

Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN)

Fixação Anual de N₂

Fonte	10 ⁶ Mg ano ⁻¹
Industrial (fertilizantes)	49
Atmosférica (eletroquímica)	10
Outros processos químicos	35
Fixação Biológica Total	175
Oceanos	36
Sistemas terrestres	139
Leguminosas (140 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	35
Cultura do arroz (30 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	4
Pastagens (15 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	45
Outras culturas (5 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	5
Ecosistemas Florestais (10 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	40
Outros Sistemas (2 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	10

Simbiontes



Nódulos em raízes de soja



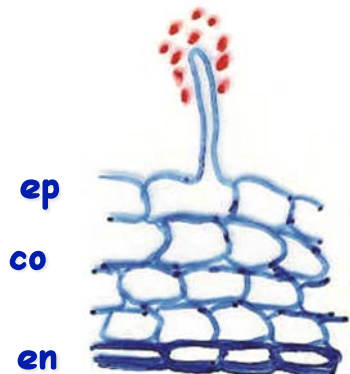
Nódulos em caule de
Aeschynomene afraspera

Interações Rhizobium-Leguminosas

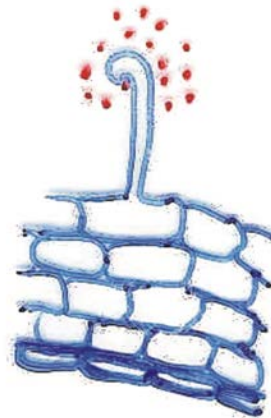
- Colonização da rizosfera
- Adesão
- Infecção e desenvolvimento dos nódulos
- Formação dos simbiossoma
- Diferenciação de bacteróides
- Fixação do dinitrogênio atmosférico
- Senescência dos nódulos

