QUÍMICA ORGÂNICA | ENSINO MÉDIO

ISOMERIA

Mesma fórmula. Substâncias diferentes.

MESMA FÓRMULA MOLECULAR: C_2H_6O

$CH_3—CH_2—OH$

Etanol

líquido | ferve a 78 °C

$CH_3—O—CH_3$

Éter dimetílico

gás | ferve a -24 °C

ROTEIRO DA AULA

O que vamos ver hoje

1. **O que é isomeria**
   Mesma fórmula molecular, estruturas diferentes
2. **As cinco isomerias planas**
   Cadeia · posição · função · metameria · tautomeria
3. **Exercícios de fixação**
   Identificar o tipo de isomeria em cada par
4. **Isomeria geométrica**
   cis e trans: quando o espaço faz diferença
5. **O sistema E / Z**
   A regra oficial da IUPAC para os casos difíceis

Duas substâncias podem ter **exatamente os mesmos átomos** e ainda assim serem completamente diferentes?

SIM. E isso tem nome: ISOMERIA.

O PONTO DE PARTIDA

Um caso para começar

A **Etanol**

álcool

$$CH_3—CH_2—OH$$

- Líquido a 25 °C
- Ferve a **78 °C**
- Bebidas, combustível, antisséptico

B **Éter dimetílico**

éter

$$CH_3—O—CH_3$$

- Gás a 25 °C
- Ferve a **-24 °C**
- Propelente de aerossol

! **Mesma fórmula molecular → estruturas diferentes → propriedades diferentes**

CONCEITO

Isômeros: a definição

ISÔMEROS

são compostos **diferentes** que têm a **mesma fórmula molecular**, mas **fórmulas estruturais diferentes**.

Mesmo número de átomos de cada elemento — arrumados de outro jeito.

A analogia das peças



cinco peças → montagem 1



as mesmas cinco → montagem 2

COMO TUDO SE ORGANIZA

O mapa da isomeria

ISOMERIA

PLANA
(constitucional)

- **Cadeia**
- **Posição**
- **Função**
- **Metameria**
- **Tautomeria**

ESPACIAL
(estereoisomeria)

- **Geométrica (cis / trans)**
- Óptica (próxima aula)

Hoje: **toda a isomeria plana** + a **isomeria geométrica**.

A CHAVE DA CLASSIFICAÇÃO

Isomeria plana: o que muda?

Muda a **ordem em que os átomos estão ligados** — dá para ver na fórmula estrutural plana (no papel).

Para classificar, faça três perguntas nesta ordem:

1

Mudou a FUNÇÃO?

↓

função
(ou tautomeria)

2

Mudou o TIPO DE CADEIA?

↓

cadeia

3

Só mudou o LUGAR?

↓

posição
(ou metameria)

ISOMERIA PLANA

1 Isomeria de cadeia

Mesma função química, mas o **tipo de cadeia carbônica** é diferente.

Cadeia: três pares para observar

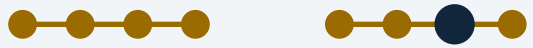
ABERTA × **FECHADA**

Tem ou não tem um anel (ciclo)?



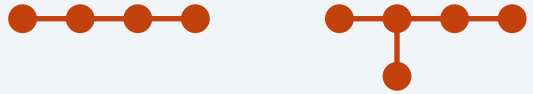
HOMOGÊNEA × **HETEROGÊNEA**

Existe um heteroátomo (O, N, S) entre carbonos?



NORMAL × **RAMIFICADA**

A cadeia tem galhos saindo dela?



Em todos os casos a função continua a mesma.

Cadeia normal × cadeia ramificada

A Butano

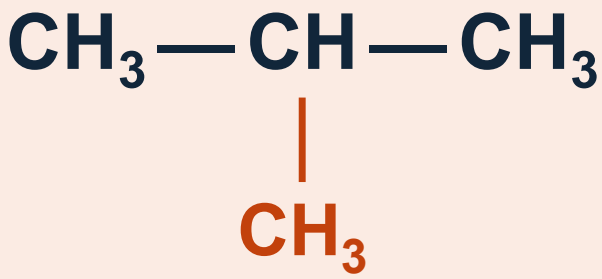
cadeia normal



Ferve a -0,5 °C

B Metilpropano

cadeia ramificada



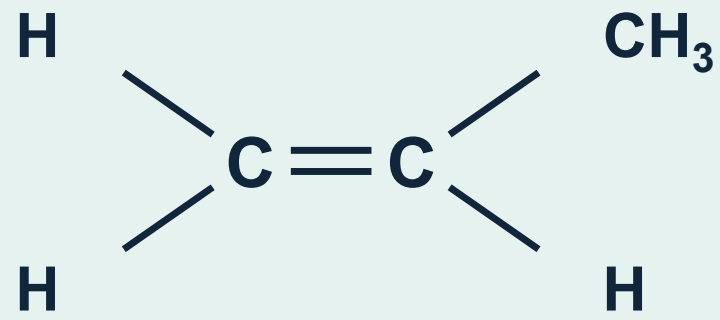
Ferve a -11,7 °C

A ramificação deixa a molécula mais compacta → menos contato entre moléculas → ferve mais fácil.

