

Mineralização Biológica

Prof. Rodrigo Cardoso de Oliveira



Objetivo

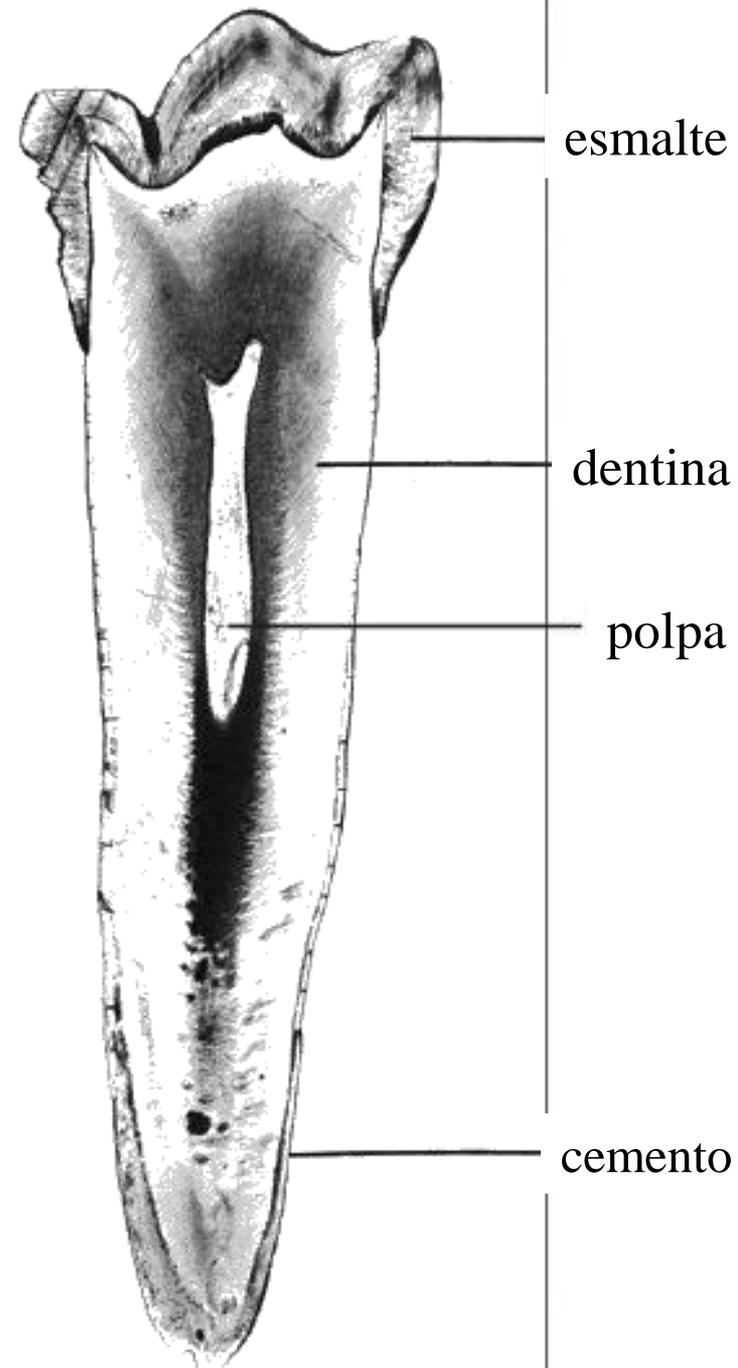
Demonstrar e discutir as principais etapas no processo de biomineralização, exemplificando com aspectos clínicos/práticos.

Objetivos de Aprendizagem

Ao final da aula o aluno deve ser capaz de reconhecer:

- principais células e moléculas envolvidas na mineralização
 - principais componentes das vesículas de matriz
 - principais etapas do processo de mineralização
- reconhecer algumas falhas nesse processo de mineralização

Biomineralização



Conceitos

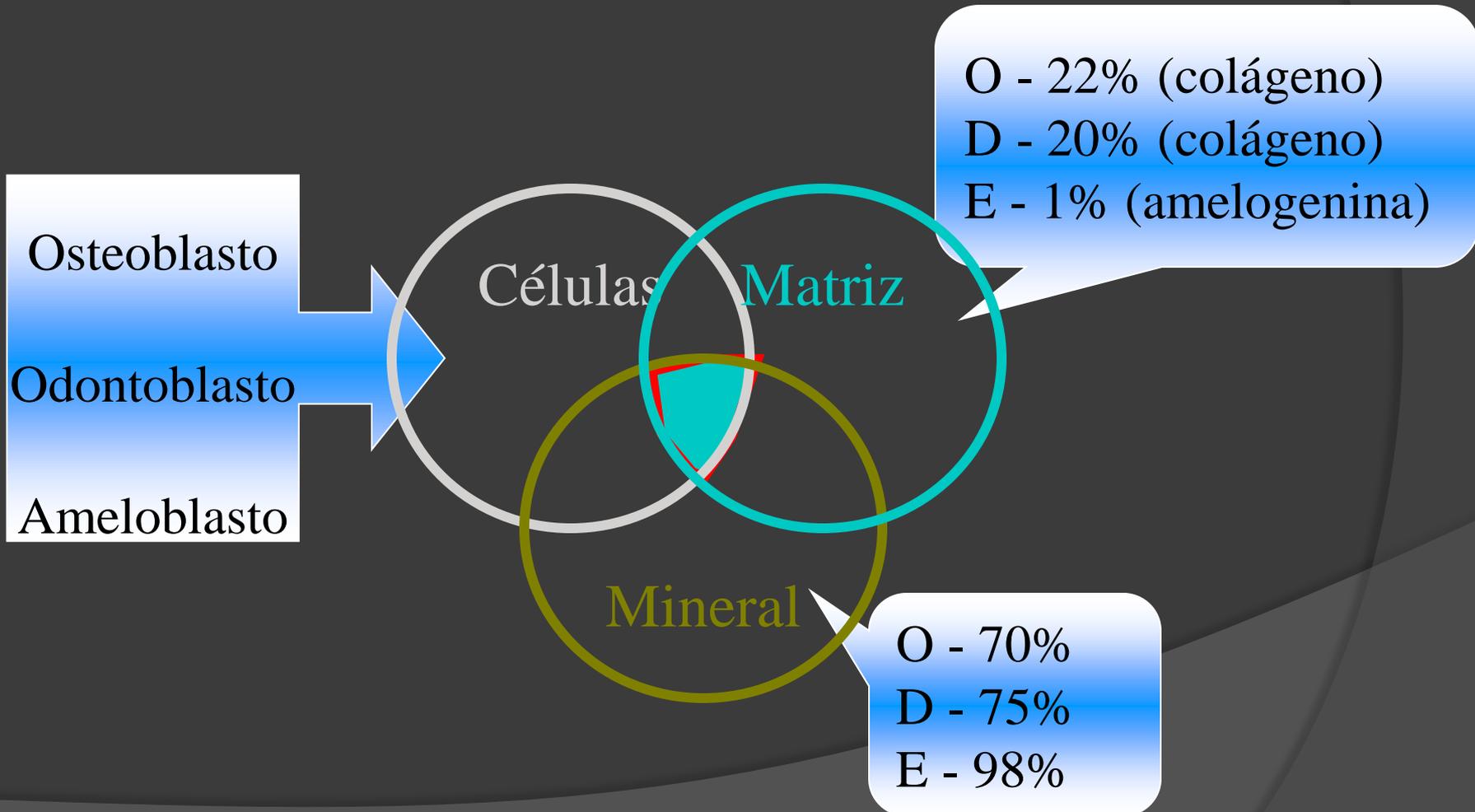
- Biomíneralização: evento coordenado por células onde há deposição de hidroxiapatita em uma matriz extracelular (Goldberg et al., 2012).
- Calcificação: deposição de cálcio e fosfato (Schoen et al., 1988; Coe et al., 1992; McCarty, 1994; Stayton et al., 2003).



