



**UNIVERSIDADE  
FERNANDO  
PESSOA**

# ADAPTAÇÃO NEURAL INDUZIDA PELA REABILITAÇÃO ORAL COM IMPLANTES DENTÁRIOS: REVISÃO INTEGRATIVA

[Neural adaptation induced by oral rehabilitation with dental implants: an integrative review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Davide Fazio

Orientadores:

Doutor Henrique Bernardo da Silva

Mestre Pedro Miguel Cunha Teixeira dos Santos

Setembro 2025







# **ADAPTAÇÃO NEURAL INDUZIDA PELA REABILITAÇÃO ORAL COM IMPLANTES DENTÁRIOS: REVISÃO INTEGRATIVA**

[Neural adaptation induced by oral rehabilitation with dental implants: an integrative review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Davide Fazio

Orientadores:

Doutor Henrique Bernardo da Silva

Mestre Pedro Miguel Cunha Teixeira dos Santos

Setembro 2025



## **AGRADECIMENTOS**

Finalmente siamo arrivati alla fine di questa avventura piena di emozioni, di pianti, di gioie, di sudore e di ore e ore di studio....voglio ringraziare di cuore i miei genitori per essere sempre stati al mio fianco durante in tutti questi anni e che hanno sempre creduto in me anche quando le cose non sembravano andare nel verso giusto sono sempre stati presenti . ringrazio con tutto il mio cuore miei nonni ( nonno Nino e nonna Giusy) per aver contribuito in maniera rilevante e dato la possibilità di coronare questo mio sogno tanto desiderato facendo molti sacrifici pur di vedermi realizzato.

Voglio ringraziare Luana e la sua famiglia che mi hanno sempre supportato e sopportato in questi anni molto duri e pieni di sacrifici, trattandomi da figlio maggiore. non vi dimenticherò mai, un grazie infinito!!!

Per ultimo ma non per importanza vorrei ringraziare mio nonno Franco per essere sempre qui con me al mio fianco, per avermi dato sempre la forza di andare avanti.... Lo so che sarai lì al mio fianco quando coronerò questo mio traguardo. Vi amo Davide.



## RESUMO

A reabilitação oral, especialmente com o uso de implantes dentários, representa uma solução eficaz e duradoura para pacientes com perda dentária, uma condição que afeta diretamente a mastigação, a fala e a autoestima. Embora os implantes ofereçam benefícios funcionais e estéticos superiores às próteses removíveis, o processo de adaptação a essa nova realidade envolve não apenas aspectos físicos da cavidade bucal, mas também processos neurológicos complexos. A neuroplasticidade, ou capacidade do cérebro de reorganizar suas conexões neuronais em resposta a mudanças ambientais, é um mecanismo fundamental durante a adaptação de pacientes edêntulos reabilitados com implantes. Este estudo teve como objetivo investigar os processos de neuroplasticidade associados à reabilitação oral com implantes dentários, com foco nas mudanças na percepção sensorial oral (principalmente na propriocepção e sensação tátil) e nas alterações nas redes neurais responsáveis pelo controle motor da mastigação. A revisão foi conduzida através de uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados *PubMed* e *ScienceDirect*, abrangendo artigos publicados entre 2008 e 2025. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade foram selecionados 14 estudos os quais demonstraram que a neuroplasticidade desempenha um papel crucial na adaptação de pacientes com perda dentária aos implantes dentários, tanto em termos de controle motor da mastigação quanto na percepção sensorial oral. Os achados da literatura suportam consistentemente a hipótese de que a reabilitação oral induz uma reorganização funcional nas redes neurais sensório-motoras, o que se traduz em melhorias objetivas na função mastigatória e na percepção sensorial oral. Este estudo evidencia a importância de integrar a compreensão dos processos neurológicos na reabilitação oral com implantes, proporcionando melhores resultados para os pacientes, com base não só em aspectos físicos, mas também neurológicos da adaptação. Contudo, existem poucos estudos longitudinais em humanos com recurso a neuroimagem funcional, bem como a falta de padronização na avaliação da propriocepção peri-implantar.

**Palavras-chave:** “implantes dentários”, “sobredentadura”, “prótese dentária removível”, “neuroplasticidade”, “função cerebral”, “atividade cerebral”.



## **ABSTRACT**

Oral rehabilitation, especially with the use of dental implants, represents an effective and long-lasting solution for patients with tooth loss, a condition that directly affects chewing, speech and self-esteem. Although implants offer superior functional and aesthetic benefits to removable prostheses, the process of adapting to this new reality involves not only physical aspects of the oral cavity, but also complex neurological processes. Neuroplasticity, or the brain's ability to reorganize its neural connections in response to environmental changes, is a fundamental mechanism during the adaptation of patients with tooth loss who receive implants. This study aims to investigate the processes of neuroplasticity in patients with tooth loss undergoing oral rehabilitation with dental implants, focusing on changes in oral sensory perception (mainly proprioception and tactile sensation) and changes in the neural networks responsible for the motor control of chewing. The review was conducted through a bibliographic search in the PubMed and ScienceDirect databases, focusing on articles published between 2008 and 2025. After applying the eligibility criteria, 14 studies were selected, which demonstrated that neuroplasticity plays a crucial role in the adaptation of patients with tooth loss to dental implants, both in terms of motor control of mastication and oral sensory perception. The reviewed literature suggests that, as patients adapt to the new pattern of stimuli, changes occur in the neural networks responsible for mastication and tactile sensation, resulting in improved functionality and quality of life. This study demonstrated the importance of integrating the understanding of neurological processes in oral rehabilitation with implants, providing better results for patients, based not only on physical but also neurological aspects of adaptation. However, there are few longitudinal studies with functional neuroimaging in humans and there is a lack of standardization in the assessment of peri-implant proprioception.

**Keywords:** “dental implants”, “overdenture”, “removable dental prosthesis”, “neuroplasticity”, “brain function”, “brain activity”



# ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. DESENVOLVIMENTO .....	5
2.1. Materiais e métodos.....	5
2.1.1. Fontes e estratégia de pesquisa.....	5
2.1.2. Critérios de inclusão e exclusão .....	5
2.2. Resultados.....	7
2.2.1. Seleção dos estudos .....	7
2.2.2. Características dos estudos selecionados .....	11
2.3. Discussão .....	24
3. CONCLUSÃO .....	31
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	33



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Fluxograma PRISMA ( <i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i> ) .....	8
---	---



## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Avaliação crítica metodológica dos estudos transversais.....	9
<b>Tabela 2:</b> Avaliação crítica metodológica dos estudos de coorte.....	10
<b>Tabela 3:</b> Avaliação crítica metodológica dos estudos quase-experimentais. ....	10
<b>Tabela 4.</b> Características dos estudos incluídos na revisão (continua nas páginas seguintes).....	19



## LISTA DE SIGLAS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

<b>DLPFC</b>	córtex pré-frontal dorsolateral ( <i>dorsolateral prefrontal cortex</i> )
<b>EEG</b>	Eletroencefalograma
<b>fMRI</b>	Ressonância magnética funcional ( <i>functional magnetic resonance imaging</i> )
<b>fNIRS</b>	Espectroscopia funcional do infravermelho próximo ( <i>functional near-infrared spectroscopy</i> )
<b>MI</b>	Córtex motor primário ( <i>primary motor cortex</i> )
<b>MMSE</b>	Mini exame do estado Mental ( <i>Mini-Mental State Examination</i> )
<b>PMA</b>	Córtex pré-motor ( <i>Premotor cortex</i> )
<b>PSD</b>	Densidade espectral de potência ( <i>Power spectral density</i> )
<b>RAVLT</b>	Teste de Aprendizagem Auditiva Verbal de Rey ( <i>Rey Auditory Verbal Learning Test</i> )
<b>R-OCFT</b>	Teste de Figura Complexa de Rey-Osterrieth ( <i>Rey-Osterrieth Complex Figure Test</i> )
<b>SI</b>	Córtex sensorial primário ( <i>primary somatosensory cortex</i> )
<b>SMC</b>	Córtex motor suplementar ( <i>Supplementary motor cortex</i> )
<b>SMC/PMA</b>	Córtex motor suplementar /córtex pré-motor ( <i>Supplementary motor cortex/ Premotor cortex</i> )
<b>TMT-A</b>	Teste de rasto - Parte A ( <i>Trail-Making Test Part A</i> )
<b>VPM</b>	Núcleo ventral pósteromedial ( <i>Ventral posteromedial</i> )



## 1. INTRODUÇÃO

A perda dentária, especialmente em populações envelhecidas, continua a ser um dos principais desafios de saúde oral, afetando não apenas a estética e a função mastigatória, mas também aspectos psicossociais e neuromotores (Perumal et al., 2016). Em resposta à ausência de estímulos aferentes provenientes dos dentes naturais, observa-se uma série de modificações no sistema estomatognático, que incluem atrofia muscular, reabsorção óssea e, mais recentemente descritas, alterações neurofuncionais (Shoi et al., 2014; Kamiya et al., 2016).

Historicamente, os implantes dentários têm sido considerados uma solução restauradora de excelência, com elevadas taxas de sucesso clínico e capacidade de restaurar eficazmente a função mastigatória. Além da sua função biomecânica, os implantes passaram a ser investigados sob a perspectiva neurofisiológica, particularmente quanto à sua capacidade de promover estímulos sensoriais e proprioceptivos comparáveis aos dos dentes naturais (Tan et al., 2020). Este interesse crescente reflete a relevância da interação entre as próteses implantossuportadas e os mecanismos centrais de controle motor e sensorial.

