendeu-se rever o “estado da arte” relativamente à evolução ao longo do tempo do tecido dentário maioritário (em volume), a dentina, e em particular o seu compartimento mais dinâmico, a dentina intratubular.

1. Materiais e Método

Recorreu-se a artigos científicos indexados disponíveis em bases de dados como *PubMed*®, *Medline*®, *B-on*®. Foram introduzidos no motor de busca os termos de pesquisa: “dentin“, “aging”, “intratubular dentin”, “sclerotic dentin” and “dentin permeability”, adicionando-se filtros como “full text available”, “10 years” e “espécie humana”. Foram consideradas às referências publicadas entre 2009-2019. Contudo, dada a relevância de algumas referências anteriores ao ano de 2009, optou-se pela sua inclusão neste trabalho. A busca foi realizada para incluir os artigos de acesso livre e escritos nas línguas portuguesa ou inglesa. Desta pesquisa

resultaram 277 artigos publicados, dos quais 46 foram selecionados em função da pertinência do trabalho a desenvolver, lidos na íntegra. Critérios de Exclusão: trabalhos com métodos pouco claros e pesquisas realizadas em outras espécies que não a humana.

II. DESENVOLVIMENTO

1. Processo envelhecimento

O envelhecimento é conceitualmente definido como um processo natural assinalado por uma série de modificações fisiológicas e ou patológicas com efeitos sobre a saúde geral, incluindo-se neste, a saúde oral (Ribeiro *et al.*, 2012). Amiéude é seguido por um declínio funcional de todas estruturas que compõe o organismo, o que resulta no acúmulo progressivo de danos nas estruturas do organismo. Sendo este um processo complexo e de origem multifatorial, de fato existem diferentes mecanismos moleculares envolvidos no início e progressão das alterações nas células, tecidos e órgãos que não estão claramente esclarecidos (Van der *et al.*, 2014). Incluem-se nestas as alterações o tecido dentinário (Ryou *et al.*, 2015). Assim, é vital entender a estrutura-função da dentina que evolui, principalmente em relação à microestrutura do seu compartimento mais dinâmico, a dentina intratubular (DI), frequentemente também designada dentina peritubular, que tanto influencia o aspecto mecânico e sensitivo do elemento dentário (Williams *et al.*, 2015).

2- Odontogénese

Os tecidos dentários resultam da interação epitélio-ectomesênquima que, por indução recíproca, dão origem a todos os tecidos dentários, bem como as estruturas de suporte (periodonto de inserção) (James, 2005; Nancy, 2013). Cada etapa de formação é designada de acordo com a forma do componente epitelial do gérmen dentário que se diferencia e evolui até a erupção do dente - fases da lâmina, gomo, capuz, da campânula e campânula aposicional - esta última quando ocorrem os processos de mineralização da dentina e do esmalte que antecedem a erupção (Miller, 2012). É um processo contínuo que se inicia por volta da 5^a-6^a semana de gestação com a formação de um espessamento ectodérmico na maxila e mandíbula e que decorre até 3 anos na dentição primária e até aos 18 anos na dentição secundária (Nancy, 2013).

3- Dentinogénese

3.1. Da célula ectomesenquimatosa ao odontoblasto maduro

A diferenciação das células ectomesenquimatosas em pré-odontoblastos e que irão evoluir sucessivamente para odontoblasto (Od) jovens e maduros, ocorre em simultâneo com a evolução das células do epitélio dentário interno que se diferenciam em pré-ameloblastos, células que irão evoluir e formar todo o esmalte. Assim, a formação da dentina (dentinogénese) é concomitante com a formação do esmalte (amelogénese) – estes processos não apenas simultâneos mas absolutamente inter-dependentes pois resultam de mecanismos de indução recíproca (Nancy, 2013).

3.2. Pré-dentina, dentina inter e intratubular

O pré-odontoblasto é uma célula com uma ultra-estrutura compatível com a produção e secreção de proteínas, mas é só na fase do Od jovem que tal secreção é particularmente abundante – irá produzir toda a matriz dentinária. A secreção decorre por aposição e a primeira dentina formada (dentina do manto), ficará em contato como o esmalte (recém-formado), contribuindo assim para a junção esmalte-dentina (JAD). À medida que decorre a secreção, o Od jovem desloca-se centríptamente (no sentido da polpa) deixando sempre um prolongamento citoplasmático – o processo odontoblástico. Tal processo, rodeado pela dentina secretada, fica contido em pequenos canais – os túbulos dentinários. A secreção de matriz dentinária (pré-dentina) pelos Od maduros irá manter-se desde que se mantenha viável o ambiente onde se localiza o seu corpo celular, na polpa. A secreção da matriz dentinária está sempre associada à migração do corpo celular do Od e por isso ocorre a formação dos túbulos dentinários, e assim à estrutura microtubular fica com a forma definida. Esta fase de formação da dentina ocorre essencialmente antes da erupção, quando é formada a maior parte da dentina primária (Avery e Chiego, 2006). Quando o dente entra em oclusão, o ritmo de secreção diminui substancialmente, passando tal dentina a ser designada secundária (identificada em cortes histológicos pela curvatura dos túbulos dentinários em forma de “S” (Nancy, 2013).