Mineralização Biológica



Composição do Tecido Mineralizado

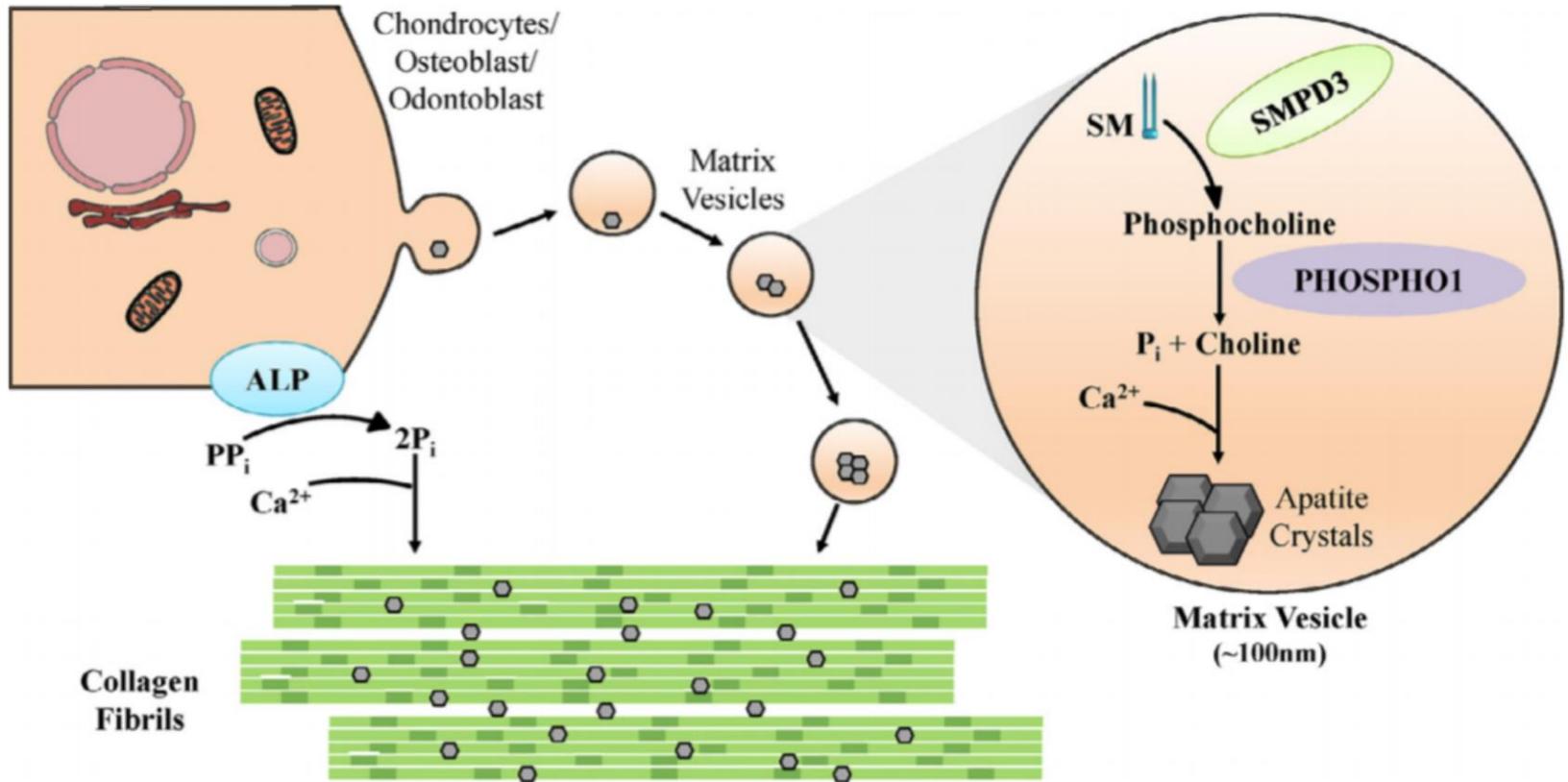


Elementos da Mineralização Biológica

- ◎ Células
 - Osteoblasto
 - Odontoblasto
 - Ameloblasto
- ◎ Matriz extracelular
 - Colágeno
 - Sialoproteína óssea
 - Fatores de crescimento (BMPs)
- ◎ Vesícula de mineralização
 - Enzimas (fosfatases)
 - Cálcio, fosfato

Etapas do processo de mineralização

- 1) Deposição de matriz extracelular (90% de colágeno + proteínas não-colágenas)
- 2) Liberação das vesículas de matriz
- 3) Deposição dos cristais de apatita
- 4) Crescimento dos cristais de apatita