O conceito de neuroplasticidade — definido como a capacidade do sistema nervoso de reorganizar ligações sinápticas em resposta a estímulos internos ou externos — tem sido amplamente documentado em contextos neurológicos, mas ainda é relativamente recente no campo da medicina dentária reabilitadora (Narita et al., 2020; Diniz e Crestani, 2023). Embora, outrora se considerasse que a neuroplasticidade estava confinada ao desenvolvimento inicial, é agora reconhecida como um processo ao longo da vida, essencial para funções como aprendizagem, memória e adaptação (Parisi et al., 2019).

A neuroplasticidade é sustentada por quatro processos interligados: plasticidade sináptica, plasticidade estrutural, neurogênese e reorganização funcional, os quais permitem ao cérebro adaptar-se às mudanças internas e externas ao longo da vida (Voss et al., 2017; Power e Schlaggar, 2017; Pickersgill et al., 2022). Estes mecanismos são essenciais para a aprendizagem, a memória e a recuperação funcional após uma lesão, mas podem também contribuir para o desenvolvimento de estados patológicos quando desregulados (Mateos-Aparicio e Rodríguez-Moreno, 2019; Appelbaum et al., 2023).

Evidências emergentes sugerem que o cérebro é capaz de se adaptar funcionalmente após a instalação de implantes dentários, reconfigurando circuitos neurais relacionados à

Adaptação neural à reabilitação oral: Uma revisão integrativa sobre neuroplasticidade em pacientes com perda dentária e implantes

mastigação, à propriocepção oral e à percepção tátil (Verna et al., 2021; Padmanabhan et al., 2022).

Estudos neurofisiológicos e de neuroimagem demonstram que áreas corticais responsáveis pelo controlo motor oral, como o córtex somatossensorial primário e o córtex motor primário, podem ser reativadas ou reorganizadas após a reabilitação com implantes. Estes resultados reforçam a noção de que a reabilitação oral transcende os limites mecânicos, abrangendo uma dimensão funcional mais ampla que envolve adaptação neural e aprendizagem sensório-motora (Saikia et al., 2020; Nakazato et al., 2021).

Ao mesmo tempo, a neuroplasticidade pode ter efeitos benéficos ou adversos (Kleim & Jones, 2008). Enquanto as mudanças adaptativas promovem a aquisição de habilidades, a reabilitação e o envelhecimento saudável, os processos desadaptativos podem contribuir para estados patológicos, como dor crónica, dependência e diversas condições neurológicas e psiquiátricas (Marzola et al., 2023).

Em pacientes com défices cognitivos, um aumento do número de dentes perdidos (ou seja, perda dentária) tem sido associado à redução do volume de substância cinzenta no córtex motor primário bilateral, no córtex pré-motor, no hipocampo esquerdo e na região parahipocampal (Lim et al., 2020).

A compreensão dos processos neuroplásticos associados à reabilitação oral representa uma fronteira inovadora da medicina dentária contemporânea. Ao integrar conhecimentos da neurociência na prática clínica, abre-se a perspectiva de desenvolver protocolos reabilitadores mais eficazes, personalizados e baseados em evidências neurofuncionais. Do ponto de vista social, estas abordagens podem contribuir para a promoção do envelhecimento saudável, a reabilitação de pacientes com edentulismo prolongado e a redução dos impactos psicossociais decorrentes da perda dentária.

Além disso, a incorporação de abordagens interdisciplinares pode impulsionar o desenvolvimento de tecnologias biomédicas, como próteses com sensores integrados e materiais que favoreçam a estimulação neurosensorial, elevando os padrões da medicina dentária restauradora e reabilitadora.

Desta forma, o objetivo desta revisão integrativa é analisar os estudos relacionados com a adaptação neural induzida pela reabilitação oral com implantes, analisando criticamente

os resultados, limitações e lacunas metodológicas dos estudos disponíveis, bem como as suas implicações clínicas e científicas.

Adaptação neural à reabilitação oral: Uma revisão integrativa sobre neuroplasticidade em pacientes com perda dentária e implantes

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. Materiais e métodos**

Esta revisão integrativa foi conduzida de acordo com as diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses* (PRISMA). O objetivo foi responder à seguinte questão: "A reabilitação de pacientes com próteses dentárias ou implantes preserva e/ou restaura a função cerebral, nomeadamente a atividade cognitiva dos pacientes?"

Com base na literatura disponível, foram formuladas as seguintes hipóteses:

1. A colocação de implantes dentários induz adaptações neurofuncionais positivas em áreas corticais relacionadas à mastigação e a percepção sensorial oral.
2. Métodos neurofisiológicos objetivos, como EEG e fMRI, são mais eficazes na detecção de alterações neuroplásticas do que avaliações clínicas subjetivas.

#### **2.1.1. Fontes e estratégia de pesquisa**

A pesquisa foi realizada nas bases de dados *PubMed/MEDLINE* e *ScienceDirect* utilizando um limite temporal de 2008 a 2025. Foram utilizadas as seguintes palavras-chave, combinadas com os operadores booleanos AND e/ou OR: “*dental implants*”, “*overdenture*”, “*removable dental prosthesis*”, “*neuroplasticity*”, “*brain function*” e “*brain activity*”.

#### **2.1.2. Critérios de inclusão e exclusão**

Os critérios de inclusão para os estudos desta revisão integrativa foram:

- Ensaios clínicos randomizados e estudos prospetivos,
- Estudos que compararam a atividade cerebral em pacientes reabilitados com e sem próteses dentárias,
- Estudos que analisaram o cérebro humano utilizando técnicas não invasivas
- Estudos publicados em inglês ou português.

Foram excluídos relatos de casos, séries de casos, estudos retrospectivos, estudos seccionais e estudos que avaliaram a atividade cognitiva dos pacientes através de

Adaptação neural à reabilitação oral: Uma revisão integrativa sobre neuroplasticidade em pacientes com perda dentária e implantes

metodologias subjetivas, como questionários. Foram igualmente excluídos revisões integrativas sem acesso ao artigo completo.

Para a seleção dos estudos, foi utilizada a estratégia PICO (População, Intervenção, Comparação e Resultados):

- **População:** Pacientes com perda dentária.
- **Intervenção:** Reabilitação de espaços edêntulos com implantes dentários.
- **Comparação:** Diferentes métodos de substituição dentária.
- **Resultados:** Alterações nos níveis de atividade cerebral em resposta a quaisquer tarefas realizadas por pacientes com diferentes tipos de próteses.

## **2.2. Resultados**

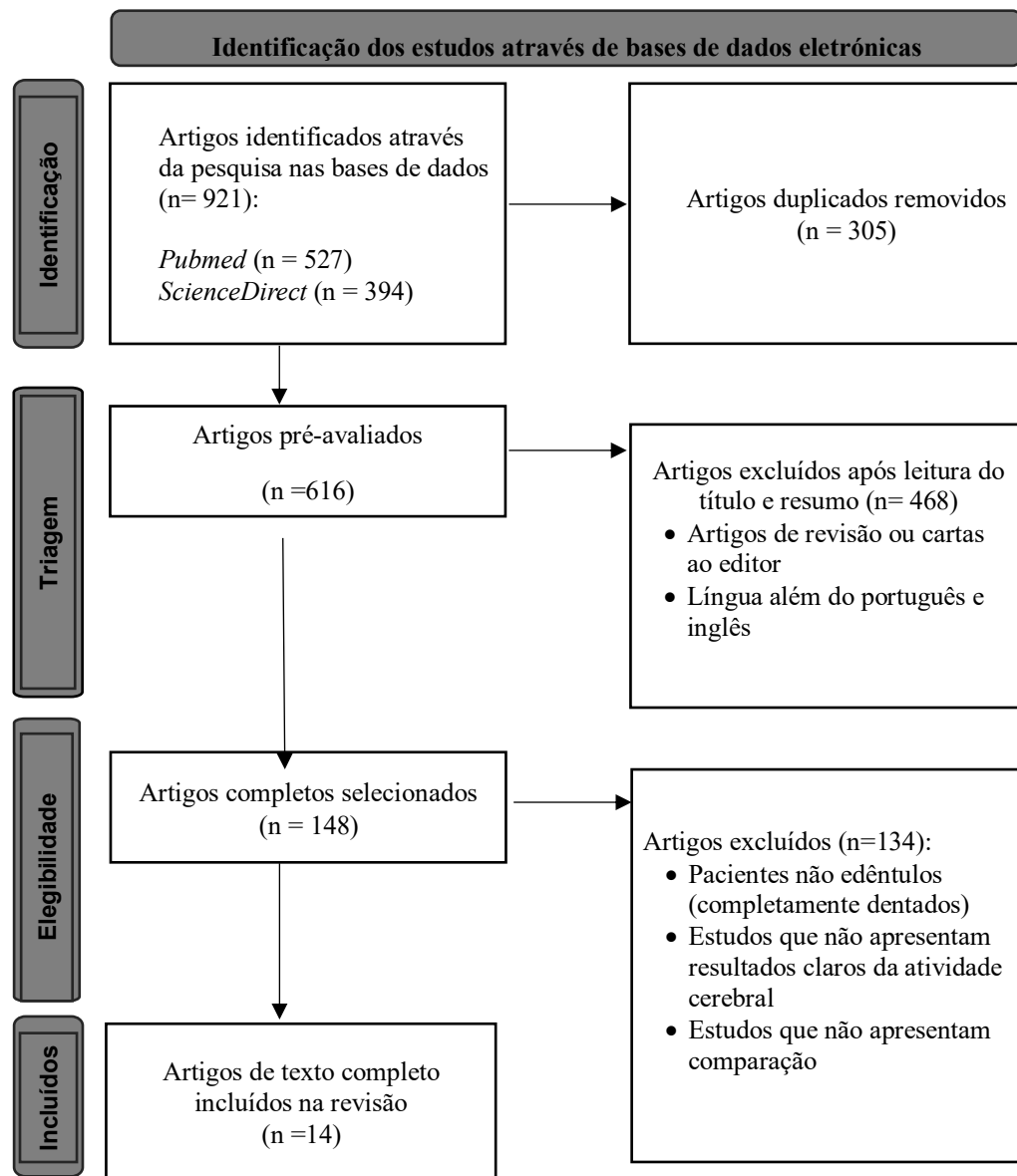
### **2.2.1. Seleção dos estudos**

Inicialmente, obteve-se um total de 921 artigos das várias bases de dados (527 na *PubMed* e 394 na *ScienceDirect*). Destes, 305 artigos estavam duplicados, tendo sido excluídos. Nos 616 artigos restantes realizou-se uma triagem inicial somente pela leitura do título e resumo, o que levou à exclusão de 468 artigos por corresponderem a revisões de literatura ou não estarem de acordo com os critérios de inclusão e/ou o objetivo primário estabelecido para o trabalho.