3.3. Mineralização: dentina do manto e circumpulpar

O Od jovem tem a capacidade de secretar as vesículas de matriz que irão permitir iniciar o processo de mineralização na dentina (dentina do manto), bem como disponibilizar os primeiros cristais para que se inicie a mineralização também do esmalte. Depois de mineralizada a primeira dentina (dentina do manto), o Od deixa de produzir vesículas de matriz e passa a ser designado Od maduro, que é responsável pela formação da dentina circumpulpar em que a mineralização vai decorrer linearmente por fusão de calcosferitos (frente de mineralização) (Ortiz *et al.*, 2013). Importante destacar que a dentina terciária tem origem como resposta a uma agressão (Tjaderhane *et al.*, 2012), admitindo-se ser o resultado do “recrutamento” células pulpares ectomesenquimatosas indiferenciadas (que aí permaneceram desde a fase de papila) com o potencial de se diferenciar em “células tipo-odontoblastos” (*odostoblast-like cells*), capazes então de responder a um estímulo nocivo por meio da secreção de uma matriz dentinária - reacionária ou reparadora - que pode apresentar uma estrutura tecidual amorfa, tubular, atubular, frequentemente denominada fibrodentina (Zhao *et al.*, 2018).

4- Caracterização da dentina humana

Para qualquer profissional que pretenda exercer uma boa prática clínica é fundamental ter conhecimento da anatomia e biologia do dente e suas estruturas anexas (Hilton *et al.*, 2013). O elemento dentário propriamente dito, é composto por duas estruturas mineralizadas (esmalte e dentina) e uma não mineralizada (polpa dentária). Entre estas, a dentina é o maior componente estrutural do dente humano, e é um tecido conjuntivo mineralizado que reúne algumas características singulares: é vital, permeável, duro, elástico e avascular (Nalla *et al.*, 2005). A dentina é toda percorrida – desde o esmalte até á polpa - por milhares de microtúbulos, denominados túbulos dentinários, os quais são preenchidos por líquido tubular (fluido dentinário) e prolongamentos das células odontoblásticas. Estes são responsáveis pela formação e, posteriormente, a manutenção da dentina via secreção da matriz orgânica e regulação da mineralização (Hilton *et al.*, 2013; Nancy, 2013). Entre as múltiplas propriedades da dentina, destaca-se a sua singular permeabilidade, dada pela presença destes túbulos. Outros atributos singulares são sua sensibilidade, capacidade de síntese e crescimento, durante toda vida do dente (Berkovitz *et al.*, 2009). A dentina proporciona ainda, proteção ao tecido mole que

constitui a polpa dentária e contribui para a absorção de muitas das cargas a que o esmalte está exposto (Li *et al.*, 2015).

4.1. Composição química

A microestrutura da dentina é composta pela porção intertubular e uma porção intratubular. Há relatos que indicam que a dentina intratubular (DI) *versus* intertubular apresentam respectivamente 9% e 40% de diferenças composicionais no conteúdo de elementos como cálcio, fósforo e magnésio (Changqi e Yong, 2012), e são claramente distinguidos pela distribuição espacial elementar desses principais elementos. Ryou e a sua equipe, relataram haver diferenças na composição química entre os componentes da DI (peritubulares) e intertubulares (Ryou *et al.*, 2015). Há evidências claras de enriquecimento dos elementos oxigénio e magnésio e de moderado desenvolvimento nos elementos cálcio e fósforo na DI, estando associado a hidroxiapatite nanocristalina. Já o carbono parece ser mais concentrado no compartimento intertubular, indicando assim a maior presença de componentes orgânicos nesta região (Sui *et al.*, 2018). É concebível que a quantidade e o tipo de mineral e os seus gradientes de densidade possam variar na DI, dependendo da intensidade do estímulo sentido pelas células (Djomehri *et al.*, 2015). Os resultados demonstram que a DI é muito mais mineralizada que a dentina intertubular, na qual o conteúdo mineral da matriz se apresenta aproximadamente duas vezes maior. Existem diferenças detectáveis nas fases inorgânica e orgânica entre a dentina intertubular e a DI. Relevante registrar que segundo Changqi e Yong (2011), há colágeno na DI, porém é provável que seja diferente do identificado na intertubular.

4.2- Organização estrutural

Composta por 70% material inorgânico (cristais de hidroxiapatite, HA), cerca de 20% de compostos orgânicos (predominantemente colágeno tipo I) e 10% de água, percentagens que são variáveis de acordo com a região analisada (Zaslansky, 2008). Relativamente à parte inorgânica, é constituída principalmente por pequenos cristais de HA ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_6$), de forma hexagonal ou laminar com secções transversais que variam de 3 a 30 nm/50 nm de comprimento (Fejerskov e Kidd, 2005). A espessura varia em média de 3,5 nm próximo a JAD, indo até 2 nm nas áreas próximas a polpa dentária. Observa-se que há um incremento expressivo