Desenvolvimento de nódulos em leguminosas

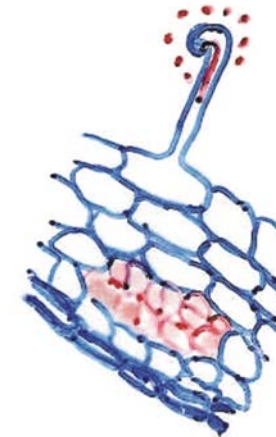
Quimiotaxia e Aderência



Encurvamento do pêlo radicular



2. PROCESSO DE INFECÇÃO E FORMAÇÃO DO NÓDULO (nodulinas precoces)

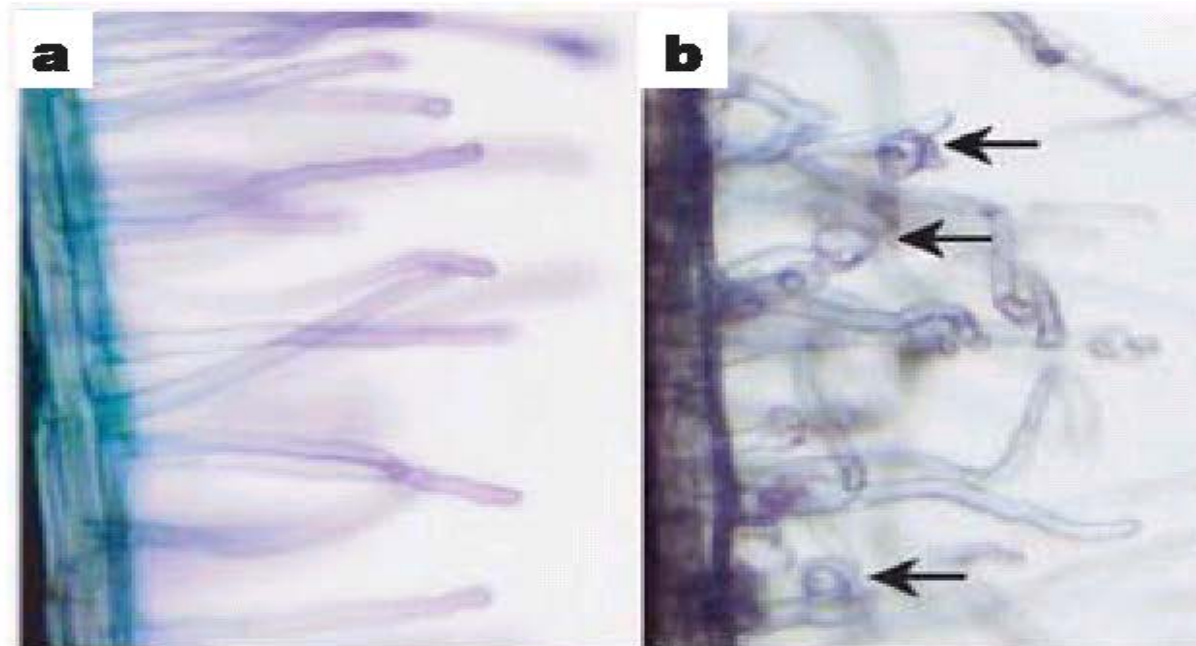


1. PROCESSO PRÉ-INFECÇÃO (nodulinas precoces)

ep = epiderme
co = córtex
en = endoderme

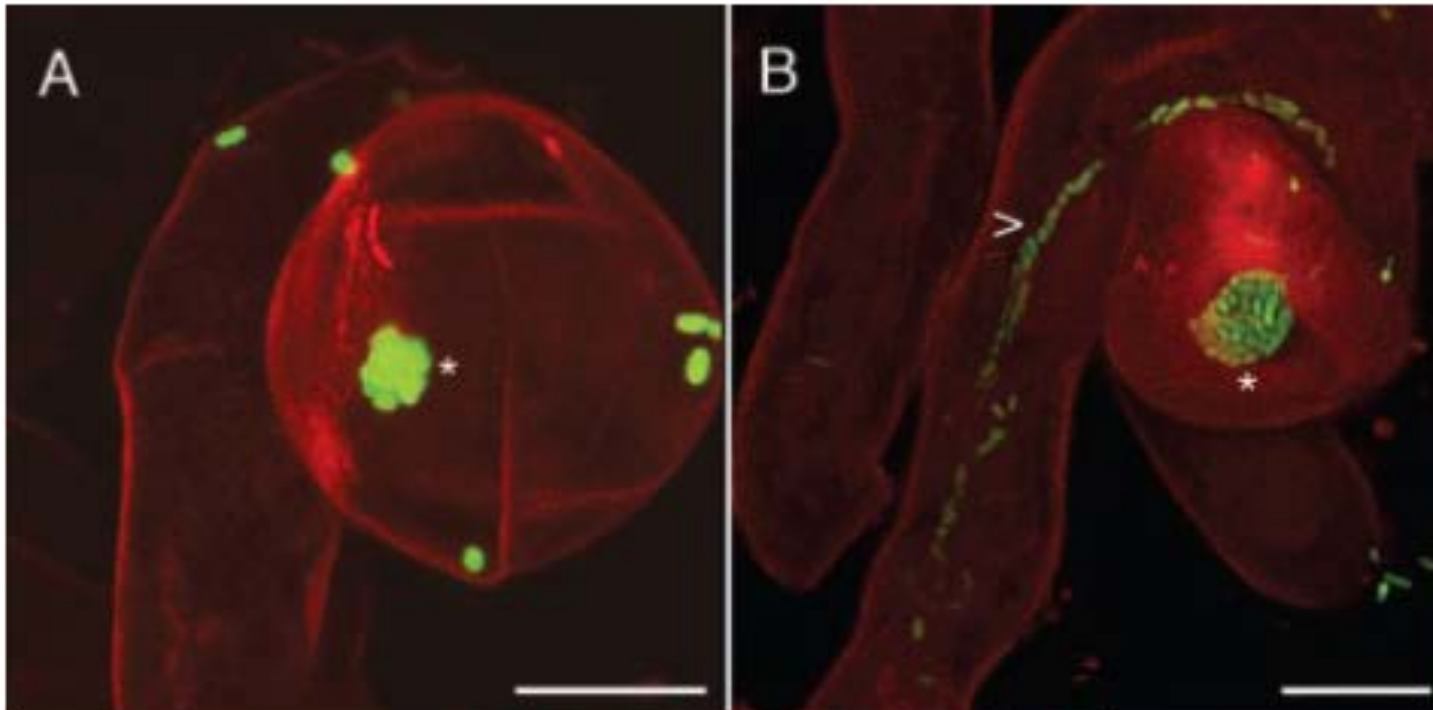
Divisão das células corticais (primórdio nodular)
Formação do cordão de infecção
Crescimento do cordão de infecção

Medicago truncatula



Sem inoculação

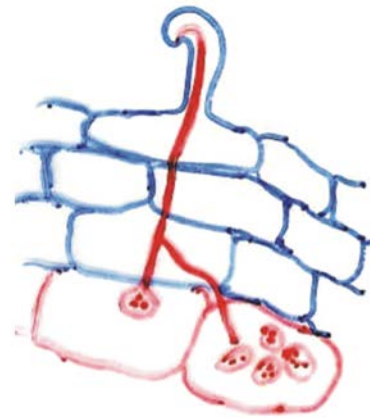
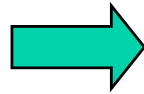
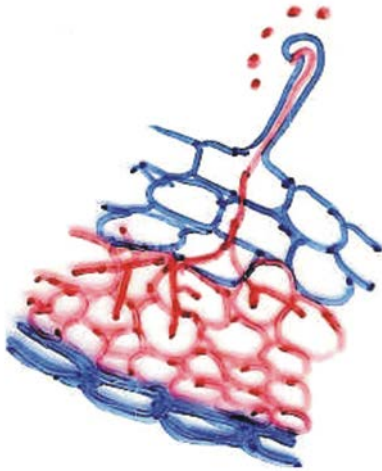
Inoculada