Princípio da Mineralização

◎ Nucleação

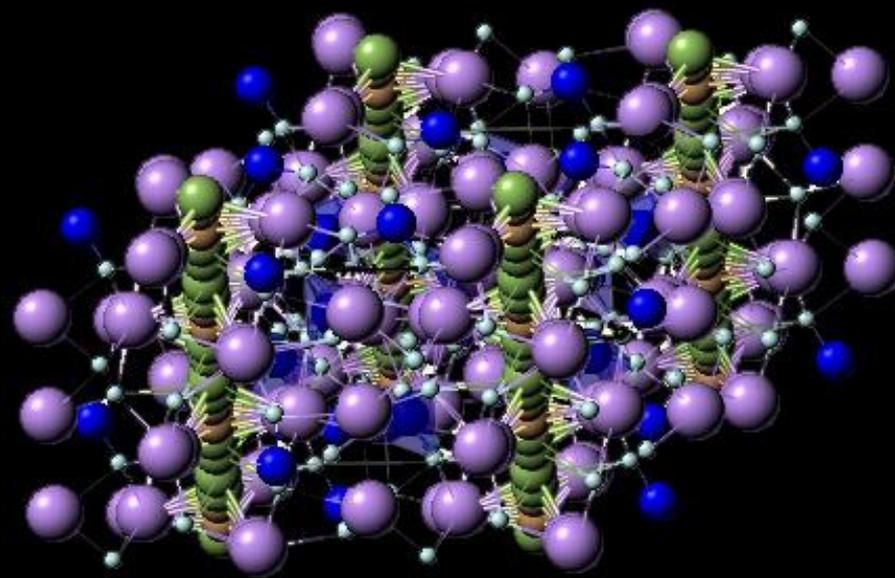
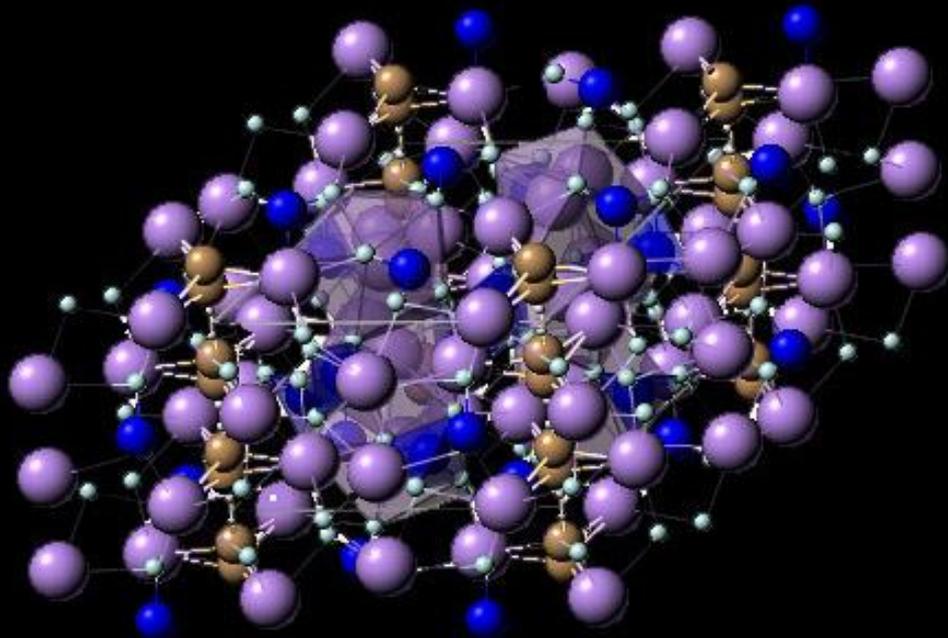
- Os íons devem estar bem próximos e ter energia de colisão suficiente e orientação adequada para a formação de núcleos críticos.
- *Núcleo Crítico: menor combinação estável de íons com a estrutura do material cristalino em solução.*
- Crescimento do cristal: A adição de mais íons ou aglomerados de íons resulta no crescimento do cristal.

Teorias de Mineralização

◎ Teoria da Nucleação

- **Homogênea:** as concentrações dos íons cálcio e fosfato se elevam até o nível de precipitação espontânea.

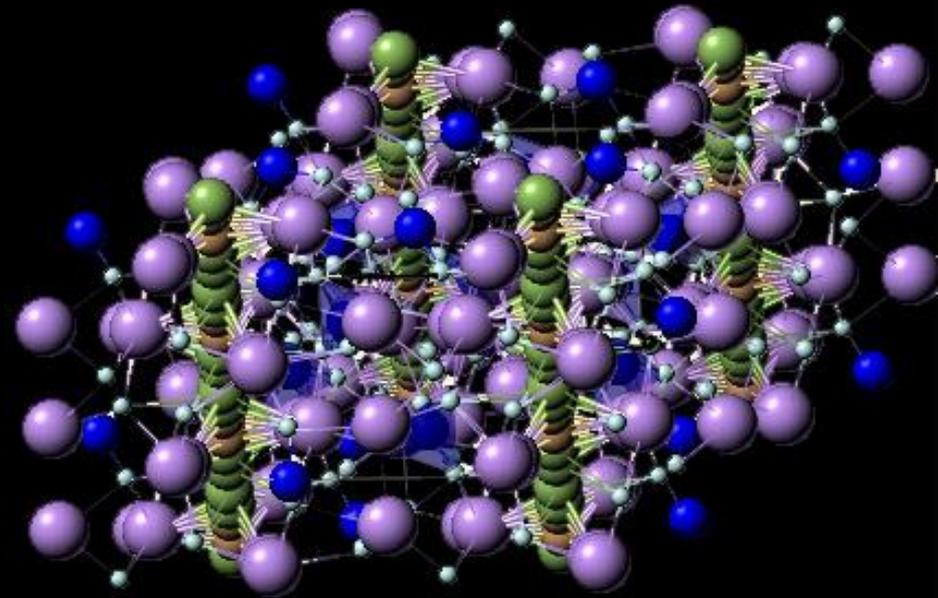
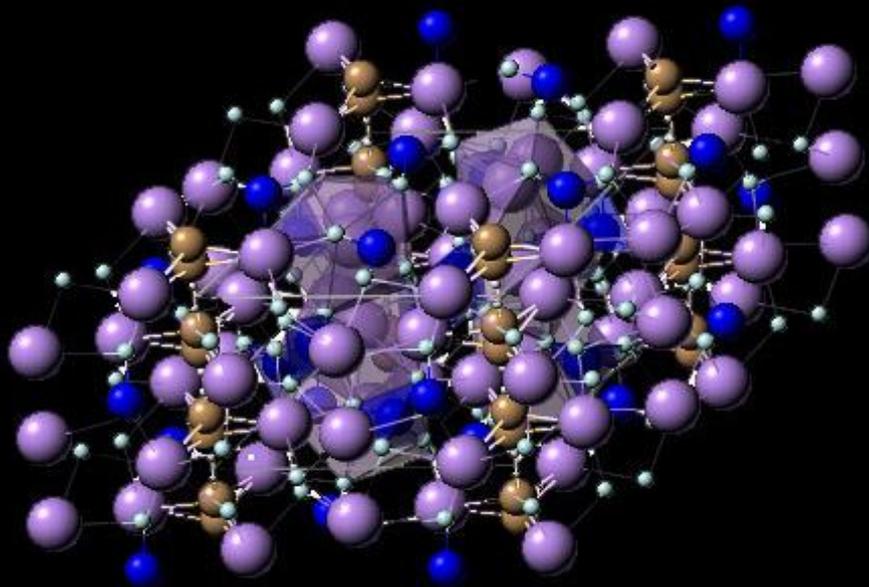
Nucleação Homogênea



Teorias de Mineralização

- Teoria da Nucleação
 - *Heterogênea*: a presença de um catalisador reduz a energia de ativação necessária para a precipitação dos sais de fosfato de cálcio que estão em concentrações baixas (concentração metastável), abaixo do nível crítico de saturação necessária para a precipitação espontânea.

Nucleação Heterogênea



Teorias de Mineralização

○ Teoria da Vesícula

- Formação de vesículas intracelulares ricas em minerais e enzimas (ATPase e fosfatase alcalina)
- Brotamento de vesículas no meio extracelular a partir da membrana (rica em fosfolipídios)
- Rompimento da vesícula no fronte de mineralização
- Liberação dos sais de fosfato de cálcio

Vesículas de Matriz

- 1) Fosfatase alcalina (TNAP)
 - 2) Anexinas (I-V)
 - 3) NPP1 - nucleotídeo pirofosfatase fosfodiesterase 1
 - 4) ANKH - ankylosis human
- ⦿ **Funções:** obtenção/disponibilização e transporte de íons fosfato