do alinhamento paralelo nas áreas de tensão, como por exemplo nas cúspides dentais (Hilton *et al.*, 2013). Os outros componentes inorgânicos são os fosfatos, carbonatos, sulfatos e oligoelementos amorfos, tais como: flúor, cobre, zinco, ferro, manganês (Nancy, 2013). Já a porção orgânica, é constituída pela parte que é considerada mecanicamente o suporte principal da dentina, que são as proteínas fibrosas, predominantemente as fibras de colágeno tipo I (90%), que são sintetizadas pelos Od. Estas fibras são compostas por uma cadeia de três polipeptídeos entrelaçados, formando tripla hélice, medindo em média cerca de 300 nm de comprimento e 1,5 µm de diâmetro. São o componente orgânico maioritário da dentina intertubular e constituem o grande suporte estrutural para o depósito dos cristais de HA (Miller, 2012). A restante matriz é composta por colagénios III, IV, V e VI, proteínas exclusivas da dentina (fosforina dentinária ou DPP e a sialoproteína da dentina ou DSP), por proteínas semelhantes às do osso (proteína Gla da dentina, osteonectina e osteopontina), proteoglicanos, albumina, fosfolípidos e factores de crescimento (Nancy, 2013), que participam do processo de mineralização (Zaslansky, 2008). Estas proteínas que ocupam as zonas entre as fibras de colágeno I, acumulando-se ao longo da periferia dos túbulos dentinários (Changqi e Yong, 2012) e desempenham funções biológicas essenciais na resposta do complexo dentino-pulpar frente aos agentes agressores (Miller, 2012). Todos estes elementos desempenham funções fundamentais nos processos de nucleação e regulação da mineralização no decorrer da dentinogénese (Fejerskov e Kidd, 2005).

4.3. Evolução estrutural da dentina intratubular

A microestrutura da dentina é composta predominantemente por dentina intertubular, toda percorrida por túbulos dentinários originados a partir de células odontoblastos (Od) (Nancy, 2013), que possuem o corpo celular - localizado na polpa e onde se localizam a maior parte das organelas citoplasmáticas - e um longo prolongamento citoplasmático (processo odontoblástico que percorre o interior dos túbulos dentinários). Os Od secretam toda a matriz dentinária, proteínas de colágeno e não-colágeno, durante toda a sua vida (Llano, 2019). A rede de túbulos dentinários aloja os prolongamentos odontoblásticos, que são fundamentais para formação da DI (Berkovitz *et al.*, 2009). Esta DI corresponde a cerca de 10% do volume total de dentina (Nancy, 2013), e aumenta gradativamente, mediante a idade, de forma fisiológica e/ou mediante estímulos traumáticos (Hilton *et al.*, 2013).

Geometricamente os túbulos têm uma conformação cilíndrica, ramificada (túbulos secundários) e variável mediante a profundidade, ou seja, o diâmetro 2,5 μm na proximidades da polpa dentária e 0,8 μm junto da JAD. Estas variações de diâmetro são também observadas na dentina radicular, mas com menor expressão (Li *et al.*, 2015). A densidade dos túbulos também não é homogênea, sendo sempre menor na JAD e junção amelocimentária (JAC) e máxima junto da polpa (Nancy, 2013).

Ivancik *et al.* (2014) relataram que a densidade geral varia de aproximadamente 10.000 a 60.000 túbulos / mm^2 , sendo crescente a partir da JAD em direção a polpa, apresentando também distribuição diferente nas porções coronal, média e apical, aumentando progressivamente da coronal para o apical, enquanto a relação entre o diâmetro do lúmen tubular e a superfície dentinária diminuiu progressivamente (Giuseppe *et al.*, 2015).

5. Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas se modificam mediante a área da dentina analisada (superficial/profunda e coronal/radicular) (Carvalho *et al.*, 2012). Tal conhecimento é necessário para compreender a absorção e distribuição de cargas que são originadas durante o processo da mastigação (Fuentes, 2004).

Ivancik *et al.* (2014) relataram que a microestrutura da dentina e seu comportamento mecânico parecem estar condicionados em função do histórico do paciente, que pode incluir neste os fatores ambientais e / ou étnicos. Hipótese considerada após verificarem que na dentina coronal de dentes de doadores norte-americanos, o diâmetro médio da luz aumentava com a profundidade, e nos dentes colombianos o diâmetro era constante. E em relação à resistência à fadiga, houve um aumento significativo ($p \leq 0,05$) na faixa de intensidade de estresse limiar e uma diminuição significativa no coeficiente de crescimento de trinca por fadiga, com o aumento da distância da polpa nos dentes dos doadores norte-americanos.

Ryou *et al.* (2015), relataram diferenças significativas entre as dentinas intertubular e DI em relação ao comportamento de amortecimento de cargas entre a dentina jovem (18-25 anos) e a dentina mais madura (54-83anos). Sendo que os componentes da dentina intertubular e DI apresentaram capacidade de amortecimento menor no grupo de indivíduos de maior idade. Tal resultado foi possível por meio de análise dinâmica nanoscópica, utilizando recuos únicos e em

modo de escaneamento por microscopia de varredura por sonda, no qual mostrou que os túbulos da dentina antiga exibiam um gradiente no comportamento elástico, com diminuição do módulo de elasticidade do manguito “cuff” para o centro dos túbulos preenchidos com o mineral recém-depositado.