- A. Microcolônia de rizóbios e curvamento do pêlo radicular 4 dias após a inoculação de **Medicago truncatula**
B. Microcolônia de rizóbios e cordão de infecção 7 dias após a inoculação de **Medicago truncatula**.

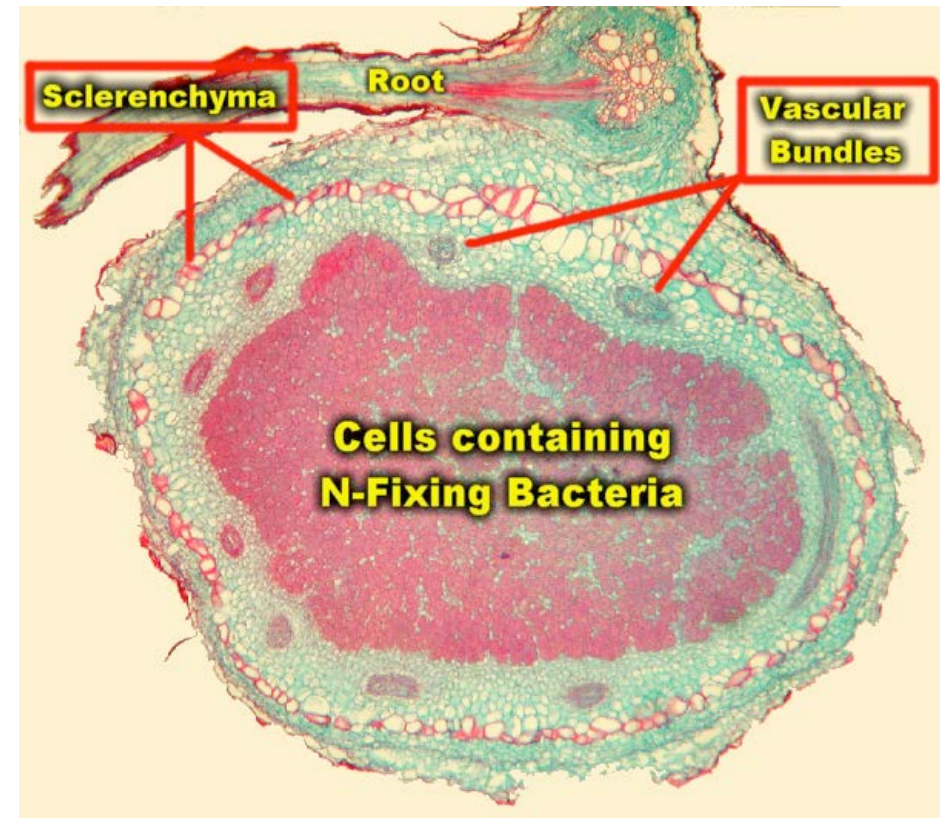
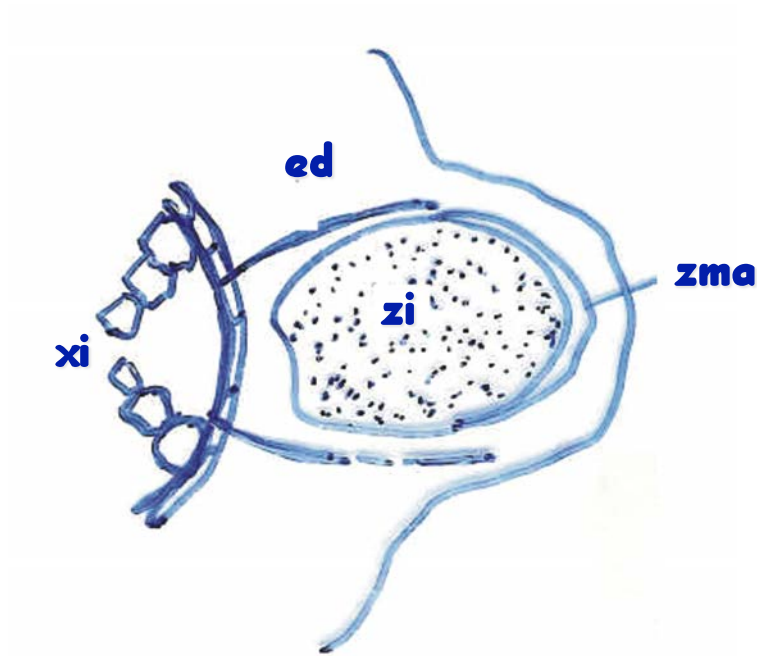
Desenvolvimento de nódulos em leguminosas