Para leitura integral, restaram um total de 148, dos quais 134 artigos foram eliminados por não estarem de acordo com o objetivo desta revisão nem apresentarem resultados claros. O processo de seleção encontra-se representado no fluxograma PRISMA disponível na Figura 1.

Os textos completos dos artigos considerados elegíveis foram importados e lidos para verificar o cumprimento de todos os critérios de inclusão. Em seguida, os artigos pré-selecionados foram revistos, e a informação foi extraída de forma padronizada incluindo: autores, ano de publicação, país em que o estudo foi realizado, tipo de edentulismo, modalidade de reabilitação utilizada, método de avaliação da atividade neural e principais conclusões do estudo.

**Figura 1** Fluxograma PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*)



Foi realizada uma avaliação crítica da qualidade metodológica de todos os artigos incluídos, utilizando ferramentas elaboradas pelo Joanna Briggs Institute: “*Checklist for Analytical Cross Sectional Studies*”, para estudos transversais; “*Checklist for Cohort Studies*”, para os estudos de cohort; e “*Checklist for Quasi-Experimental Studies*” (Moola et al., 2020).

As ferramentas são constituídas, respetivamente, por 8, 11 e 9 parâmetros de avaliação, que levam os examinadores a percorrer a totalidade dos artigos, com o objetivo de preencher cada um dos parâmetros com “Yes”, nos casos em que o artigo possua a

totalidade da informação em avaliação; “No”, quando o artigo não possui qualquer referência à informação em avaliação, “Unclear”, em casos nos quais a informação em avaliação está apenas mencionada de forma parcial, “Not applicable” quando o parâmetro não é passível de ser aplicado ao artigo em avaliação por determinantes metodológicas.

O instrumento ou ferramenta utilizada para avaliar o risco de viés, rigor ou qualidade foi a pontuação total de corte ser superior ou igual a 4 (4/8) no caso de estudos transversais. Neste estudo foram excluídos estudos com pontuação menor que 3; a inclusão de pontuação superior ou igual a 4, e inferior ou igual a 6, foi considerado artigo de qualidade moderada; e a pontuação superior ou igual a 7 foi considerado artigo de alta qualidade (Aromataris & Munn, 2020). Verificou-se que os 3 artigos transversais eram artigos de qualidade moderada (Shoi et al., 2014; Kobayashi et al., 2020; Verma et al., 2021), sendo todos incluídos na revisão integrativa (Tabela 1).

**Tabela 1:** Avaliação crítica metodológica dos estudos transversais.

Autor/Ano	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Nº Yes
Shoi et al. (2014)	Yes	Yes	Yes	Yes	Unclear	Unclear	Yes	Yes	6
Kobayashi et al. (2020)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Unclear	Yes	Yes	7
Verma et al. (2021)	Yes	Yes	Yes	Yes	Unclear	Unclear	Yes	Yes	6

Nota: *Yes*: sim; *No*: não; *Unclear*: incerto; N/A: não aplicável.

Na análise dos estudos de coorte foi considerado a pontuação total de corte ser superior ou igual a 5 (5/11). Foram excluídos estudos com pontuação menor que 4; a inclusão de pontuação superior ou igual a 5, e inferior ou igual a 7, foi considerado artigo de qualidade moderada; e a pontuação superior ou igual a 8 foi considerado artigo de alta qualidade (Aromataris & Munn, 2020). Verificou-se que o artigo de coorte era de alta qualidade (Narita et al., 2020). O artigo foi incluído na revisão (Tabela 2).

**Tabela 2:** *Avaliação crítica metodológica dos estudos de coorte.*

Autor/ Ano	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	N Yes
<b>Narita et al. (2020)</b>	Yes	Yes	Yes	Yes	Unclear	N/A	Yes	Yes	Yes	Unclear	Yes	8

Nota: Yes: sim; No: não; Unclear: incerto; N/A: não aplicável.

Na análise dos estudos quase-experimentais foi considerado a pontuação total de corte ser superior ou igual a 4 (4/9). Foram excluídos estudos com pontuação menor que 3; a inclusão de pontuação superior ou igual a quatro e inferior ou igual a 6 foi considerado artigo de qualidade moderada, e a pontuação superior ou igual a 7, foi considerado artigo de alta qualidade (Aromataris & Munn, 2020). Verificou-se que um artigo era de qualidade moderada (Hosoi et al., 2011) sendo os restantes considerados de qualidade elevada (Yan et al., 2008; Banu et al., 2016; Kamiya et al., 2016; Perumal et al., 2016; Saikia et al., 2020; Tan et al., 2020; Nakasato et al., 2021; Padmanabhan et al., 2022; Koseki et al., 2023), e foram incluídos na revisão (Tabela 3).

**Tabela 3:** *Avaliação crítica metodológica dos estudos quase-experimentais.*

Autor/Ano	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	N Yes
<b>Yan et al. (2008)</b>	Yes	Unclear	Yes	Yes	Yes	Yes	Unclear	Yes	Yes	7
<b>Hosoi et al. (2011)</b>	Yes	No	Unclear	Unclear	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	6
<b>Banu et al. (2016)</b>	Yes	Yes	Unclear	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	8
<b>Kamiya et al. (2016)</b>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Unclear	Yes	Yes	8
<b>Perumal et al. (2016)</b>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Unclear	Yes	Yes	8
<b>Saikia et al. (2020)</b>	Yes	Unclear	Yes	Yes	Yes	Yes	Unclear	Yes	Yes	7
<b>Tan et al. (2020)</b>	Yes	Yes	Yes	Unclear	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	8
<b>Nakasato et al. (2021)</b>	Yes	Yes	Yes	Unclear	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	8
<b>Padmanabhan et al. (2022)</b>	Yes	Yes	Yes	Unclear	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	8

<b>Koseki et al. (2023)</b>	Yes	Yes	Unclear	Yes	Yes	Yes	Unclear	Yes	Yes	7
---------------------------------	-----	-----	---------	-----	-----	-----	---------	-----	-----	---

Nota: Yes: sim; No: não; Unclear: incerto; N/A: não aplicável.

Após avaliação crítica metodológica verificou-se que os 14 artigos foram todos incluídos na revisão integrativa, tendo em conta que cumpriam os requisitos na sua conceção, condução e análise.

### 2.2.2. Características dos estudos selecionados

As características e os resultados dos catorze estudos incluídos são apresentados na tabela 4. Todos os estudos incluídos foram classificados como estudos prospetivos.

No total, foram avaliados 219 participantes. As reabilitações foram realizadas de acordo com o tipo de edentulismo (parcial e/ou total), incluindo próteses parciais removíveis (Hosoi et al., 2011; Shoi et al., 2014; Kamiya et al., 2016;), próteses removíveis totais (Banu et al., 2016; Perumal et al., 2016; Kobayashi et al., 2020; Nakasato et al., 2021), próteses dentárias fixas (Saikia et al., 2020), e próteses implantossuportadas (Yan et al., 2008; Banu et al., 2016; Tan et al., 2020; Verma et al., 2021; Padmanabhan et al., 2022).

As funções cerebrais foram analisadas em maxilares com edentulismo parcial ou completo reabilitados, durante e execução de várias tarefas, como a mastigação ou oclusão.

Yan et al. (2008) analisaram a plasticidade cortical em pacientes com próteses implantossuportadas, através da avaliação de 20 pacientes edêntulos portadores de próteses totais implantossuportadas ou de próteses totais tradicionais durante uma tarefa de apertamento dentário. Através de exames de ressonância magnética funcional (fMRI) foram obtidos mapas cerebrais de ativação que evidenciaram o envolvimento de várias regiões, incluindo o córtex pré-frontal, a área de Broca, o córtex pré-motor, a área motora suplementar, o giro temporal superior, a insúla, os gânglios da base e o hipocampo. Os autores sugeriram que o *feedback* sensorial e motor para o sistema nervoso central pode ser restaurado por próteses totais implantossuportadas.

Hosoi et al. (2011) avaliaram 38 pacientes, dos quais sendo 18 utilizavam próteses totais que necessitavam de ajuste e 20 pacientes utilizavam próteses parciais. A avaliação da função cerebral foi efetuada por eletroencefalograma (EEG), realizado após o ajuste das

próteses totais ou a mastigação de pastilha elástica no caso das próteses parciais. Observou-se um aumento da atividade da função cerebral em 14 dos 18 portadores de próteses totais após o ajuste e em todos os 20 portadores de próteses parciais após a mastigação. Estes resultados indicam que tanto a melhoria das próteses totais como o uso de próteses parciais estão associados a um aumento da função cerebral.