O fato é que a resistência a fractura do esmalte está diretamente vinculada a qualidade e quantidade do suporte fornecido pela dentina – por ser um tecido menos mineralizado, mais resiliente, elástico, conferindo assim alguma flexibilidade e capacidade de amortecer as imensas cargas a que o esmalte está sujeito, reduzindo assim a probabilidade e prevenindo fracturas (Nancy, 2013). A resistência da dentina às forças de compressão (tensões normais) pode variar entre 78 ± 13 MPa e $91,8 \pm 12,7$ Mpa, dependendo da localização e da orientação dos túbulos (Fuentes, 2004). O rastreio demonstrou que os túbulos da dentina antiga exibiam um módulo de elasticidade menor do manguito (periferia) para o centro dos túbulos preenchidos com o mineral recém-depositado (Ryou *et al.*, 2011).

5.1. Dureza

A dureza da dentina apresenta valores médios entre 52 e 64 kg/mm² (Chuenarrom *et al.*, 2009), dependendo da densidade tubular, tendo uma relação inversa conforme a profundidade (Tjaderhane *et al.*, 2012) e, por este motivo, os valores tendem a ser mais baixos perto da polpa dental (Chuenarrom *et al.*, 2009).

Zheng *et al.* (2005), relatou que a dureza da dentina esclerótica sob as cúspides dentárias antigas era significativamente maior do que a da dentina não esclerótica dos dentes jovens. Embora a força e a dureza sejam medidas relevantes do comportamento mecânico, ambas são essenciais para o sucesso da prática odontológica. É provável que a maioria dos insucessos dos atos realizados sobre os dentes se dê por fadiga e fractura (Nalla *et al.*, 2005), considerando que são fortemente influenciadas pelas variações espaciais da microestrutura. (Ivancik *et al.*, 2014)

5.2. Elasticidade

Esta propriedade é um indicador da quantidade de deformação ocorrida quando uma força é aplicada sobre uma estrutura (Zheng *et al.*, 2005). As variações ocorridas sobre as propriedades

mecânicas do dente são dependentes da densidade dos túbulos e da DI. O número de túbulos dentinários ocluídos na dentina externa são maiores comparativamente à dentina interna (Montoya *et al.*, 2015). Portanto, o módulo de elasticidade da dentina mais interna é significativamente mais baixo em relação a dentina externa. A condição de menor dureza da dentina estaria relacionada a maior quantidade de túbulos (Nascimento *et al.*, 2016). Já a DI apresenta valores mais altos e que não são dependentes da localização (Li *et al.*, 2015). A dentina mineralizada é relativamente rígida (10-20 GPa), e sua elasticidade tem grande importância clínica, já que permite compensar a rigidez do esmalte, ao amortecer os impactos que ocorrem durante a função mastigatória (Fuentes, 2004).

5.3. Resistência à fractura

A resistência da dentina às forças de compressão (tensões normais) pode variar entre 78 ± 13 MPa e $91,8 \pm 12,7$ Mpa, dependendo da localização e da orientação dos túbulos (Fuentes, 2004), sendo mais resistente quando a carga é aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal dos túbulos. Considerando a variável profundidade, a dentina externa tende a apresentar maior resistência à deformação e à tração (tensão) quando comparada com a dentina mais interna (Li *et al.*, 2015). Quando ocorrem alterações na microestrutura interna da coroa dentária, a dureza, a força e a resistência da dentina diminuem significativamente quanto mais próxima a polpa dentária, aumentando assim o risco de fissuras.

O envelhecimento causa diminuição da força da dentina humana, este processo se inicia por volta da terceira década de vida, o que coincide com o início da deposição de conteúdo mineral no lúmen dos túbulos dentinários - e evolui, aproximadamente 20 MPa por década. Processo este que leva a uma redução substancial da resistência à fadiga e à fratura. Ryou e colaboradores ao comparar o comportamento de crescimento de fissuras por fadiga, constatou que há um aumento de quase 100 vezes na taxa de crescimento incremental dentro da dentina coronal, desde a idade adulta jovem até uma idade de ≥ 50 anos (Ryou *et al.*, 2015).

A dentina interna evidencia ter menos resistência à tração e à deformação quando comparada com a dentina externa. Tal condição é devido a dinâmica da estrutura, no qual sofre mudanças graduais do exterior para o interior, conforme a função da dentina. Vale ressaltar que o processo de mineralização que resulta na obliteração dos túbulos dentários ocorre da periferia (JAD) em direção a polpa dentária (Li *et al.*, 2015). A arquitetura tubular e a matriz orgânica fazem com

que a dentina tenha uma capacidade de resistência à tensão e à compressão maior do que a do esmalte (Berkovitz *et al.*, 2009), por isso é mais resiliente. Sendo mais resistente quando a carga é aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal dos túbulos. Considerando a variável profundidade, a dentina externa tende a apresentar maior resistência à deformação e à tração (tipo de tensão) quando comparada com a dentina mais interna (Li *et al.*, 2015).

Importante comentar que a dentina periférica apresenta menor quantidade de tubulos dentinários em comparação a área de contato que envolve a polpa dentária. Na região mais próxima a polpa dentária ocorre formação contínua de dentina secundária (processo fisiológico) e de dentina terciária induzida por agressões externas. Estas alterações estruturais irão influenciar de certa forma a resiliência na área, considerando que a estrutura DI se tornará mais mineralizada ao longo do tempo, isso afetará a resistência da dentina.