**Ramificação do cordão de infecção
Hiperplasia das células infectadas
(tetraplóides)**



**Liberação das bactérias no citoplasma
(endocitose)
Multiplicação das bactérias
Diferenciação em bacteróides
Formação da membrana peribacteróide**

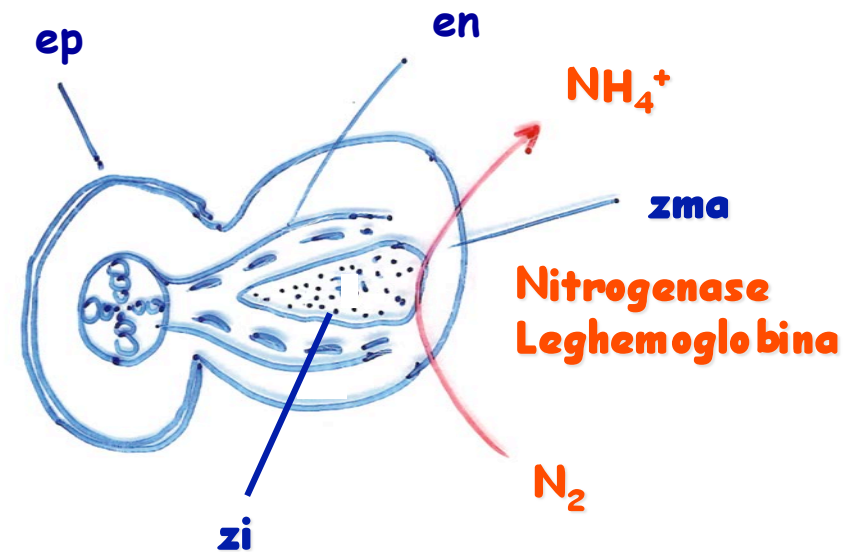
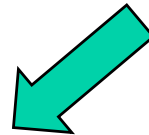
Desenvolvimento de nódulos em leguminosas



Estabelecimento da estrutura nodular

Desenvolvimento de nódulos em leguminosas

4. FIXAÇÃO DO N_2 E ASSIMILAÇÃO DO NH_4^+
(nodulinas tardias: GS-nódulo específica, uricase)



Fixação Biológica do Nitrogênio

5. SENESCÊNCIA DO NÓDULO
(nodulinas?)

Desintegração das membranas e células
Desintegração do nódulo

xi = xilema
ed = endoderme
zi = zona infectada
zma = zona meristemática

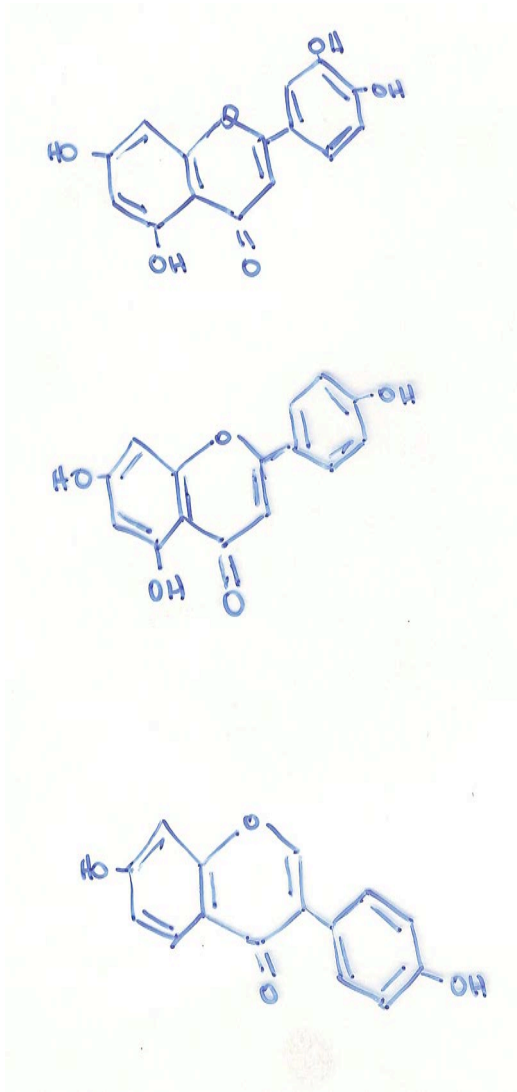
Genes bacterianos envolvidos na nodulação e fixação do N₂