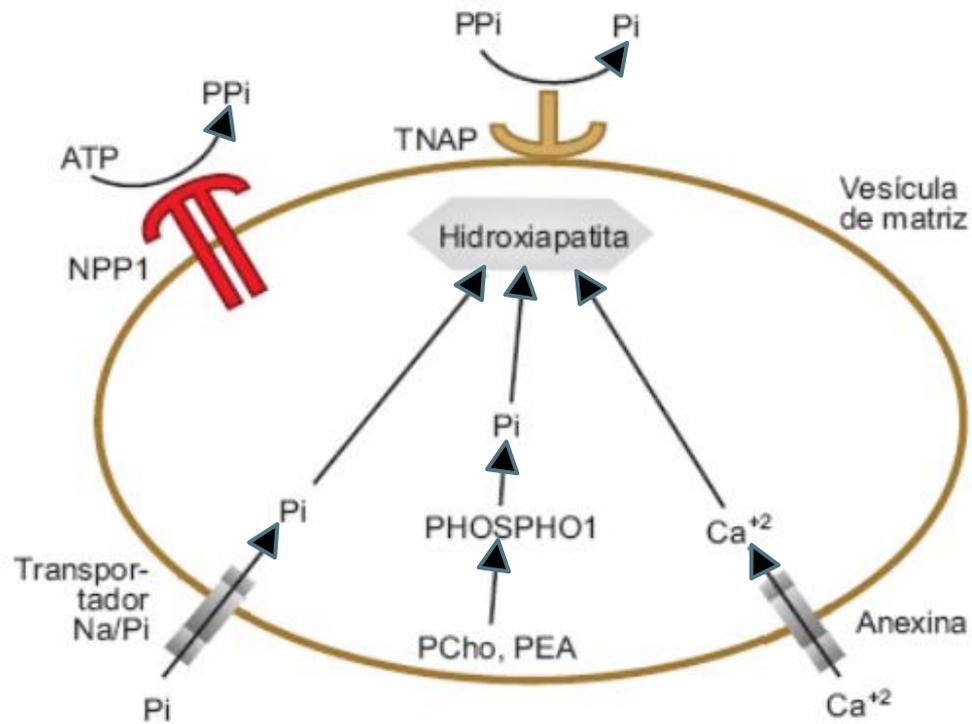
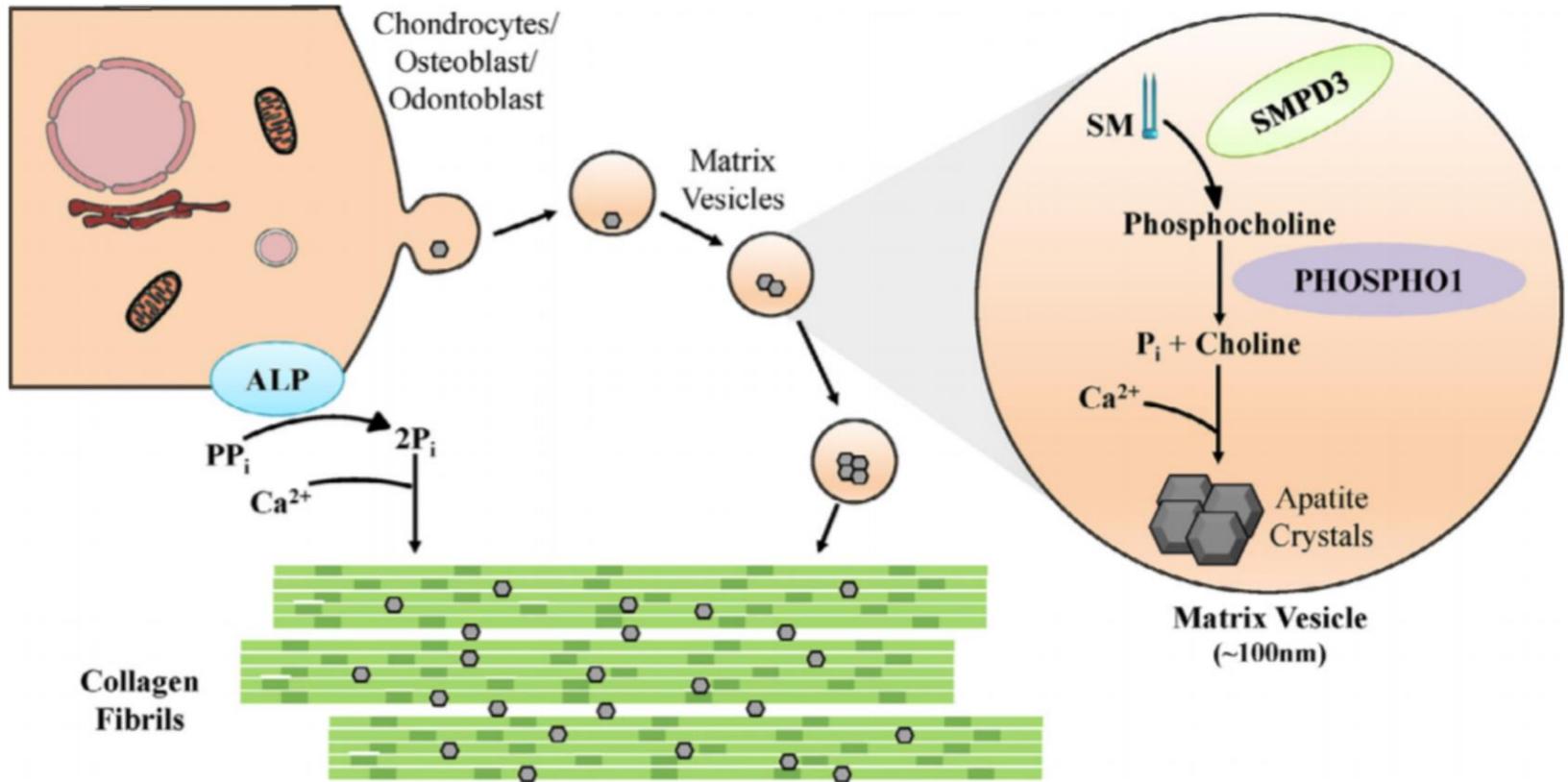
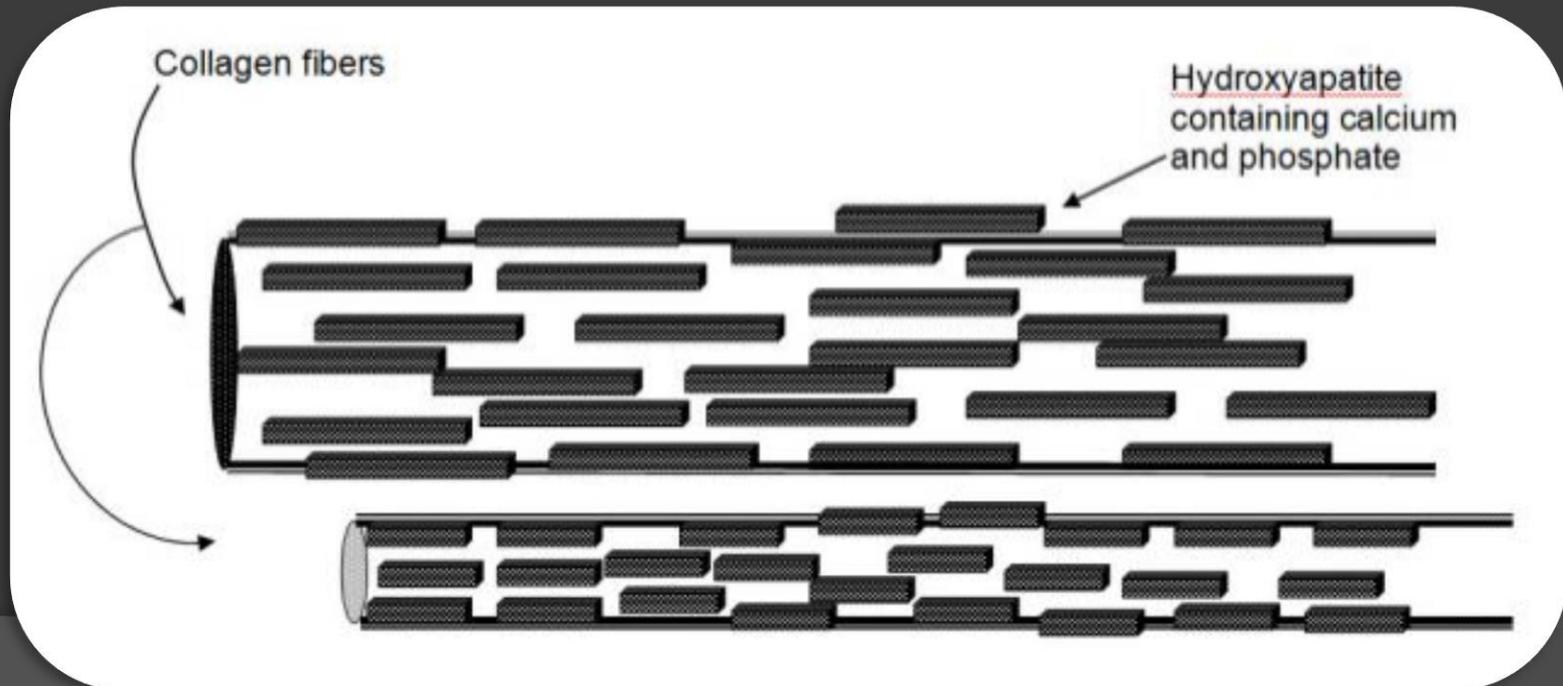