6. Considerações clínicas

A partir do instante que o dente entra em oclusão, diversas alterações ocorrem na estrutura da dentina. Estas são resultantes do processo do envelhecimento e ou do acúmulo de respostas a estímulos externos sobre o dente, como por exemplo atrição (Berkovitz *et al.*, 2009). Nesta nova etapa os Od maduros produzem lentamente uma matriz de dentinária e orgânica (a pré-dentina) sendo gradativamente colonizadas por minerais, passando então a ser designada dentina secundária (Hilton *et al.*, 2013). Portanto, a espessura da dentina aumenta com o avançar da idade (Montoya *et al.*, 2015), além de ser acompanhada por uma diminuição da densidade dos Od (Perdigão *et al.*, 2014). Observa-se ainda o decréscimo gradativo das células da polpa dentária a partir dos 20 anos e próximo aos 70 anos a densidade pulpar já é metade do valor inicial (Nancy, 2013). A partir dos 18 anos os túbulos tornam-se gradualmente preenchidos com material inorgânico (Montoya *et al.*, 2015) e a DI aumenta de espessura. A redução do lúmen de túbulos influencia a menor permeabilidade dentinária (Montoya *et al.*, 2015). Segundo Berkovitz *et al.* (2009), a de se destacar que fisiologicamente não há necessidade de estímulos externos, pois a dentina secundária se forma continuamente ao longo da vida. É válido citar que segundo Kishen e Vedantam (2007) a água exerce papel importante na dentina, atuando na interconexão de estrutura mineral e proteica, e sua perda pode provocar severas alterações no comportamento biomecânico da estrutura dental. Perdigão *et al.* em 2014, relatou que a dentina de indivíduos maiores que 50 anos apresentam menos água do que aqueles

com 20 anos, o que a torna mais frágil. Relativamente às mudanças ocorridas sobre as propriedades mecânicas da dentina, estas têm sido atribuídas ao aumento da mineralização da área DI. Entretanto o processo dessa alteração não está totalmente esclarecido (Montoya *et al.*, 2015). Um fator importante a considerar é o impacto do envelhecimento. Há mudanças na microestrutura da dentina que resultam em redução da resistência e por consequência o crescimento de fissuras por fadiga.

A precipitação da minerais na DI fisiológica começa a ser observada a partir dos 18 anos. Entretanto segundo Ryou *et al.* (2015) é por volta da terceira década de vida que se verifica a diminuição significativa da resistência da dentina, o que se justificaria pela maior precipitação minerais no lúmen dos túbulos dentinários, evoluindo em torno de 20 MPa por década. Em paralelo, observa-se uma redução considerável da resistência à fadiga e à fratura. A fadiga pode ser caracterizada como um fenómeno de falha progressiva que prossegue pelo início e propagação das fissuras na estrutura da dentina.

Zheng *et al.* (2005), referiram que a dureza da dentina esclerótica nos dentes envelhecidos por baixo das cúspides é significativamente maior do que a dos dentes jovens. Da mesma forma, Senawongse *et al.* (2006) relataram que a dentina de idosos apresentam valores mais altos de dureza na dentina do manto do que a dentina de indivíduos jovens. Fato confirmado na pesquisa, onde na escala de Knoop registrou-se valores de 80 kg/mm² para a dentina envelhecida em relação a dentina jovem que apresentou valores médios de 60 kg/mm² (Senawongse *et al.*, 2006). É relevante citar que a dentina esclerótica é precisamente uma dentina cujos túbulos dentinários ficaram ocluídos ; a esclerose pode ser de dois tipos : a) fisiológica, lenta e gradual ao longo do tempo, resultando numa DI hipermineralizada; ou b) reactiva, caso tenha ocorrido exposição dos túbulos e, é gerado então um material heterogénio consoantes com as condições ambientais adversas; em ambas as situações relatadas, a esclerose tende a limitar o acesso de estímulos ambientais à polpa, protegendo-a (Zhao *et al.* 2018).

A grande maioria dos autores sustenta a hipótese de que a dentina esclerótica se origina de uma secreção ativa de diferentes proteínas por processos odontoblásticos, regulando a formação e mineralização de DI (Li *et al.* 2011). Importante destacar que em relação a esse tipo de defesa, os resultados ainda são controversos considerando o aspecto da regulação intermediada por proteínas, sendo este um item ainda a ser investigado, mesmo tendo a existência de referências sobre um possível processo de aposição de DI, derivada de uma re-precipitação da dentina inicialmente desmineralizada (Goldberg e Smith, 2004). Já Boushell *et al.* (2011), sugeriram

que visto a presença de metaloproteinase-2 e sialoproteína concentrada nos processos odontoblásticos que se estendem para a pré-dentina e dentina, estas substâncias poderiam representar um papel ativo na mineralização contínua da matriz dentinária da DI. Huang *et al.* (2008), relataram que alguns trabalhos sugerem que as proteínas não-colágenas desempenham um papel importante na mineralização da DI.