Shoi et al. (2014) avaliaram 11 pacientes com ausência de molares inferiores (1 homem e 10 mulheres, idade média:  $66,1 \pm 8,9$  anos) que mastigaram uma pastilha elástica insípida e inodora durante exames de fMRI. Os pacientes receberam duas próteses parciais inferiores, uma substituindo os dentes perdidos até ao segundo molar (prótese padrão) e outra substituindo os dentes perdidos até ao segundo pré-molar (prótese com arcada dentária encurtada). Os exames de fMRI foram realizados duas semanas após a utilização de cada prótese. Seis pacientes usaram inicialmente próteses padrão, enquanto cinco usaram próteses com arcada dentária encurtada. Os resultados mostraram que os pacientes apresentaram ativação significativamente maior nos giros frontais medial e médio bilaterais durante a mastigação da pastilha com a prótese padrão comparativamente com a prótese encurtada. Verificou-se também maior eficiência mastigatória e melhor percepção subjetiva da capacidade de mastigação com as próteses padrão. Os autores concluíram que os giros frontais medial e médio podem estar associados à função mastigatória, como a cominuição e a mistura dos alimentos, sendo estas funções melhoradas com a substituição total da arcada dentária em comparação com as próteses parcialmente substituídas.

Banu et al. (2016) selecionaram dez indivíduos totalmente edêntulos, sem experiência prévia no uso de próteses, com o objetivo de analisar as alterações na atividade cerebral e na função cognitiva em três condições distintas: sem prótese, com prótese total e com sobredentadura mandibular implantossuportada, antes e após a sua carga funcional. A atividade cerebral foi avaliada através de EEG e a função cognitiva através do Mini-Exame de Estado Mental (MMSE), em diferentes etapas do processo reabilitador. Os resultados demonstraram que a amplitude e a potência das ondas alfa, bem como as pontuações cognitivas, aumentaram progressivamente ao longo das fases de tratamento, atingindo os valores mais elevados com a sobredentadura implantossuportada. A análise bivariada entre os grupos revelou diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre todas as condições, exceto:

- entre o grupo completamente edêntulo e o grupo após a colocação dos implantes, relativamente à amplitude das ondas alfa;
- entre o grupo com prótese total e o grupo após a colocação dos implantes, relativamente à potência dessas ondas.

No MMSE, a média das pontuações foi de 17,40 (estado edêntulo), 18,30 (com prótese total) e 23,80 (com sobredentadura implantossuportada). Os autores concluíram que a utilização de sobredentaduras mandibulares implantossuportadas proporcionam uma melhoria significativa do estado mental dos indivíduos, sendo este benefício atribuído à melhoria funcional proporcionada pela prótese carregada sobre implantes, e não apenas à presença dos implantes sem função mastigatória.

Kamiya et al. (2016) avaliaram os efeitos do uso de próteses dentárias na atividade pré-frontal durante a mastigação. O estudo incluiu 12 indivíduos idosos edêntulos (idade média:  $63.1 \pm 6.1$  anos) e 12 jovens saudáveis como grupo controlo (idade média:  $22.1 \pm 2.3$  anos) utilizando espectroscopia funcional de infravermelho próximo (fNIRS) para avaliar a qualidade da funcionalidade pré-frontal durante o desempenho da mastigação sob as condições de uso de próteses e perda dentária e, em seguida, compararam os resultados com os de controlos jovens saudáveis. A fNIRS, uma técnica não invasiva que mede alterações hemodinâmicas no córtex cerebral para avaliar a atividade neural, e a eletromiografia (EMG) foram usadas simultaneamente para avaliar, respetivamente, a atividade cerebral pré-frontal e a atividade muscular mastigatória durante a mastigação, enquanto a força oclusal e a pontuação mastigatória foram examinadas através de um questionário de hábitos alimentares.

Os resultados mostraram que o uso de próteses dentárias nos idosos induziu um aumento significativo na atividade pré-frontal durante a mastigação, acompanhado por um aumento da atividade muscular mastigatória, da força oclusal e da pontuação mastigatória, em comparação com a condição de perda dentária. A ativação pré-frontal durante a mastigação com próteses dentárias em idosos foi semelhante à dos jovens controlos. Em contrapartida, a perda dentária no grupo de idosos resultou numa redução acentuada da atividade pré-frontal, com diminuição da atividade muscular mastigatória, da força oclusal e da pontuação mastigatória, em relação aos jovens controlos. Os autores concluíram que a ativação pré-frontal intrínseca durante a mastigação com prótese pode prevenir a hipoatividade pré-frontal associada à perda dentária em pacientes idosos edêntulos.

Perumal et al. (2016) avaliaram 20 pacientes edêntulos (idade entre 50 e 60 anos) que necessitavam de próteses totais, com o objetivo de investigar alterações cerebrais e cognitivas associadas à reabilitação protética. As funções cerebrais e cognitivas foram analisadas através de um questionário do estado mental e pela avaliação da densidade espectral de potência das ondas alfa via EEG, por 15 minutos, em diferentes condições: fase edêntula e fase pós-inserção da prótese, antes e após a mastigação.

Os valores médios de PSD ( $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ ) aumentaram progressivamente ao longo das fases:  $p_1 = 0,0064$  (edêntulo antes da mastigação),  $p_2 = 0,0073$  (edêntulo após mastigação),  $p_3 = 0,0077$  (pós-inserção antes da mastigação) e  $p_4 = 0,0096$  (pós-inserção após mastigação). A comparação entre as fases revelou que a adaptação à prótese levou a um aumento da PSD, refletindo uma influência positiva da reabilitação protética na função cerebral. Os autores concluíram que as próteses totais proporcionam uma melhoria significativa na função cerebral, evidenciada pelo aumento da atividade cortical registrada no EEG.

O estudo de Kobayashi et al. (2020) recorreu à fMRI para observar a atividade cerebral durante uma tarefa simples de percussão dentária (“*teeth tapping*”) em quatro grupos: adultos jovens dentados (AD), idosos dentados (OD), idosos edêntulos que utilizavam prótese (OEd) e idosos edêntulos sem prótese (OE).

Nos adultos jovens dentados (AD), a percussão dentária ativou principalmente o córtex sensorial primário (SI) e o córtex motor primário (MI) ( $p < 0,05$ , corrigido pelo erro familiar). No grupo OD, a percussão dentária ativou múltiplas regiões cerebrais ( $p < 0,05$ , corrigido), incluindo SI, MI, córtex insular, córtex motor suplementar (SMC)/córtex pré-motor (PMA), cerebelo, tálamo e gânglios da base. Já no grupo OEd, observou-se uma redução significativa da atividade no SI, MI, área de *Brodmann* 6, tálamo (núcleo ventral pósteromedial – VPM), gânglios da base e córtex insular ( $p < 0,005$ , não corrigido).

Os autores sugerem que essa diminuição parece estar associada à perda dentária e consequente ausência de aferências periodontais, não totalmente compensada pelo uso de próteses. A análise de interação psicofisiológica (OEd vs. OE) indicou que estruturas como MI, SI, córtex pré-frontal dorsolateral (DLPFC), SMC/PMA, córtex insular, gânglios da base e cerebelo atuam como *hubs* de uma rede integrada responsável pelo controlo da percussão dentária. No conjunto, estes resultados sugerem que os inputs sensoriais orais desempenham um papel fundamental no controlo motor da mandíbula,

contribuindo tanto para o controlo *feedforward* (planeamento antecipado dos movimentos) como para o controlo de *feedback* (ajuste contínuo durante o movimento).

Narita et al. (2020) avaliaram 16 pacientes parcialmente edêntulos, examinando simultaneamente a atividade do córtex pré-frontal (via fNIRS) e a atividade muscular mastigatória (via EMG) durante a mastigação, em condições com e sem prótese. Foram ainda avaliados o estado oclusal (força e área de contato) e a pontuação mastigatória.

Os resultados mostraram que a ritmicidade mastigatória permaneceu estável em ambas as condições, mas a utilização da prótese esteve associada a uma maior atividade do córtex pré-frontal e muscular mastigatória, além de melhorias no estado oclusal e pontuação mastigatória, em comparação com a condição sem prótese. Além disso, a atividade pré-frontal correlacionou-se positivamente com a duração do *burst* e com a amplitude de pico nas atividades dos músculos masséter e temporal, bem como à pontuação mastigatória. Em contrapartida, observou-se uma associação negativa com a força oclusal. Os autores concluíram, assim, que a utilização de prótese parcial dentária estimula significativamente as atividades do músculo mastigatório e do córtex pré-frontal dorsal, o que pode contribuir para a prevenção do declínio cognitivo em idosos.

Saikia et al. (2020) estudaram pacientes parcialmente edêntulos (idades entre 25 a 35 anos) que necessitavam de uma prótese fixa (ponte dentária), avaliando a função cognitiva, por um questionário de estado mental, e a atividade cerebral, por análise da densidade espectral de potência (PSD) das ondas alfa, via EEG, em três fases: pré-tratamento, imediatamente após tratamento e 3 meses após a reabilitação com registos antes e após mastigação.

As médias PSD ( $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ )  $\pm$  desvio padrão da foram:  $0,0175 \pm 0,0132$  (pré-tratamento);  $0,0178 \pm 0,0135$  (pós-tratamento); e  $0,024 \pm 0,019$  (três meses após o tratamento). Estes resultados sugerem que a atividade cerebral melhorou progressivamente após a reabilitação protética, sobretudo ao longo do período de adaptação funcional, indicando uma associação positiva entre reabilitação com prótese fixa e atividade cortical.

Tan et al. (2020) realizaram um estudo com 4 pacientes edêntulos (2 homens e 2 mulheres; idade média:  $73,0 \pm 1,4$  anos), submetidos a exames de fMRI durante uma tarefa de oclusão controlada, em três momentos: após três meses de uso de novas próteses totais (linha de base, T0), uma semana após a transição para sobredentaduras suportadas por implantes (T1) e seis semanas após transição (T2).