- nod: genes que afetam a nodulação. Podem ser comuns (trocados entre diferentes espécies de rizóbio), e.g. nodABC, ou hospedeiro-específicos, e.g. nodD, nodE, F, G
- nif: genes que afetam a fixação do N₂, homólogos aos genes nif de *Klebsiella pneumoniae*
- fix: genes que afetam a fixação do N₂, não-homólogos aos genes nif de *Klebsiella pneumoniae*

Genes vegetais envolvidos na nodulação e fixação do N₂

- nodulinas: codificam proteínas essenciais para o desenvolvimento e funcionamento dos nódulos; podem ser precoces (ENODs) ou tardias
- genes para síntese de compostos fenólicos

Compostos fenólicos ativos como indutores de genes nod

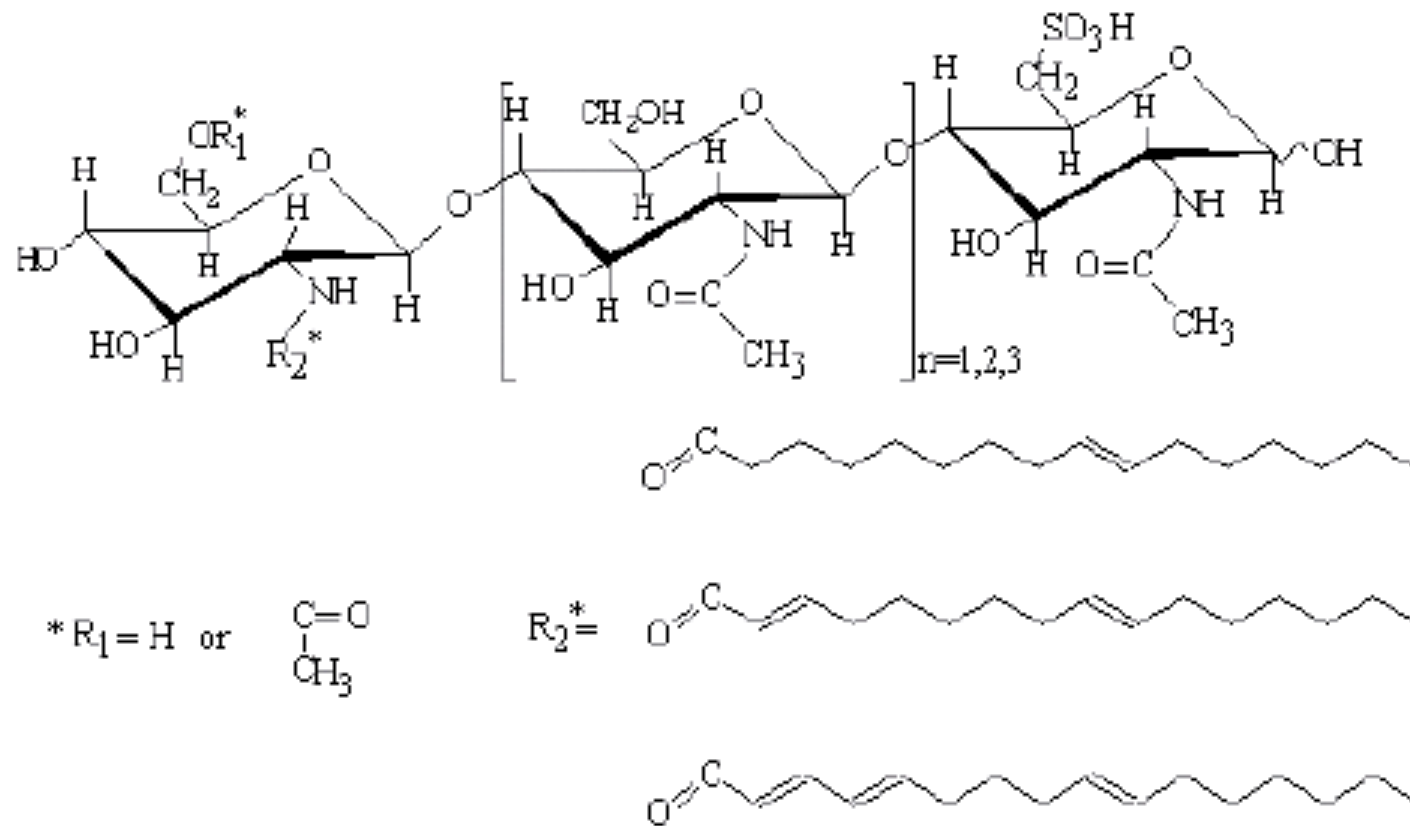


Luteolina (flavona): induz genes nod em *R. meliloti*

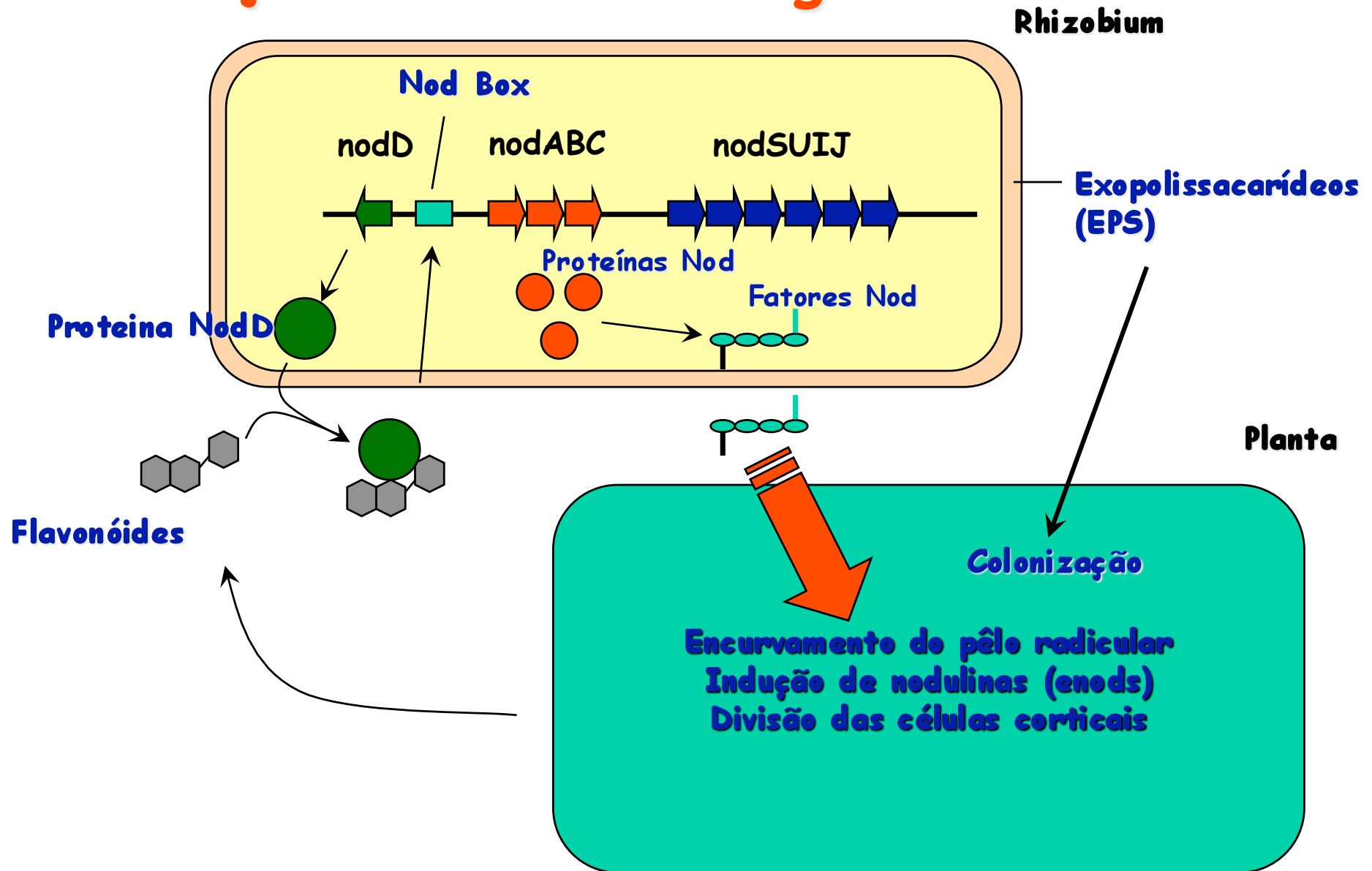
Naringenina (flavonona): induz genes nod em *R. leguminosarum viciae*