III. DISCUSSÃO

Ficou evidente na presente revisão que os artigos acessados relacionados a DI, maioritariamente sustentam a hipótese de que os processos odontoblásticos seriam os responsáveis em secretar ativamente as diferentes proteínas, regulando a formação e sua mineralização (Li *et al.* 2011) e que estas células Od depositam uma enorme quantidade de matriz dentinária, construindo o corpo principal do órgão dentário, mantendo a conformação básica do dente (Golub, 2009). Importante destacar que a matriz da DI é duas vezes mais mineralizada que a dentina intertubular (Changqi e Yong., 2012). Tais conceitos deixam claro que existem diferenças significativas nas fases inorgânica e orgânica da dentina, e que por consequência influencia significativamente o comportamento mecânico do dente. Desta feita qualquer alteração da vitalidade pulpar por estímulos nocivos locais e ou sistêmicos poderão prejudicar o processo de formação e manutenção do elemento dentário.

Em relação ao processo de mineralização da dentina, é interessante comentar sobre a função das vesículas de matriciais que desempenham um papel importante no início da mineralização dos diferentes tecidos e são consideradas o local de nucleação primária, e estas não estariam presentes na formação da dentina circumpulpar (Golub, 2009). De forma contrária, Ortiz *et al.* (2013), relataram que as vesículas matriciais não ficariam restritas a agir somente durante a mineralização da dentina do manto (dentinogênese inicial) mas também contribuiriam durante o processo de mineralização da DI. Essa afirmação foi pré-estabelecida pelo fato de que a estes pesquisadores identificaram na constituição da parede tubular numerosos calcosferitos. Portanto, esta nova hipótese levanta a questão de que existem itens do processo de mineralização em aberto, principalmente em relação ao mecanismo pelo qual ocorre a precipitação mineral intratubular, que até os dias atuais ainda não é totalmente esclarecido.

Relevante citar que todo indivíduo está sujeito a ocorrência de estímulos constantes de caráter funcional (mastigatórios) e até a episódios de contatos oclusais parafuncionais (bruxismo), os

quais induzem uma resposta por parte da polpa dentária, refletindo-se na estrutura da dentina. Ressalta-se que estímulos com intensidades variáveis podem ser dirigidos aos dentes nos diferentes estágios de desenvolvimento ou no decorrer do envelhecimento, ocasionando assim uma resposta tecidual que pode variar consideravelmente em composição e aspecto (Berkovitz *et al.*, 2009). Portanto, conhecer a microestrutura e a dinâmica dentina é primordial para o sucesso de qualquer manipulação a ser executada sobre o dente, seja a nível preventivo ou curativo (Fuentes, 2004).

Bleicher (2014), comentou em seu trabalho que a superfície dentinária não é constante no tempo, devido a maturação do dente e ou por invasão de bactérias quando os tubulos dentinários ficam expostos. Nesta situação ocorrerá esclerose por formação de uma DI reactiva (Boushell *et al.* 2011). Estas alterações sobre a estrutura repercutem nas propriedades mecânicas da dentina, que estão intimamente relacionadas a distribuição e orientação dos tubulos dentinários (Carvalho *et al.*, 2012). Condição esta que foi expressa por Williams *et al.* (2015), no qual relataram que conhecer a distribuição dos túbulos dentinários é vital para entender a relação estrutura-função da dentina, sendo este um importante indicador da estabilidade dentária.

Não podemos deixar de comentar que independentemente da influência promovida pela distribuição espacial dos túbulos sobre a propriedade mecânicas do dente, outras variáveis devem ser consideradas no comportamento mecânico da dentina, entre as quais se destaca as alterações ocorridas na microestrutura devido o envelhecimento do indivíduo (deposição de minerais no interior dos túbulos dentinários (DI) (Arola, 2008); a área dentina que recebeu a carga (superficial/ profunda e coronal/radicular) (Carvalho *et al.*, 2012); a diminuição sucessiva da densidade celular dos Od (cerca de 60% - vai diminuindo até aos 60-80 anos) (Daud *et al.* 2014); os fatores ambientais e / ou étnicos (Ivancik *et al.*, 2014); a qualidade e quantidade do esmalte que recobre a dentina (Ortiz *et al.*, 2013) e a diferença e densidades médias de túbulos / mm² da dentina intratubular entre dentes vitais ou não, e entre dentes posteriores e anteriores (Williams *et al.*, 2015).

Ryou *et al.* (2015) relataram que houve diferenças significativas entre a dentina intertubular e DI em relação ao comportamento de amortecimento de cargas entre a dentina jovem (18-25 anos) e a dentina antiga (54-83 anos). A dentina de indivíduos idosos exibiu valores mais elevados de dureza e menor elasticidade do que a dentina de jovens, embora apenas na região da dentina do manto. Importante destacar que na DI, a dureza e o seu módulo de elasticidade são independentes da profundidade (Ivancik e Arola, 2011). Os testes demonstraram que os

túbulos da dentina antiga exibiam um módulo de elasticidade menor no centro dos túbulos preenchidos com o mineral recém-depositado (Ryou *et al.*, 2011). Sendo assim, os componentes da DI apresentaram capacidade de amortecimento menor no grupo de indivíduos de maior idade (Ryou *et al.*, 2015).