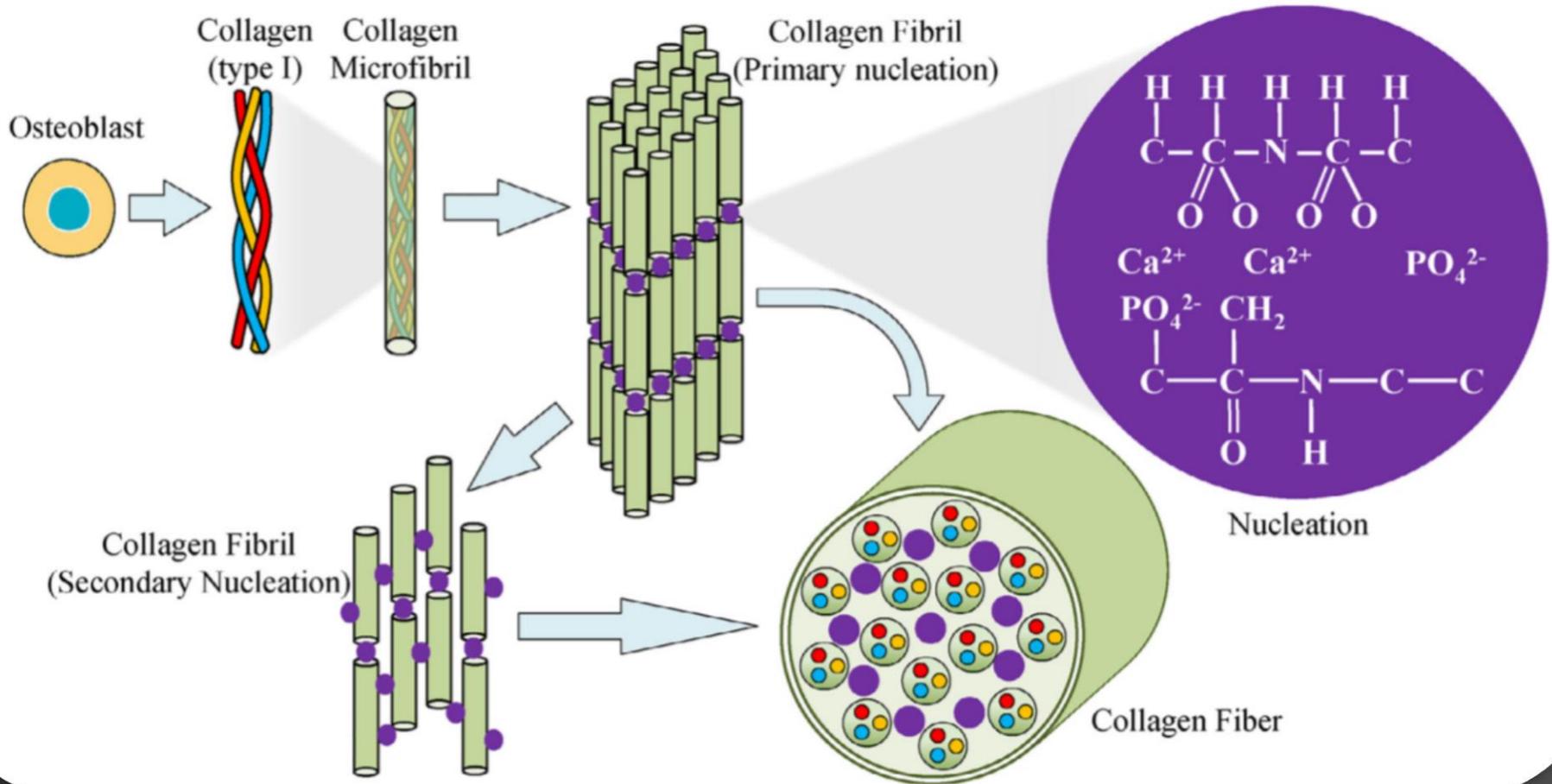
Figura 11.1 Esquema da vesícula de matriz e seus principais componentes. Note a dinâmica do transporte de íons cálcio e fósforo. Pi: fósforo inorgânico; PPI: pirofosfato inorgânico; TNAP: fosfatase alcalina tecido-inespecífica; NPP1: nucleotídeo pirofosfatase fosfodiesterase 1; PCho: fosfatidilcolina; PEA: fosfatidiletanolamina.