Daidzen (isoflavona): induz genes nod em *Bradyrhizobium japonicum*

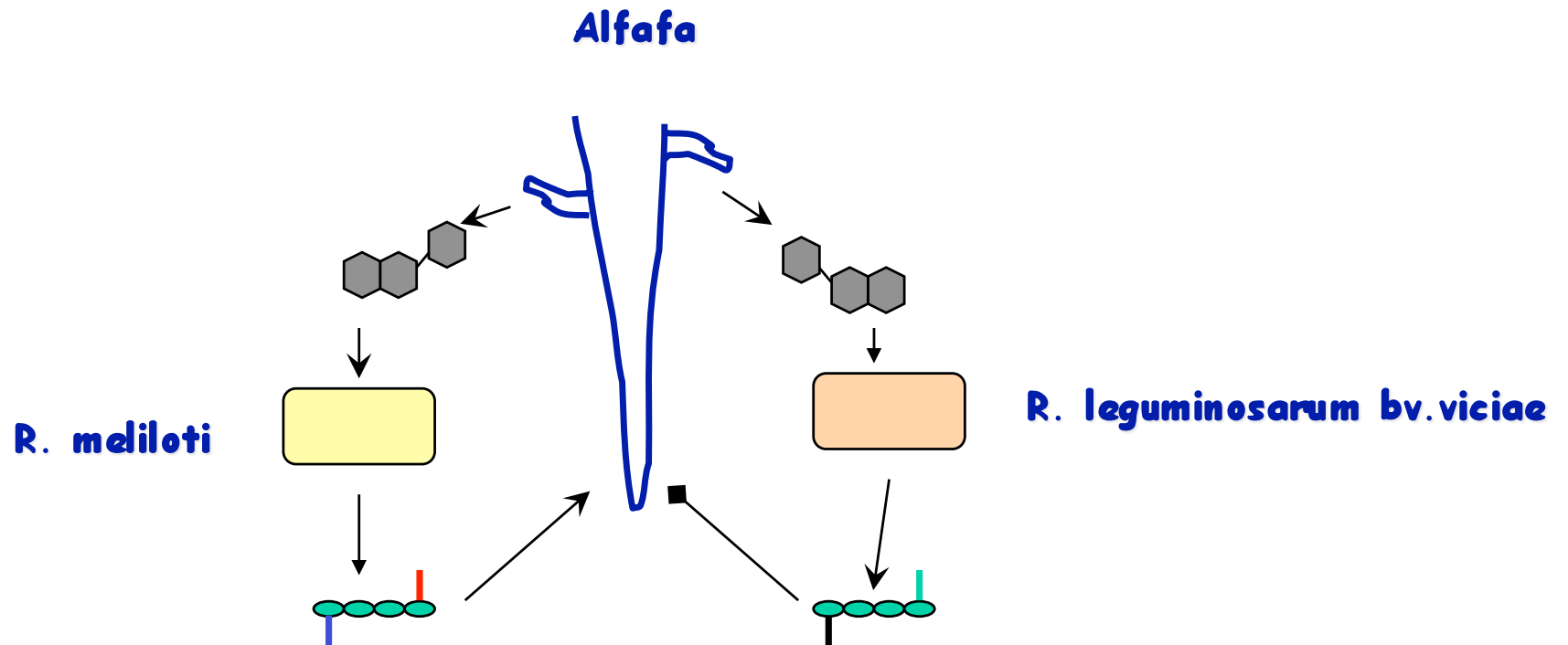
Fatores Nod (lipoquitoligossacarídeos)



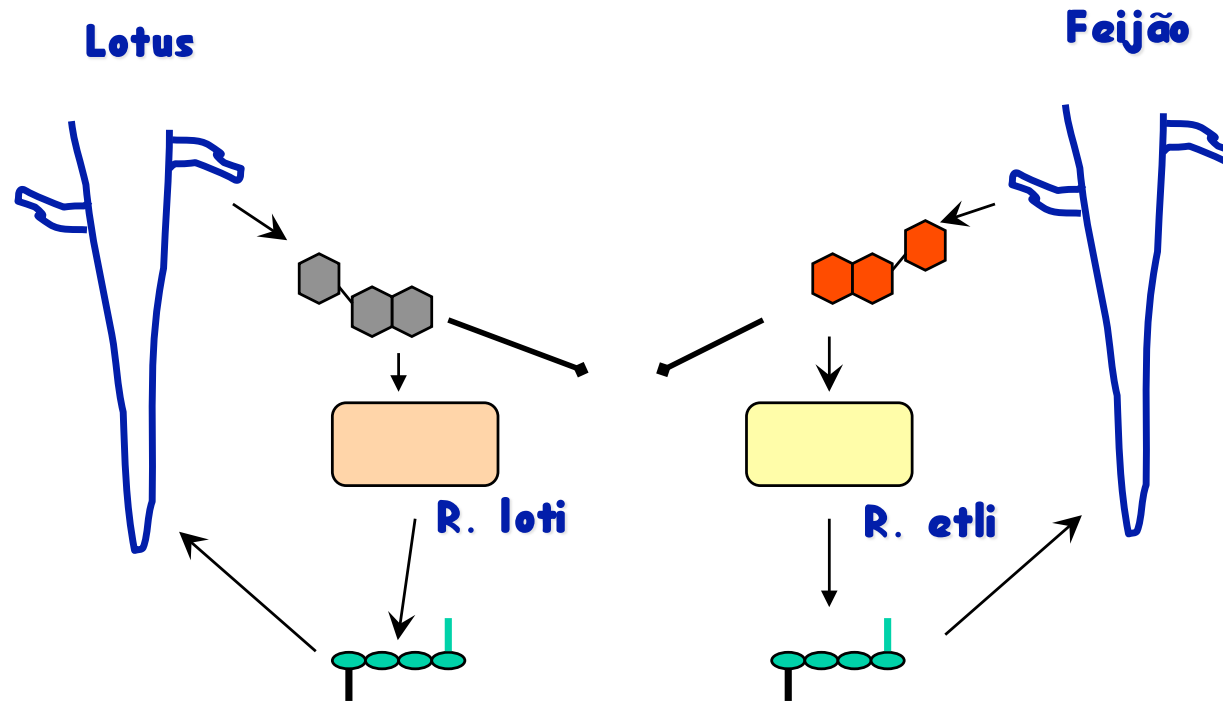
Sinalização e regulação gênica em interações Rhizobium-leguminosas