De acordo com Ivancik e Arola (2014), as taxas médias de crescimento de trinca por fadiga aumentaram significativamente com o aumento da densidade tubular, tendo assim um comportamento mecânico consistente com as razões mineral / colágeno. Está evidência foi expressa em outro trabalho, onde verificaram que a dentina profunda apresentava maiores taxas de mineral / colágeno e por consequência uma maior “fragilidade” (Ryou et al. 2011). Nesta afirmativa não devemos deixar de referenciar outro artigo, que considera que o impacto promovido pelo envelhecimento resulta uma redução significativa da resistência da microestrutura da dentina, levando a um maior crescimento de trincas por fadiga (Ivancik e Arola., 2013). Portanto, considerando todos apontamentos é relevante comentar que além das diferenças das dimensões dos lúmens dos túbulos, existem evidências que aspectos relacionados ao conteúdo mineral e orgânico influenciam significativamente a resistência da dentina.

Percebeu-se nos artigos selecionados que não existe uma padronização nos estudos sobre DI, provavelmente devido ao pequeno tamanho da DI em relação a intertubular.

IV. CONCLUSÃO

Dentro das limitações do presente estudo, conclui-se:

A estrutura dentinária é submetida a alterações fisiológicas e histológicas com o passar do tempo. Desta forma, os dentes permanentes dos indivíduos idosos adquirem diferentes características a nível morfológico e de composição, o que influencia substancialmente a resistência do dente em relação as cargas funcionais e não funcionais. Nestas incluem-se o aumento da espessura (por deposição contínua de dentina secundária), a diminuição da densidade dos Odontoblastos e principalmente o aumento da mineralização no compartimento intratubular, e conseqüente obliteração dos túbulos dentinários por material inorgânico;

A dentina mineralizada é mais rígida e menos elástica, aspecto com grande importância clínica, já que deixam de permitir compensar a rigidez do esmalte, ao amortecer os impactos que ocorrem durante a função mastigatória;

Os resultados dos estudos selecionados revelaram que a dentina envelhecida/madura apresenta menor elasticidade e maior dureza devido a mineralização das áreas intratubulares;

O impacto sobre a resistência do dente promovido pelas alterações que surgem na DI ainda é um assunto não totalmente esclarecido; e

Sugere-se que sejam realizados mais estudos, e que estes sigam um padrão reproduzível metodologicamente (investigações quantitativas e qualitativas) buscando identificar os participantes do processo de mineralização da DI, incluindo nestas amostras mais abrangentes e representativas de várias faixas etárias.

BIBLIOGRAFIA

Arola, D.D. (2008). *Fratura e envelhecimento da dentina, Biomateriais Dentários*. Cambridge, Reino Unido, Woodhead Publishing, pp. 314-342.

Avery, J. K. e Chiego, D. J. (2006). *Essentials of Oral Histology and Embriology: A Clinical Approach* (3ª edição). Mosby Elsevier.

Beard, J.R., *et al.* (2016). The Word Report on Ageing and Health. *Gerontologist*, 46(Suppl2), pp. S163-6.

Berkovitz, B. K. B., *et al.* (2009). *Oral Anatomy, Histology and Embriology* (4ª edição). Mosby Elsevier.

Bleicher, F. (2014). Fisiologia Odontoblast. *Pesquisa Experimental de Células*, 325(2), pp. 65–71.

Boushell, L.W., *et al.* (2011). Aumento da metaloproteinase-2 da matriz e resposta da sialoproteína óssea à carie coronária humana. *Caries Research*, 45(5), pp. 453-9.

Carvalho, R.M., *et al.* (2012). Dentin as a bonding substrate. *Endodontic Topics*, 21, pp. 62-88.

Changqi, X. e Yong, W. (2012). Chemical composition and structure of peritubular and intertubular human dentin revisited. *Archives of Oral Biology*, 57(4), pp. 383-391.

Chuenarrom, C., *et al.* (2009). Effect of Indentation Load and Time on Knoop and Vickers Microhardness Tests for Enamel and Dentin. *Materials Research*, 12(4), pp. 473–476.

Côrte-Real, I.S., *et al.* (2011). As doenças orais no idoso: Considerações gerais, *Revista Portuguesa de Estomatologia. Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial*, 52(3), pp. 175-180.

Daud, S., *et al.* (2014). Changes in cell density and morphology of selected cells of the ageing human dental pul. *Gerodontology*, pp.1–7.

Djomehri, S.I., *et al.* (2015). Gradientes de Volume de Densidade Mineral em Tecidos Humanos Normais e Doentes. *PLoS One*, 10(4), p. e0121611.

Fejerskov, O. e Kidd, E. (2005). *Cárie Dentária - A Doença e seu Tratamento Clínico*. São Paulo: Livraria Santos.

Fuentes, M. F. (2004). Propiedades mecánicas de la dentina humana. *Avances En Odontoestomatología*, 20(2), pp. 79–83.

Giuseppe, L.O., *et al.* (2015). Dentin Morphology of Root Canal Surface: A Quantitative Evaluation Based on a Scanning Electronic Microscopy Study. *Biomedical Research International*, 2015, pp. 1-7.

Goldberg, M. e Smith, A.J. (2004). Células e matrizes extracelulares de dentina e polpa: uma base biológica para reparo e engenharia de tecidos. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 15, pp. 13-27.

Golub, E.E. (2009). Papel das vesículas matriciais na biomineralização. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1790, pp. 1592-8.

Hilton, T. J., *et al.* (2013). *Summitt's Fundamentals of operative dentistry*. Quintessence Books, 4ª edição.