Os resultados mostraram que a atividade cortical sensorial e motora diminuiu em T1, coincidindo com a fase inicial de adaptação às sobredentaduras. Contudo, a atividade cortical motora recuperou para níveis próximos de T0 em T2, após 6 semanas. Paralelamente, registaram-se melhorias no desempenho mastigatório com a transição de próteses removíveis completas para sobredentaduras implantossuportadas. Assim, os autores concluíram que a adaptação protética induz alterações neurocognitivas dinâmicas, sendo a reorganização cortical mais evidente após 6 semanas.

Nakasato et al. (2021) avaliaram 14 pacientes idosos edêntulos (4 homens e 10 mulheres, idade média:  $80,2 \pm 5,9$  anos) que mastigaram uma pastilha elástica insípida e inodora durante os exames de ressonância magnética funcional antes e três meses após a colocação de próteses totais novas. Os resultados mostraram que o uso de próteses novas durante a mastigação de pastilhas esteve associada a níveis de atividade cerebral significativamente mais elevados no giro pré central (Pre CG), putâmen, cerebelo e lobo parietal inferior, em comparação com o uso das próteses antigas. A atividade eletromiográfica (EMG) dos músculos masséteres também foi significativamente maior quando os pacientes utilizavam próteses novas, apresentando uma correlação positiva com o sinal de fMRI em regiões do cérebro como o hipocampo, o giro parahipocampal e o giro pós central (Post CG). Contudo, os autores não esclareceram se essa correlação derivava de dados obtidos com próteses antigas, novas ou da comparação entre ambas. Além disso, os pacientes que utilizaram próteses novas, apresentaram melhoria nas funções cognitivas, nomeadamente na atenção visual e na memória, avaliadas por testes neuropsicológicos (*Trail-Making Test Part A*, TMT-A; Teste de Aprendizagem Auditiva Verbal de Rey, RAVLT; e Teste de Figura Complexa de Rey-Osterrieth, R-OCFT). Os autores concluíram que a utilização de próteses completas de qualidade melhorada (novas versus antigas), estava associada a uma melhoria na função do músculo masséter, a um aumento da atividade cerebral em resposta à mastigação e pode ser benéfica para as funções cognitivas como a atenção e a memória em idosos.

Verma et al. (2021) estudaram 12 pacientes edêntulos (idade média: 59,2 anos) que reabilitados inicialmente com próteses totais convencionais. Após três meses de uso, os pacientes realizaram uma tarefa de oclusão controlada durante exames de fMRI, comparada com o repouso, para registar a atividade cerebral. Após o exame inicial, receberam sobredentaduras mandibulares suportadas por implantes e foram novamente avaliados três meses após a adaptação. A atividade cerebral observada por fMRI foi

classificada numa escala de 0 (ausente, leve e forte). Os resultados mostraram que, após três meses de uso de sobredentaduras mandibulares suportadas por implantes, os pacientes apresentaram uma atividade cerebral sensoriomotora significativamente mais forte, como no Pre-CG, Post-CG, hipocampo, ínsula, lobo frontal e lobo temporal. Os autores sugeriram que o aumento da atividade observada no hipocampo e na ínsula, pode indicar efeitos benéficos na memória, potencialmente reduzindo o risco de demência, em comparação com a reabilitação apenas com próteses completas.

Padmanabhan et al. (2022) avaliaram 10 pacientes edêntulos (4 homens e 6 mulheres, faixa etária: 62–91 anos, totalmente edêntulos >1 ano) submetidos a exames de fMRI enquanto mastigavam uma pastilha elástica. O protocolo incluiu três momentos: fase de edêntulismo (T0), após 3 meses com próteses totais (T2) e após 3 meses com sobredentaduras suportadas por implantes (T3). Os resultados mostraram que a atividade no córtex pré-frontal foi significativamente reduzida quando os pacientes usaram sobredentaduras suportadas por implantes (T3), em comparação com T0 (edêntulo). Além disso, nos pacientes com sobredentaduras suportadas por implantes a atividade na ínsula foi mais elevada, mas mais baixa no hipocampo, em comparação com os que usavam próteses totais. Os autores interpretaram estes resultados como indicativos de que as sobredentaduras suportadas por implantes podem promover uma mastigação mais regular e automatizada, resultando numa redução relativa da ativação cortical, quando comparadas com próteses totais.

No estudo de Koseki et al. (2023) foram avaliados 13 indivíduos (6 homens e 7 mulheres, média de idade  $64,1 \pm 5,8$  anos) com perda da função mastigatória decorrente de edentulismo, comparados com um grupo controlo composto por 11 indivíduos saudáveis (6 homens e 5 mulheres, média de idade  $47,6 \pm 2,4$  anos). Foram registadas medidas de EEG (ondas  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  e a relação  $\alpha/\beta$ ) antes do início do tratamento com implantes dentários e mensalmente, durante seis meses.

Os resultados iniciais mostraram que, em comparação com o grupo controlo, os participantes edêntulos apresentavam uma redução significativa nas ondas  $\theta$  e  $\alpha$ , aumento das ondas  $\beta$  e diminuição da relação  $\alpha/\beta$ . Ao longo do tratamento reabilitador, observou-se um aumento progressivo das ondas  $\theta$  e  $\alpha$ , bem como uma redução das ondas  $\beta$ , embora estas diferenças não tenham atingido significância estatística. Por outro lado, a relação  $\alpha/\beta$  apresentou aumento significativo a partir do quinto mês pós-tratamento ( $p < 0,05$ ) e manteve-se elevada no sexto mês ( $p < 0,01$ ). Estes resultados sugerem que a perda

Adaptação neural à reabilitação oral: Uma revisão integrativa sobre neuroplasticidade em pacientes com perda dentária e implantes

dentária está associada a maior stress mental, menor estimulação cerebral e impacto funcional negativo, enquanto a restauração da função mastigatória por meio de implantes dentários pode atenuar estes efeitos, promovendo melhorias na função cerebral e na regulação do stress.

**Tabela 4.** Características dos estudos incluídos na revisão (continua nas páginas seguintes)

<b>Autor, Ano</b>	<b>País</b>	<b>Tipo de edentulismo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Reabilitação</b>	<b>Método de análise cerebral</b>	<b>Tarefa durante a varredura</b>	<b>Condições de avaliação</b>	<b>Conclusões dos resultados</b>
<b>Yan et al., 2008</b>	China	Completo	20 (13M/7F)	Próteses totais implantossuportadas ou próteses totais convencionais	fMRI	Apertar	Com dentaduras usadas entre 8 meses e 5 anos e 8 meses	Ativação cerebral em maior proporção nos pacientes com prótese total
<b>Hosoi et al., 2011</b>	Japão	Completo	38 (10M/28F)	Próteses totais e próteses parciais	EEG	Mascar pastilha	Antes e depois tratamento da prótese total; com e sem utilização da prótese parcial	Aumento da atividade cerebral após ajuste das próteses totais e durante mastigação com próteses parciais
<b>Shoi et al., 2014</b>	Japão	Parcial	11 (1M/10F)	Próteses parciais removíveis mandibulares (PPRs) e próteses com falta de molares artificiais (arcada dentária encurtada)	fMRI	Mascar pastilha	Utilizando PPRs de arcada dentária completa e encurtada	Ativação cerebral com PPR de arcada dentária completa > PPR de arcada dentária encurtada
<b>Banu et al., 2016</b>	Índia	Completo	10 (género não reportado)	Prótese total e sobredentadura implantossuportada	EEG	Mastigação	Antes e após o tratamento protético	Amplitude e potência das ondas alfa, e pontuações cognitivas atingiram os valores mais elevados com a sobredentadura implantossuportada

<b>Autor, Ano</b>	<b>País</b>	<b>Tipo de edentulismo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Reabilitação</b>	<b>Método de análise cerebral</b>	<b>Tarefa durante a varredura</b>	<b>Condições de avaliação</b>	<b>Conclusões dos resultados</b>
<b>Kamiya et al., 2016</b>	Japão	Parcial	12 (6M/ 6F)	Próteses parciais removíveis	fNIRS	Mastigação	T0: Perda dentária; T1: Utilizando próteses dentárias	Aumento da atividade pré-frontal durante a mastigação ao usar próteses dentárias
<b>Perumal et al., 2016</b>		Completo	20 (género não reportado)	Prótese total	EEG	Mastigar goma de parafina	Antes do tratamento protético e 2 meses após	Melhoria funcional na função cerebral de pacientes edêntulos com reabilitação de próteses totais
<b>Kobayashi et al., 2020</b>	Estados Unidos	Completo	37 (18 M/ 19F)	Prótese total	fMRI	Percussão dentária	Com e sem prótese	Redução significativa da atividade no córtex sensorial e córtex motor primário, tálamo, gânglios da base e córtex insular ( $p < 0,005$ , não corrigido)
<b>Narita et al., 2020</b>	Japão	Parcial	16 (9 M/ 7F)	Prótese parcial removível	fNIRS	4 sessões de mastigação	Repouso, com e sem prótese	O uso de prótese melhora a atividade pré-frontal quando comparado com a não utilização

<b>Autor, Ano</b>	<b>País</b>	<b>Tipo de edentulismo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Reabilitação</b>	<b>Método de análise cerebral</b>	<b>Tarefa durante a varredura</b>	<b>Condições de avaliação</b>	<b>Conclusões dos resultados</b>
<b>Saikia et al., 2020</b>	Índia	Falta de molares	15 (género não reportado)	Implantes dentários	EEG	Mastigar goma de parafina	Antes do tratamento protético; após o tratamento protético; 3 meses após o tratamento protético	Melhoria da função cerebral com reabilitação
<b>Tan et al., 2020</b>	Austrália	Completo	4 (2M, 2F)	Prótese total seguida por sobredentadura suportada por implantes	fMRI	Apertar, tarefa de desempenho contínuo	3 meses após o uso de prótese total, 1 semana após o uso do sobredentadura suportada por implantes e 6 semanas após o uso de sobredentadura suportada por implantes	Ativação cerebral em 1 semana com sobredentadura suportada por implantes < prótese total, mas de volta ao nível normal em 6 semanas com sobredentadura suportada por implantes
<b>Nakasato et al., 2021</b>	Japão	Completo	14 (4M, 10F)	Prótese Total	fMRI	Mascar pastilha	Com prótese total antiga e 3 meses após adaptação a nova prótese total	Ativação cerebral com prótese total nova > prótese total antiga