Troca de sinais simbióticos e especificidade hospedeira



Troca de sinais simbióticos e especificidade hospedeira



Espécies de rizóbios e suas características

Espécie	Hospedeiro	Grupo	Taxa Crescimento
Rhizobium leguminosarum bv. leguminosarum	Pisum, Lens, Vicia	Ervilha	Rápido
Rhizobium leguminosarum bv. phaseoli	Phaseolus	Feijão	Rápido
Rhizobium leguminosarum bv. trifolii	Trifolium	Trevo	Rápido
Rhizobium meliloti	Medicago, Melilotus, Trigonella	Alfafa	Rápido
Rhizobium loti	Lotus	Lotus	Rápido
Sinorhizobium fredii	Glycine	Soja	Rápido
Rhizobium lupini	Lupinus	Tremoço	Lento
Bradyrhizobium japonicum	Glycine	Soja	Lento
Rhizobium sp.	Vigna, Desmodium, Arachis, etc	Caupi	Variável
Azorhizobium caulinodanas	Sesbania	Nódulo caule	Rápido

Necessidades de inoculação

- Ausência da espécie hospedeira na área
- Nodulação baixa quando a espécie foi cultivada previamente
- Baixo número de rizóbios no solo (< 50 por g solo)
- Quando a leguminosa sucede uma não-leguminosa em sistema de rotação
- Em recuperação de solos degradados
- Quando as condições ambientais são desfavoráveis aos rizóbios

Características desejáveis nos rizóbios para inoculação

- Habilidade em nodular e fixar N na espécie alvo
- Alta capacidade competitiva
- Habilidade de fixar N em vários hospedeiros
- Alta persistência no solo
- Habilidade em crescer em meio de cultura, no veículo de inoculação e no solo
- Compatibilidade com agroquímicos
- Habilidade em tolerar estresses ambientais
- Estabilidade genética

**Raíces de soja noduladas por
*Bradyrhizobium japonicum***



**Raíces de trevo noduladas por
Rhizobium sp.**



Inoculação e revestimento de sementes

Leguminosa	Adesivo (L)	Inoculante (g)	Sementes (kg)	Calcário ou Calcário + Micronutrientes
Sementes grandes: soja, jeijão, caupi, ervilha, amendoim, etc	1	500	50	10
Sementes médias: calopogônio, soja perene, leucena, siratro, centrosema, etc	1	500	20	16
Sementes pequenas: estilisantes, desmódio, alfafa, trevo, etc	1	500	10	20

Adesivo: pesar 70 g de farinha de trigo e diluir em água potável; completar o volume para 1 L e aquecer até dissolver; guardar em geladeira até o uso. Goma arábica sem conservante pode também ser utilizada.

Calcário: usar calcário peneirado fino e mistura em partes iguais aos micronutrientes (FTE). Não usar cal virgem.

Qualidade do inoculante

- Competitividade e eficiência da estirpe de rizóbio
- Número de células viáveis no inoculante

Seleção de estirpes de rizóbios



Cuidados na inoculação

- Não utilizar inoculante vencido
- Não expor sementes inoculadas ao solo ou altas temperaturas
- Não tratar as sementes com fungicidas incompatíveis (mercuriais, por exemplo)

Inoculação eficiente