Teorias de Mineralização

- ◉ Papel do colágeno
 - Tamanho das fibras (640 a 700 Å)
 - Presença de zonas de buraco (6 Å)





Teorias de Mineralização

- ◉ Por que a pele e os tendões não se Mineralizam?
 - Tamanho das fibras (< 640 e > 700 Å)
 - Presença de pequenas zonas de buraco (3 Å)
 - Tamanho do íons fosfato (4 Å)
 - Presença de inibidores de mineralização (ATP e pirofosfatos)
 - *Alteração dos inibidores em tecidos moles – Calcificação patológica*

Mineralização Biológica

Matriz inorgânica

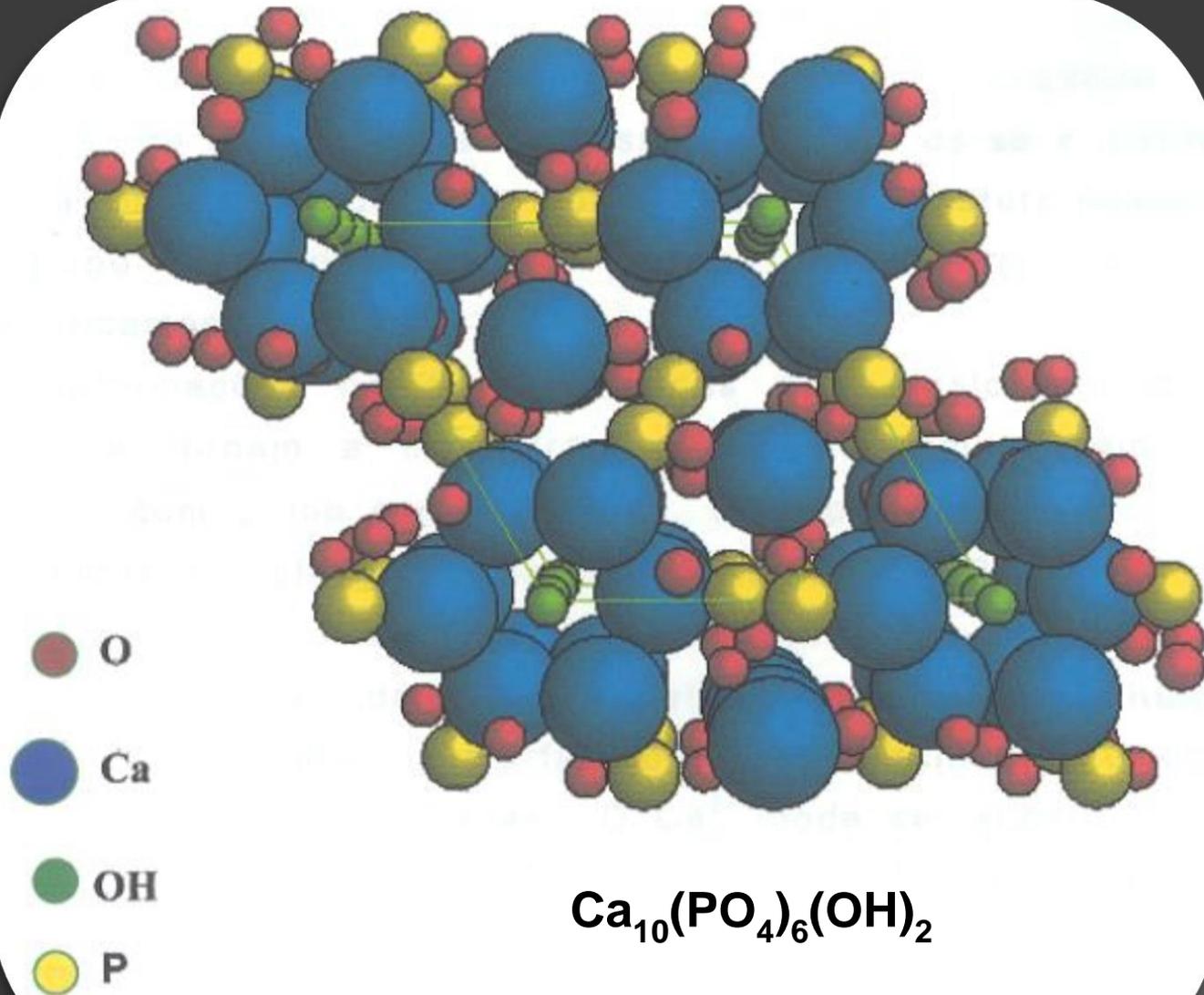
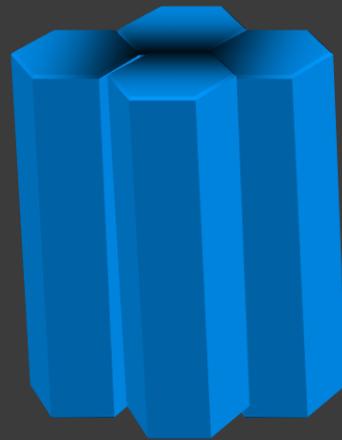
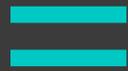


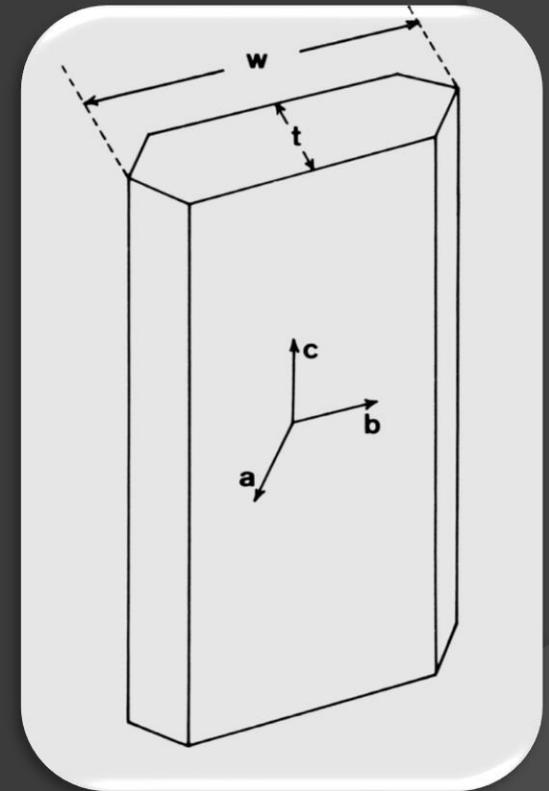
Fig.3.3- A estrutura da Hidroxiapatita- célula unitária - (Kay et al, 1964)