<b>Autor, Ano</b>	<b>País</b>	<b>Tipo de edentulismo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Reabilitação</b>	<b>Método de análise cerebral</b>	<b>Tarefa durante a varredura</b>	<b>Condições de avaliação</b>	<b>Conclusões dos resultados</b>
<b>Verma et al., 2021</b>	Índia	Completo	12 (género não relatado)	Prótese total seguida por sobredentadura suportada por implantes	fMRI	Oclusão	3 meses após o uso de prótese total e 3 meses após uso do implantossuportada > sobredentadura implantossuportada	Ativação cerebral com sobredentadura implantossuportada > prótese total
<b>Padmanabhan et al., 2022</b>	Índia	Completo	10 (4M/6F)	Prótese completa seguida de prótese implantossuportada	fMRI	Mascar pastilha e recuperação de memória	T0: Completamente Desdentado; T1: após três meses de utilização de Próteses Completas Convencionais; T2: após três meses de utilização de próteses Implantossuportadas.	ativação cerebral com próteses implantossuportadas > edêntulo; Pontuação MMSE (mediana): antes do tratamento (20,5) < prótese total (24,0) < próteses implantossuportadas (25,5)

<b>Autor, Ano</b>	<b>País</b>	<b>Tipo de edentulismo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Reabilitação</b>	<b>Método de análise cerebral</b>	<b>Tarefa durante a varredura</b>	<b>Condições de avaliação</b>	<b>Conclusões dos resultados</b>
<b>Koseki et al., 2023</b>	Japão	Completo	13 (6M/7F)	Implantes	EEG	Repouso	Antes do início do tratamento com implantes dentários e mensalmente, durante seis meses	Aumento progressivo nas ondas $\theta$ e $\alpha$ e uma redução das ondas $\beta$ , embora sem significância estatística

**Legenda:** EEG (Eletroencefalograma); fMRI (ressonância magnética funcional – do inglês *Functional magnetic resonance imaging*); fNIRS (Espectroscopia funcional do infravermelho próximo – do inglês *functional near-infrared spectroscopy*); PPR (prótese parcial removível);

### 2.3. Discussão

A presente revisão integrativa evidencia um consenso na literatura sobre a capacidade de neuroplasticidade em pacientes reabilitados com próteses dentárias, especialmente implantes dentários, com impactos na função mastigatória e na percepção sensorial oral. Os estudos analisados indicam que a reabilitação oral pode promover reorganizações funcionais no sistema nervoso central e periférico, resultando em ganhos clínicos relevantes.

Além do impacto na atividade neural, a reabilitação com próteses dentárias proporciona benefícios adicionais, incluindo o desempenho mastigatório, conforto, saúde sistêmica e qualidade de vida, que inclui fatores como estética, autopercepção funcional e bem-estar psicossocial (Sikri et al., 2025). Portanto, espera-se que a reabilitação protética contribua para a melhoria da saúde sistêmica e oral.

Técnicas não invasivas, como o EEG, a fNIRS e a fMRI são normalmente utilizadas para monitorizar a atividade cerebral. O EEG tem a vantagem pela sua capacidade de análise refinada da atividade cerebral em resposta a um determinado estímulo cognitivo, embora apresente uma menor resolução espacial comparado com o fNIRS ou o fMRI.

De forma consistente, os estudos demonstram que a reabilitação oral ativa áreas corticais relacionadas ao controlo motor e à propriocepção oral. Contudo, ao comparar os diferentes tipos de reabilitação, verifica-se um gradiente de eficácia: as próteses removíveis proporcionam algum restauro funcional, mas de forma incompleta; as próteses totais melhoram mais significativamente a ativação cortical; e as próteses implantossuportadas aproximam-se mais do padrão fisiológico observado em indivíduos dentados, tanto no córtex somatossensorial como em áreas associadas à memória e à atenção. Esta análise comparativa reforça que o tipo de prótese não é apenas uma escolha mecânica, mas um determinante neurológico na qualidade da reabilitação.

Um dos primeiros estudos a evidenciar esta relação foi conduzido por Hosoi et al. (2011), que demonstrou que ajustes em próteses totais e o uso de próteses parciais eram já suficientes para aumentar a atividade cerebral. Tal fato evidencia que mesmo pequenas melhorias funcionais na mastigação têm impacto direto na estimulação cortical. Este resultado pioneiro reforça a noção que intervenções protéticas simples podem desencadear respostas neuroplásticas relevantes.

Numa abordagem complementar, Yan et al. (2008) recorreram à ressonância magnética funcional (fMRI) para avaliar pacientes edêntulos reabilitados com próteses totais implantossuportadas e verificaram uma ativação cerebral mais ampla em regiões relacionadas não apenas com o controlo motor, mas também com a linguagem e memória. Entre estas áreas destacam-se o córtex pré-frontal, a área de Broca, a ínsula, os gânglios da base e o hipocampo. Estes resultados foram fundamentais para estabelecer a hipótese de que implantes dentários restauram de forma mais completa o *feedback* sensorial e motor, induzindo uma reorganização cortical mais próxima da fisiologia natural.

Shoi et al. (2014) observaram que pacientes com próteses parciais removíveis completas apresentaram uma maior ativação cerebral durante a mastigação em comparação com aqueles com próteses que simulavam uma arcada encurtada, sugerindo que o restabelecimento completo da função mastigatória induz uma resposta cortical mais robusta.

Resultados semelhantes foram relatados por Kamiya et al. (2016), que, utilizando fNIRS, demonstraram um aumento da atividade pré-frontal durante a mastigação após a instalação de próteses parciais removíveis. Estes resultados indicam não só a restauração funcional da mastigação, mas também o envolvimento de processos cognitivos associados à atenção e ao controlo motor fino.

Perumal et al. (2016) corroboraram esses resultados ao demonstrar, através de EEG, uma melhoria funcional da atividade cerebral após a instalação de próteses totais, embora sem detalhar as áreas corticais específicas que estavam envolvidas.

Os estudos de Narita et al. (2020) e Padmanabhan et al. (2022) aprofundaram a análise utilizando métodos de neuroimagem funcional mais sofisticados, como o fMRI e o EEG, demonstrando alterações na atividade do córtex pré-frontal e motor após a reabilitação. Narita et al. (2020) relataram um aumento da atividade pré-frontal durante sessões de mastigação com prótese removível, sugerindo que a reabilitação restaura parcialmente os circuitos envolvidos no processamento sensoriomotor.

Padmanabhan et al. (2022) realizaram uma avaliação longitudinal mais completa, comparando indivíduos completamente desdentados, com prótese total convencional e com prótese implantossuportada. Os resultados deste estudo indicaram que a mastigação com prótese implantossuportada gera um padrão de ativação mais próximo do fisiológico, enquanto a recuperação de memória também foi beneficiada, com aumento das

pontuações no Mini-Exame de Estado Mental (MMSE). Este facto sugere que a reabilitação oral não só melhora a função mastigatória, como também pode influenciar positivamente a cognição.

Também Banu et al. (2016) demonstraram que sobredentaduras mandibulares suportadas por dois implantes aumentam a amplitude das ondas alfa e melhoram o desempenho cognitivo (MMSE), em comparação ao estado edêntulo e ao uso de próteses convencionais, sugerindo uma reorganização adaptativa do sistema nervoso central após a reabilitação.

De forma complementar, o estudo de Kobayashi et al. (2020) utilizou fMRI para analisar a atividade cerebral durante a percussão dentária (“*teeth tapping*”) em diferentes grupos etários e condições dentárias. Os resultados mostraram que adultos jovens dentados ativaram principalmente o córtex sensorial primário e motor primário, enquanto idosos dentados apresentaram ativação mais extensa, incluindo também o córtex insular, SMC/PMA, cerebelo, tálamo e gânglios da base. Em contraste, idosos edêntulos com prótese apresentaram redução significativa de atividade em várias dessas regiões, sugerindo que a perda de aferências periodontais, mesmo com prótese, impacta negativamente o controlo motor e sensorial oral.

Saikia et al. (2020) e Tan et al. (2020) confirmaram, através de EEG e fMRI, respetivamente, que a mastigação com implantes dentários ativa áreas sensoriais semelhantes às dos indivíduos com dentição natural. Tan et al. (2020) demonstraram que a ativação cerebral após a instalação de sobredentaduras implantossuportadas inicialmente diminui, mas retorna aos níveis normais após seis semanas, sugerindo que existe um período de adaptação neurofuncional.

Do mesmo modo, Nakasato et al. (2021) demonstraram que a utilização de novas próteses totais promove uma maior ativação cerebral em comparação com próteses antigas, indicando que a adaptação à prótese influencia diretamente a plasticidade neural.

Verma et al. (2021) reforçaram esses resultados ao mostrar que as sobredentaduras implantossuportadas provocam uma maior ativação cortical durante oclusão do que as próteses totais convencionais, destacando o papel do tipo de reabilitação na qualidade do feedback sensorial.

Os estudos selecionados também mostram que o tipo de prótese influencia diretamente a qualidade do feedback neurosensorial. As próteses removíveis convencionais, apesar de

melhorarem a função mastigatória, não restituem completamente a propriocepção devido à ausência de ligamento periodontal. Já as próteses implantossuportadas (*overdentures*) proporcionam um retorno sensorial mais próximo do fisiológico, apesar de ainda limitado.