Huang, B., *et al.* (2008). Distribuição de proteínas SIBLING nas fases orgânica e inorgânica da dentina do osso de ratos. *European Journal of Science*, 116, pp. 104-112.

Ivancik, J. e Arola, D.D. (2011). A importância das variações microestruturais na tenacidade à fratura da dentina humana. *Biomateriais*, 34, pp. 864-874.

Ivancik, J., *et al.* (2014). Diferenças na microestrutura e propriedades de fadiga da dentina entre residentes da América do Norte e do Sul. *Archives of Oral Biology*, 59(10), pp. 1001-1012.

James, K.A. (2005). *Desenvolvimento e Histologia Bucal*. São Paulo; Ed. Santos.

Kishen, A., e Vedantam, S. (2007). Hydromechanics in dentine: Role of dentinal tubules and hydrostatic pressure on mechanical stress–strain distribution. *Dental Materials*, 23(10), pp. 1296-1306.

Li, Y., *et al.* (2011). Diferenciação de células do tipo Odontoblastos e formação da dentina induzida com TGFβ1. *Archives of Oral Biology*, 56, pp. 1221-9.

Li, X., *et al.* (2015). Determination of elastic and plastic mechanical properties of dentin based on experimental and numerical studies. *Applied Mathematics and Mechanics*, 36(10), pp. 1347–1358.

- Llano, J.M. (2019). Dentin tubule orientation determines odontoblastic differentiation in vitro: A morphological study. *PloS One*, 14(5), p. e0215780.
- Miller, N. (2012). Ten Cate's oral histology. *British Dental Journal*, 8(213), p. 194.
- Montoya, C., *et al.* (2015). Effect of aging on the microstructure, hardness and chemical composition of dentin. *Archives of Oral Biology*, 60(12), pp. 1811-1820.
- Nalla, R.K., *et al.* (2005) Exame ultraestrutural da dentina usando microscopia eletrônica de transmissão e de seção transversal de feixe de ions. *Micron*, 36(7-8), pp. 672-680.
- Nancy, A. (2013). *Ten Cate's Oral Histology: development, sctstructure, and function* (8ª edição). Mosby Elsevier.
- Nascimento, T. *et al.* (2016). Morphological study and analysis of microhardness and permeability of the furcation of maxillary premolars. *Brazilian Dental Journal*, 27(5), pp. 562-567.
- Ortiz, G.M., *et al.* (2013). Presença de vesículas matriciais no corpo de odontoblastos e no terço interno do tecido dentinário: estudo microscópico eletrônico de varredura. *Medicina Oral Patologia Oral Cirurgia Bucal*, 18(3), pp. e537-e541.
- Perdigão, J., *et al.* (2014). Immediate Adhesive Properties to Dentin and Enamel of a Universal Adhesive Associated With a Hydrophobic Resin Coat. *Operative Dentistry*, 39(5), pp. 489-99.
- Petersen, P.E., *et al.* (2005). A carga global de doenças bucais e riscos para a saúde bucal. *Orgão Mundial de Saúde da Bull*, 83(9), pp. 661-669.
- Ribeiro, D., *et al.* (2012). Comportamentos e auto-perceção em saúde oral de uma população geriátrica da região do Porto, Portugal. *Revista Bibliografia 69 Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária E Cirurgia Maxilofacial*, 53(4), pp. 221-226.
- Ryou, H., *et al.* (2011). Contribuição da microestrutura e composição química para propriedades mecânicas da dentina. *The Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 22, pp. 1127-1135.

Ryou, H., *et al.* (2015). Importância da idade no comportamento Mecânico Dinâmico da Dentina Intertubular e Peritubular. *The Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 42, pp. 229-242.

Senawongse, P., *et al.* (2006). Age-related changes in hardness and modulus of elasticity of dentine. *Archives of Oral Biology*, 51(6), pp. 457-463.

Sui, T., *et al.* (2018). Microscopia Correlativa Estrutura-Função de Dentina Peritubular e Intertubular. *Materiais (Basileia)*, 11(9), p. 1493.

Tjaderhane, L.C.M., *et al.* (2012). Estrutura básica e composição da dentina - uma visão geral. *Endodontic Topics*, 20, pp. 3-29.

Van der, P. *et al.* (2014). Poor oral health, potential new geriatric syndrome. *Gerodontology*, 31(1), pp. 17-24.

Van Loveren, L. (2013). Exposição de hipersensibilidade dentinária e dentina cervical exposta: discussão e recomendações. *Clinical Oral Investigation*, 17(Suppl 1), pp. 73-76.

Williams, C., *et al.* (2015). ImageJ analysis of dentin tubule distribution in human teeth. *Celular Tissular*, 47(4), pp. 343-348.

Zaslansky, P. (2008). *Dentin em Collagen: Structure and Mechanics*. Springer, pp. 421-446.

Zhao, Y., *et al.* (2018). Os odontoblastos responsivos a Wnt secretam nova dentina após lesão dentária superficial. *Journal Dental Research*, 97(9), pp. 1047-1054.

Zheng, L., *et al.* (2005). Dureza e módulo de dentina transparente de Young associado a envelhecimento e doença cariosa. *Dental Materials Journal*, 24, pp. 648-653.