Cristal de Apatita

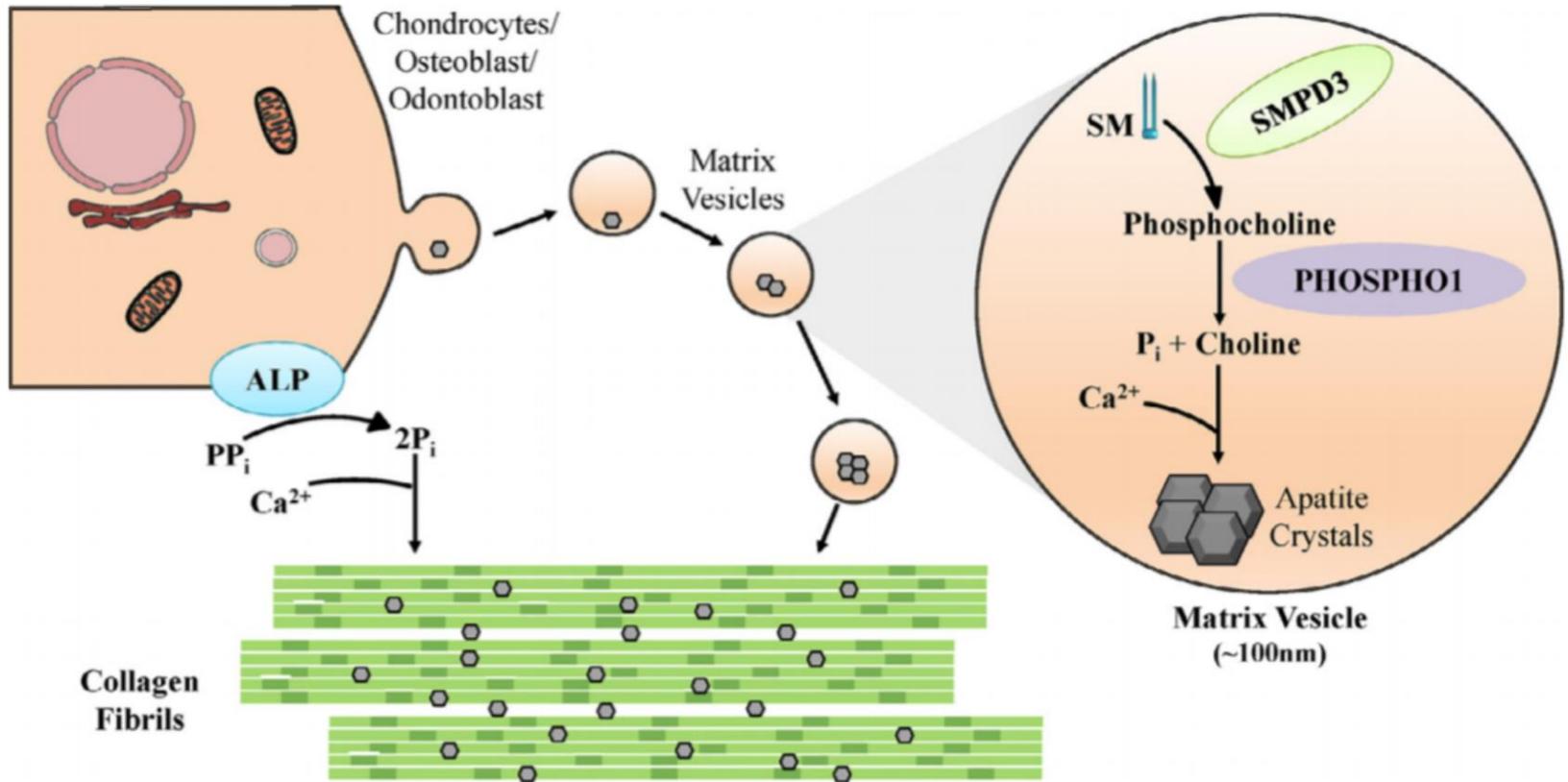
100 ou
1000 de
unidades
cristalinas

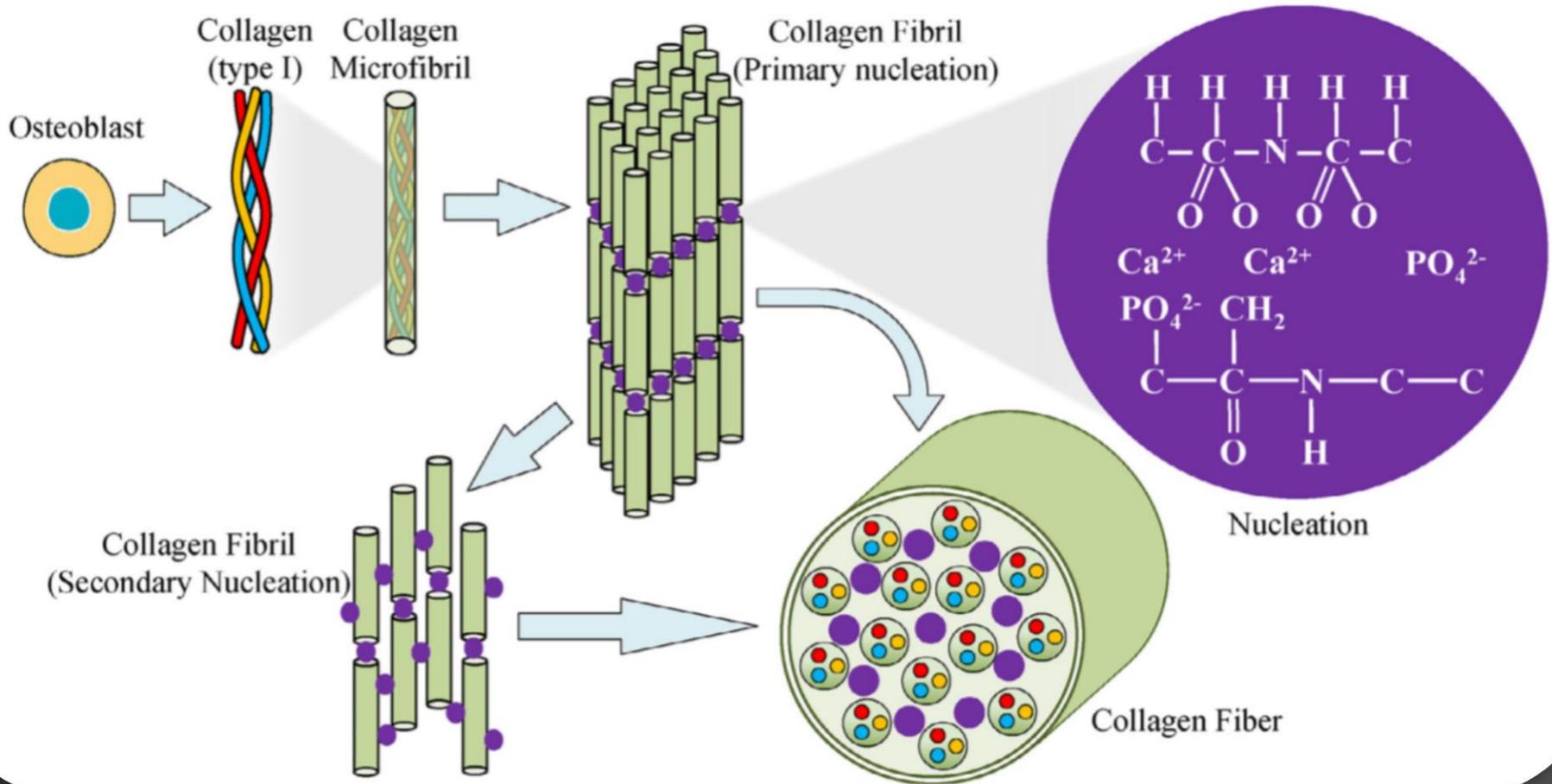


ou



Empilhamento





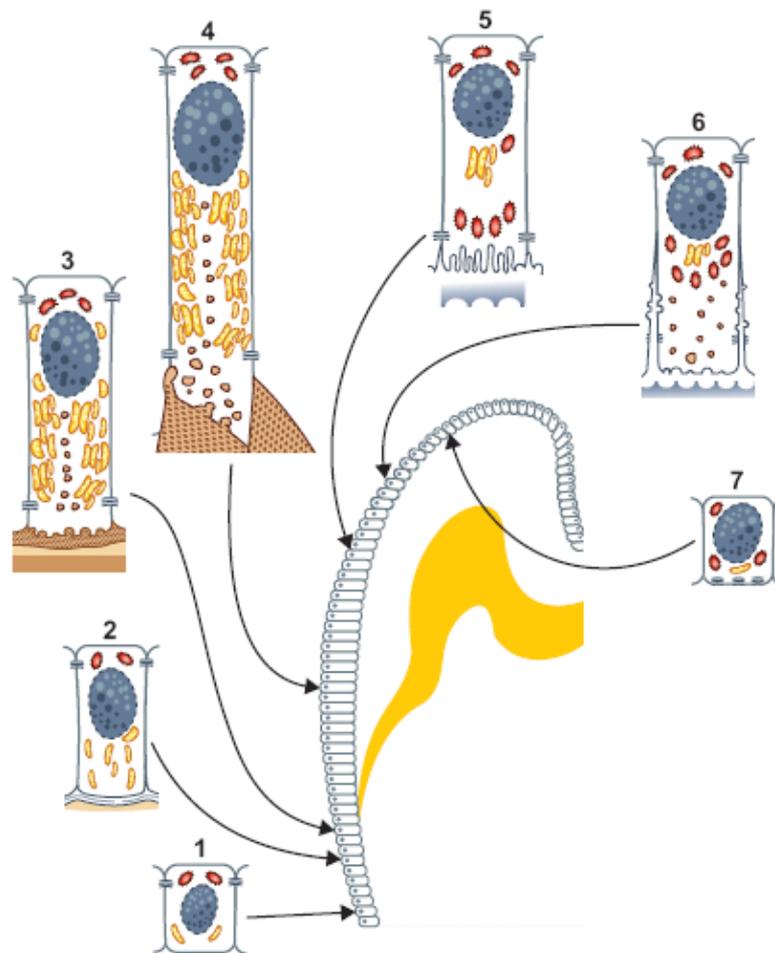


Figura 11.3 Representação dos diferentes estágios de atividades/funções dos ameloblastos em esmalte humano: (1) estágio morfogênético; (2) estágio de histodiferenciação; (3) estágio secretor inicial (sem processo de Tomes); (4) estágio secretor (processo de Tomes); (5) ameloblastos com terminação rugosa do estágio de maturação; (6) ameloblastos com terminação do estágio de maturação; (7) estágio protetor.

Mineralização do esmalte

- ⦿ Diferente dos demais tecidos duros
- ⦿ Não há vesículas de matriz associadas à mineralização inicial do esmalte
- ⦿ Formação quase imediata de cristalitos nas proteínas do esmalte recém-secretado
 - Não há equivalentes de pré-dentina ou pré-osteóide
- ⦿ Os primeiros cristalitos de esmalte são nucleados pelos cristalitos de apatita da dentina

Mineralização Biológica

Falhas na mineralização