Os estudos de Yan et al. (2008), Padmanabhan et al. (2022), Verma et al. (2021) e Tan et al. (2020) demonstraram que a presença de implantes proporciona uma estimulação mais próxima da fisiológica, promovendo uma reorganização cortical mais eficiente do córtex sensorio-motor. Koseki et al. (2023) acrescentam a este corpo de evidências a demonstração de que a reabilitação com implantes influencia não apenas a atividade cortical (aumento da relação  $\alpha/\beta$  e redução de ondas associadas ao stress), mas também parâmetros fisiológicos, como a diminuição significativa dos níveis de cortisol salivar após 3 a 4 meses, reforçando o papel da mastigação na modulação do stress e na manutenção de um estado neurofuncional saudável.

Por outro lado, alguns estudos incluídos nesta revisão integrativa também evidenciam que a plasticidade sensorial parece ser mais lenta ou incompleta em comparação com a plasticidade motora. Kamiya et al. (2016) e Nakasato et al. (2021) relataram um retorno parcial da sensibilidade na região peri-implantar e maior ativação cerebral apenas com próteses novas, indicando que o processo de adaptação sensorial pode ser mais lento.

Esta revisão integrativa foi guiada por duas hipóteses: (1) a instalação de implantes dentários promove adaptações neurofuncionais positivas em áreas corticais relacionadas à mastigação e percepção oral; e (2) métodos neurofisiológicos objetivos, como EEG e fMRI, são mais sensíveis à detecção de alterações neuroplásticas do que avaliações clínicas subjetivas.

A análise dos estudos incluídos fornece um apoio sólido à primeira hipótese. Diversos trabalhos com recurso a técnicas de neuroimagem funcional demonstraram que pacientes reabilitados com implantes dentários ou próteses apresentam padrões de ativação cortical comparáveis aos observados em indivíduos com dentição natural. Yan et al. (2008) mostraram ainda que as próteses implantossuportadas induzem uma reorganização mais ampla, incluindo áreas relacionadas à cognição e memória. Shoi et al. (2014) observaram que a mastigação com prótese completa resultava em ativação significativa do córtex frontal médio, em contraste com pacientes com próteses reduzidas. De modo semelhante, os estudos de Kamiya et al. (2016) e Narita et al. (2020) demonstraram aumento da

atividade nas áreas pré-frontais e somatossensoriais após reabilitação, evidenciando que a estimulação mastigatória pode restaurar, pelo menos em parte, circuitos corticais envolvidos no controlo motor oral e na percepção sensorial.

Corroborando estas conclusões, Nakasato et al. (2021) reportaram que a reabilitação com próteses fixas levou a uma ativação mais ampla e intensa do córtex pré-central e pós-central em comparação com as sobredentaduras, sugerindo que o tipo de prótese influencia a qualidade do feedback sensorial transmitido ao sistema nervoso central. Estes dados sustentam a ideia de que os implantes dentários, ao proporcionarem uma estimulação mais próxima da fisiológica, promovem uma reorganização funcional mais eficiente do córtex sensório-motor.

Também revisões sistemáticas presentes na literatura demonstram que a mastigação eficiente ativa não apenas as vias trigeminais, mas também estruturas como o hipocampo e o córtex pré-frontal dorsolateral, que são regiões associadas à memória e à atenção. Sikri et al. (2025) e Ahmed et al. (2021), analisaram a relação entre a utilização de próteses e a preservação cognitiva em idosos.

Na revisão sistemática de Sikri et al. (2025) foram incluídos 13 estudos que abordavam a relação entre próteses dentárias removíveis e alterações cerebrais em pacientes edêntulos.

Também a revisão sistemática de Ahmed et al. (2021), que incluiu 15 estudos, descobriu que as próteses dentárias podem melhorar a função cognitiva em pacientes com doenças relacionadas à demência e condições neurodegenerativas, atuando como um fator de proteção contra o declínio cognitivo.

Estes estudos (Ahmed et al., 2021; Sikri et al., 2025) propõem então que a perda dentária, ao reduzir o estímulo sensorial e motor proporcionado pela mastigação, pode acelerar o declínio cognitivo. Em contrapartida, a reabilitação com próteses eficazes, especialmente as implantossuportadas, contribui para a manutenção da função cognitiva através da reativação de vias neurosensoriais e do aumento do fluxo sanguíneo cerebral durante a mastigação.

Também a revisão de Yeung & Leung (2023) identificou nove estudos publicados entre 2008 e 2022 que utilizaram ressonância magnética funcional (fMRI). Destes, oito incluíram pacientes totalmente edêntulos e apenas um avaliou indivíduos parcialmente edêntulos. Os estudos demonstraram que próteses fixas implantossuportadas estão associadas a níveis superiores de atividade cerebral em regiões sensoriais e motoras,

quando comparadas a *overdentures* e próteses totais convencionais. Além disso, as análises que envolveram a mastigação de alimentos sugeriram que áreas como os giros frontais medial e médio desempenham um papel importante na trituração e mistura dos alimentos, sendo mais eficazmente ativadas em casos de reabilitação total da arcada.

A segunda hipótese, relativa à superioridade dos métodos neurofisiológicos, também foi amplamente validada. Estudos com eletroencefalografia (EEG), como os de Saikia et al. (2020) e Padmanabhan et al. (2022), mostraram alterações na conectividade funcional e na atividade elétrica cerebral durante a mastigação em pacientes reabilitados, alterações essas que não eram detetáveis através de métodos clínicos convencionais. Estes resultados destacam a sensibilidade do EEG para captar modificações neuroplásticas precoces, reforçando o seu valor como ferramenta diagnóstica complementar na avaliação da eficácia de tratamentos reabilitadores orais.

### ***Limitações Metodológicas Comuns***

Embora os resultados sejam promissores, os estudos analisados apresentam limitações que impactam a generalização dos seus resultados. Uma das principais limitações é o tamanho amostral reduzido, já que a maioria dos estudos avaliou entre 10 a 40 pacientes, o que compromete a robustez estatística e dificulta a obtenção de conclusões aplicáveis na generalidade da população. Além disso, muitos dos estudos carecem de um grupo controle adequado, o que dificulta a distinção entre os efeitos diretamente atribuídos à reabilitação oral e aqueles decorrentes de outras variáveis externas ou do próprio processo de adaptação espontânea do sistema nervoso.

Outra limitação relevante é o viés geográfico: a maior parte dos estudos foi realizada no Japão e na Índia, o que levanta dúvidas quanto à generalização dos resultados para outras populações, dado que fatores culturais e alimentares podem influenciar a mastigação e o estímulo neurosensorial. Além disso, não há padronização nos métodos de avaliação da propriocepção peri-implantar, o que dificulta a comparação direta entre os trabalhos e limita a elaboração de protocolos clínicos uniformes

Outro fator limitante é o curto período de acompanhamento observado em estudos como os de Shoi et al. (2014), Tan et al. (2020) e Kamiya et al. (2016), o que impede a avaliação da manutenção das alterações neuroplásticas a longo prazo.

Além disso, há ainda uma considerável variabilidade metodológica entre os estudos, tanto nas técnicas de avaliação utilizadas – como EEG, fMRI, escalas subjetivas e testes de

força mastigatória – quanto nos protocolos de intervenção, o que dificulta a comparação direta dos resultados e a extrapolação clínica dos dados obtidos. Também se observou a ausência de padronização quanto à localização dos implantes, ao tempo de edentulismo prévio e ao tipo de prótese utilizada (fixa ou removível), fatores que podem interferir diretamente na resposta neuroplástica que pode ser observada.

#### *Perspetivas Futuras e Relevância Clínica*

Os estudos convergem na indicação de que novas abordagens clínicas e científicas podem otimizar a adaptação neural em reabilitação oral. Futuras investigações devem explorar a relação entre a reabilitação oral e prevenção de doenças neurodegenerativas, como Alzheimer e Parkinson, e avaliar se a reabilitação pode ter um papel terapêutico adjuvante assim como devem ser realizados estudos multicêntricos e randomizados, para uma maior representatividade populacional.

Além disso, o desenvolvimento de “próteses inteligentes”, com sensores de pressão ou vibração, capazes de fornecer estímulos aferentes similares aos dos dentes naturais, pode vir a otimizar a plasticidade neural pós-reabilitação, como sugerido por Verna et al. (2021).

Em síntese, os estudos analisados apontam para uma capacidade consistente de neuroplasticidade induzida pela reabilitação oral com implantes, particularmente na função mastigatória e em aspetos sensoriais. Contudo, a diversidade metodológica e limitações amostrais reforçam a necessidade de ensaios clínicos controlados e padronizados que explorem com mais profundidade os mecanismos e moduladores dessa plasticidade.

Do ponto de vista clínico, os resultados desta revisão sugerem que a escolha por reabilitações implantossuportadas pode ter impacto não apenas na mastigação, mas também na preservação cognitiva em populações idosas. Isto abre caminho para protocolos que incluam o acompanhamento neurofuncional dos pacientes, por exemplo através de EEG ou testes cognitivos periódicos, de modo a avaliar a eficácia da reabilitação também sob a perspectiva neurológica. Além disso, o desenvolvimento de próteses inteligentes, equipadas com sensores capazes de mimetizar estímulos periodontais, representa uma oportunidade futura de personalizar a estimulação neurosensorial e otimizar a neuroplasticidade.

### 3. CONCLUSÃO

Com base na questão de investigação e nos estudos analisados, os dados revistos sugerem que a reabilitação protética preserva e recupera as funções cerebrais em indivíduos com perda dentária. A literatura consultada apoia consistentemente a hipótese de que a reabilitação oral induz uma reorganização funcional nas redes neurais sensório-motoras, o que se traduz em melhorias objetivas na função mastigatória e na percepção sensorial oral. Através da análise de estudos com neuroimagem funcional (EEG e fMRI), verificou-se que a atividade cerebral dos participantes reabilitados com diferentes tipos de próteses dentárias aumenta em comparação com a condição de edentulismo. Esta revisão evidencia que a mastigação deve, de facto, ser entendida como um estímulo neurosensorial essencial para a manutenção da função cerebral, servindo como uma base para a preservação cognitiva.

Apesar dos resultados promissores, é crucial reconhecer as limitações metodológicas identificadas na literatura. A escassez de estudos longitudinais com neuroimagem funcional em humanos e a falta de padronização na avaliação da propriocepção peri-implantar dificultam a generalização dos achados. O reduzido tamanho amostral e o viés geográfico em muitos dos trabalhos analisados reforçam a necessidade de investigação futura mais robusta. Desta forma, este trabalho serve como uma justificação para a realização de ensaios clínicos controlados, com amostras maiores e metodologias uniformes, que possam consolidar estas evidências.

Em síntese, a reabilitação oral, particularmente com o uso de implantes dentários, emerge não apenas como uma solução restauradora, mas como uma intervenção potencialmente protetora contra o declínio cognitivo associado ao envelhecimento. Este é um argumento que eleva a medicina dentária a um novo patamar, onde a intersecção com a neurociência se torna um campo de intervenção essencial. Olhando para o futuro, o desenvolvimento de próteses inteligentes, equipadas com sensores capazes de mimetizar estímulos periodontais, representa uma oportunidade inovadora de personalizar a estimulação neurosensorial e otimizar a neuroplasticidade. A prática clínica deve, assim, considerar a dimensão neurológica da reabilitação oral, abrindo caminho para protocolos que integrem não só aspetos mecânicos, mas também a avaliação e o acompanhamento das respostas cerebrais.

Adaptação neural à reabilitação oral: Uma revisão integrativa sobre neuroplasticidade em pacientes com perda dentária e implantes

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, S. E., Mohan, J., Kalaignan, P., Kandasamy, S., Raju, R., & Champakesan, B. (2021). Influence of Dental Prostheses on Cognitive Functioning in Elderly Population: A Systematic Review. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 13(Suppl 1), S788–S794. [https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS\\_773\\_20](https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_773_20)
- Appelbaum, L. G., Shenasa, M. A., Stolz, L., & Daskalakis, Z. (2023). Synaptic plasticity and mental health: methods, challenges and opportunities. *Neuropsychopharmacology: official publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, 48(1), 113–120. <https://doi.org/10.1038/s41386-022-01370-w>
- Banu R, F., Veeravalli, P. T., & Kumar V, A. (2016). Comparative Evaluation of Changes in Brain Activity and Cognitive Function of Edentulous Patients, with Dentures and Two-Implant Supported Mandibular Overdenture-Pilot Study. *Clinical implant dentistry and related research*, 18(3), 580–587. <https://doi.org/10.1111/cid.12336>
- Diniz, C. R. A. F., & Crestani, A. P. (2023). The times they are a-changin': a proposal on how brain flexibility goes beyond the obvious to include the concepts of "upward" and "downward" to neuroplasticity. *Molecular psychiatry*, 28(3), 977–992. <https://doi.org/10.1038/s41380-022-01931-x>
- Hosoi, T., Morokuma, M., Shibuya, N., & Yoneyama, Y. (2011). Influence of denture treatment on brain function activity. *Japanese Dental Science Review*, 47(1), 56–66.
- Kamiya, K., Narita, N., & Iwaki, S. (2016). Improved prefrontal activity and chewing performance as function of wearing denture in partially edentulous elderly individuals: functional near-infrared spectroscopy study. *PLoS One*, 11(6), e0158070.
- Kleim, J. A., & Jones, T. A. (2008). Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage. *Journal of speech, language, and hearing research: JSLHR*, 51(1), S225–S239. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008\)018](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008)018)
- Kobayashi T, Fukami H, Ishikawa E, Shibata K, Kubota M, Kondo H & Sahara Y (2020) An fMRI Study of the Brain Network Involved in Teeth Tapping in Elderly Adults. *Front. Aging Neurosci.* 12, 32.
- Koseki, Y., Suzuki, S., Yamaguchi, T., Hu, A. & Kobayashi, H. (2023) Effects of Immediate Dental Loading Implant Therapy on Electroencephalography (EEG) and Stress. *Health*, 15, 465-474. <https://doi.org/10.4236/health.2023.156031>
- Lim, M. J., Tan, J., Robert, C., Tan, W. Y., Venketasubramanian, N., Chen, C., & Hilal, S. (2025). The effect of hippocampal subfield volumes on cognitive decline and incident dementia in a memory clinic cohort. *Journal of Alzheimer's disease: JAD*, 105(2), 538–549. <https://doi.org/10.1177/13872877251329574>
- Marzola, P., Melzer, T., Pavesi, E., Gil-Mohapel, J., & Brocardo, P. S. (2023). Exploring the Role of Neuroplasticity in Development, Aging, and Neurodegeneration. *Brain sciences*, 13(12), 1610. <https://doi.org/10.3390/brainsci13121610>
- Mateos-Aparicio, P., & Rodríguez-Moreno, A. (2019). The Impact of Studying Brain Plasticity. *Frontiers in cellular neuroscience*, 13, 66. <https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00066>
- Nakasato, A., Kobayashi, T., Kubota, M., Yamashita, F., Nakaya, T., Sasaki, M., Kihara, H., & Kondo, H. (2021). Increase in masseter muscle activity by newly fabricated complete dentures improved brain function. *Journal of prosthodontic research*, 65(4), 482–488. [https://doi.org/10.2186/jpr.JPR\\_D\\_20\\_00038](https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_20_00038)
- Narita, N., Ishii, T., Iwaki, S., Kamiya, K., Okubo, M., Uchida, T., Kantake, I., & Shibutani, K. (2020). Prefrontal Consolidation and Compensation as a Function of Wearing Denture in Partially Edentulous Elderly Patients. *Frontiers in aging neuroscience*, 11, 375. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2019.00375>
- Padmanabhan, H., Vijayakumar, S. S., N, P., & Kumar, V. A. (2022). Comparison of the effect of conventional and implant-retained overdentures on brain activity and cognition in a geriatric population - A functional MRI study. *Journal of prosthodontic research*, 66(3), 431–437. [https://doi.org/10.2186/jpr.JPR\\_D\\_21\\_00099](https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_21_00099)

- Parisi, G. I., Kemker, R., Part, J. L., Kanan, C., & Wermter, S. (2019). Continual lifelong learning with neural networks: A review. *Neural networks: the official journal of the International Neural Network Society*, *113*, 54–71. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2019.01.012>
- Perumal, P., Chander, G. N., Anitha, K. V., Reddy, J. R., & Muthukumar, B. (2016). Power spectrum density analysis for the influence of complete denture on the brain function of edentulous patients-pilot study. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, *8*(3), 187-193.
- Pickersgill, J. W., Turco, C. V., Ramdeo, K., Rehshi, R. S., Foglia, S. D., & Nelson, A. J. (2022). The Combined Influences of Exercise, Diet and Sleep on Neuroplasticity. *Frontiers in psychology*, *13*, 831819. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.831819>
- Power, J. D., & Schlaggar, B. L. (2017). Neural plasticity across the lifespan. *Wiley interdisciplinary reviews. Developmental biology*, *6*(1), 10.1002/wdev.216. <https://doi.org/10.1002/wdev.216>
- Saikia, U. P., Chander, N. G., & Balasubramanian, M. (2020). Effect of fixed dental prosthesis on the brain functions of partially edentulous patients-pilot study with power spectrum density analysis. *European Oral Research*, *54*(3), 114-118.
- Shoi, K., Fueki, K., Usui, N., Taira, M., & Wakabayashi, N. (2014). Influence of posterior dental arch length on brain activity during chewing in patients with mandibular distal extension removable partial dentures. *Journal of oral rehabilitation*, *41*(7), 486-495.
- Sikri, A., Sikri, J., Saroch, R., Gill, C. S., Gupta, R., & Pathak, C. (2025). The Relationship between Removable Dental Prostheses and Brain Activity in Elderly Individuals: Systematic Review. *Rambam Maimonides medical journal*, *16*(1), e0002. <https://doi.org/10.5041/RMMJ.10538>
- Tan, D., Foster, S., Korgaonkar, M. S., Oxenham, V., Whittle, T., & Klineberg, I. (2020). The role of progressive oral implant rehabilitation in mastication, cognition and oral health-related quality of life outcomes—A pilot to define the protocol. *Journal of Oral Rehabilitation*, *47*(11), 1368-1381.
- Verma, A., Bhatnagar, A., Kumar, I., & Verma, A. (2021). Enhancement of Sensorimotor Cortical Adaptation after Dental Implantation in Comparison to the Conventional Denture—Demonstration by Functional MRI at 1-5T. *Neurology India*, *69*(3), 665-669.
- Voss, P., Thomas, M. E., Cisneros-Franco, J. M., & de Villers-Sidani, É. (2017). Dynamic Brains and the Changing Rules of Neuroplasticity: Implications for Learning and Recovery. *Frontiers in psychology*, *8*, 1657. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01657>
- Yan, C., Ye, L., Zhen, J., Ke, L., & Gang, L. (2008). Neuroplasticity of edentulous patients with implant-supported full dentures. *European journal of oral sciences*, *116*(5), 387–393. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2008.00557.x>
- Yeung, A. W. K., & Leung, W. K. (2023). Functional Neuroplasticity of Adults with Partial or Complete Denture Rehabilitation with or without Implants: Evidence from fMRI Studies. *Nutrients*, *15*(7), 1577. <https://doi.org/10.3390/nu15071577>