Fluorose esquelética



Fluorose dentária





HEALTH

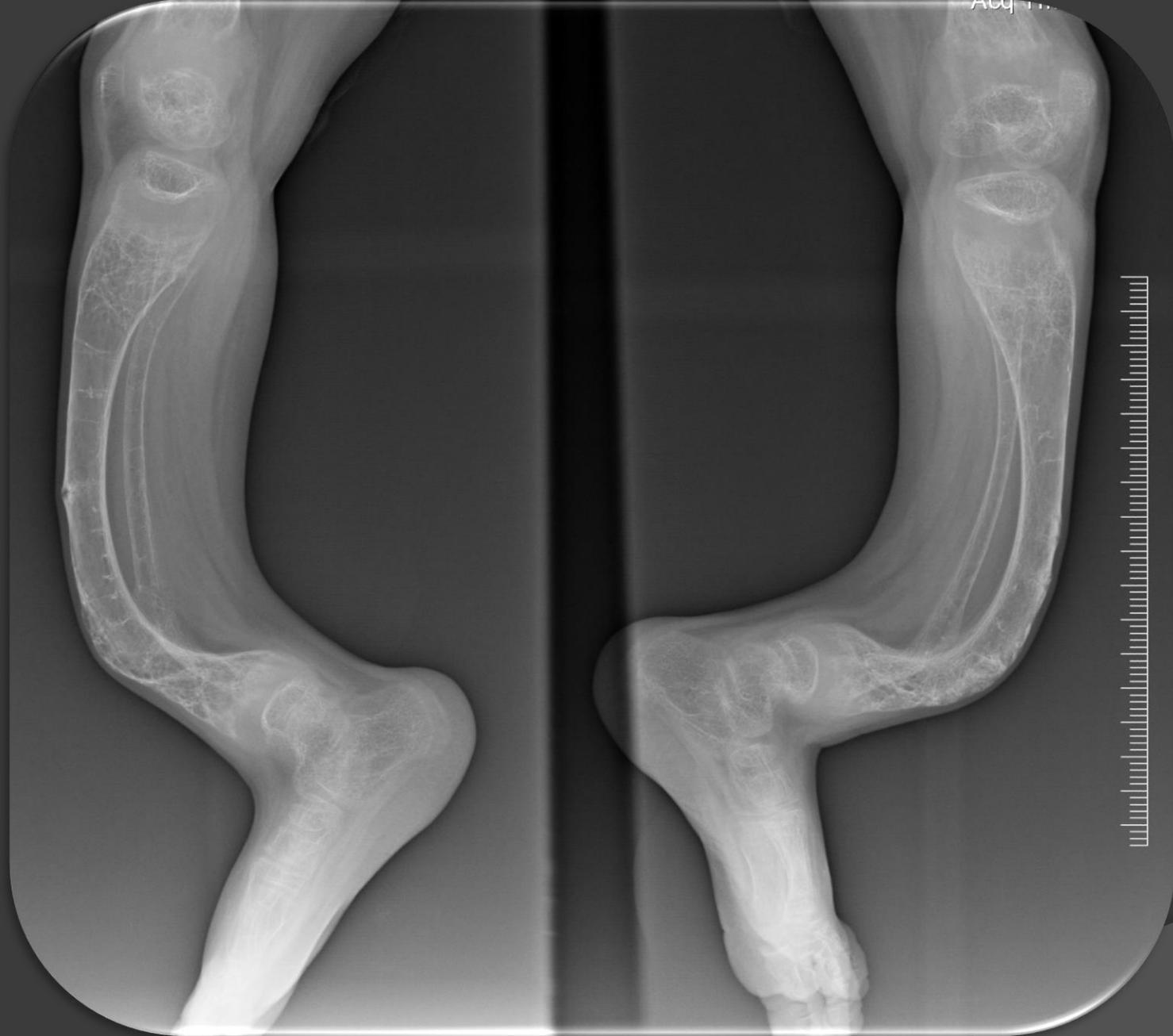
o-
ne
nd
tes

Falhas na mineralização



Amelogenesis imperfeita





Osteogenesis imperfecta



Conclusão

Os tecidos mineralizados apresentam semelhanças estruturais e funcionais. A compreensão do processo de mineralização é extremamente importante para o cirurgião-dentista uma vez que este irá guiar ou interferir diretamente nesse processo em diferentes tecidos.

Bibliografia Recomendada

- 1-Ten Cate A.R. Histologia bucal. 5ª ed.: Guanabara Koogan, 2001.
- 2-Magalhães A.C., Oliveira R.C., Buzalaf M.A.R. Bioquímica Básica e Bucal. 1. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017.
- 3-Sharma et al. Biomineralization process in hard tissues: The interaction complexity within protein and inorganic counterparts. Acta Biomater. 2020 May 13:S1742-7061(20)30255-5.
- 4-Buzalaf, M. A. R.; Magalhães, A. C.; Oliveira, R. C. Manual Prático de Bioquímica Orofacial. 1. ed. Santana de Parnaíba: Manole, 2022. 244p.