Cadeia aberta × cadeia fechada

A **Propeno**

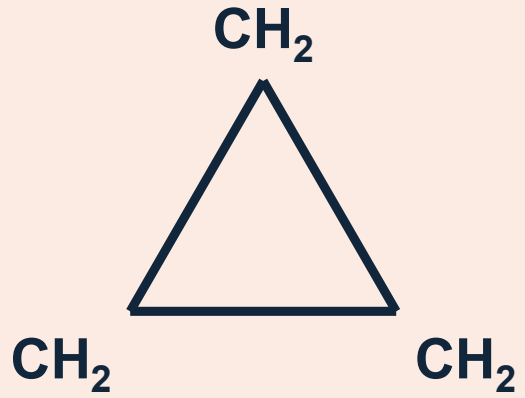
cadeia aberta (acíclica)



$CH_2 = CH — CH_3$

B **Ciclopropano**

cadeia fechada (cíclica)



três CH_2 fechando um anel

Os dois têm C_3H_6 — um é alceno, o outro é ciclano, mas ambos são hidrocarbonetos.

Cadeia homogênea × heterogênea

A Propan-1-amina

cadeia homogênea



Só carbonos na cadeia. O N está na ponta.

B N-metiletanamina

cadeia heterogênea



O N está **entre** dois carbonos.

Heteroátomo = átomo diferente de C e H que aparece no meio da cadeia (O, N, S...).

ISOMERIA PLANA

2 Isomeria de posição

Mesma função e mesmo tipo de cadeia. Muda apenas o **lugar** de alguma coisa.

ISOMERIA DE POSIÇÃO

Três coisas podem mudar de lugar

A

a INSATURAÇÃO

a dupla ou tripla ligação anda pela cadeia

$CH_2{=}CH - CH_2 - CH_3$

B

o GRUPO FUNCIONAL

o —OH, o —NH_2, o —Cl mudam de carbono

$CH_3 - CH(OH) - CH_3$

C

o RADICAL

a ramificação muda de carbono

$CH_3 - CH(CH_3) - CH_3$

! **Em todos: mesma função, mesma cadeia — só o endereço muda.**

Posição da insaturação

A **But-1-eno**

dupla entre C1 e C2

1 2 3 4

$CH_2=CH-CH_2-CH_3$

a numeração começa pela ponta mais próxima da dupla

B **But-2-eno**

dupla entre C2 e C3

1 2 3 4

$CH_3-CH=CH-CH_3$

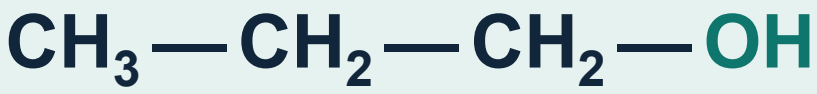
a numeração começa pela ponta mais próxima da dupla

Mesma função (alceno), mesma cadeia (normal, aberta, homogênea): só a dupla mudou de lugar.

Posição do grupo funcional

A **Propan-1-ol**

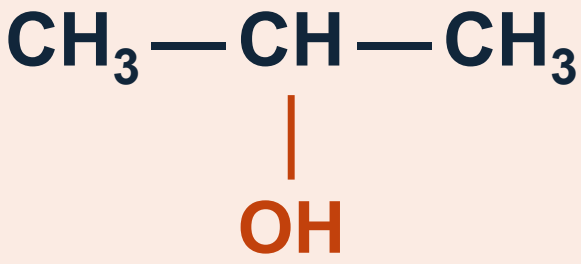
—OH no carbono 1



álcool primário

B **Propan-2-ol**

—OH no carbono 2



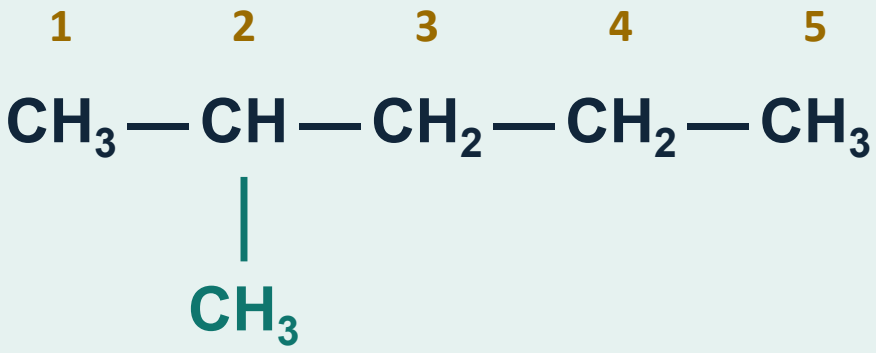
álcool secundário · álcool isopropílico

É o mesmo álcool de sempre — mas o antisséptico da farmácia é o propan-2-ol.

Posição do radical

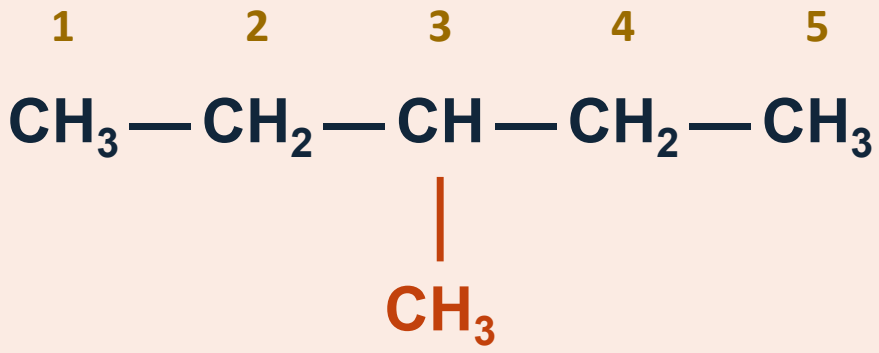
A 2-metilpentano

metila no carbono 2



B 3-metilpentano

metila no carbono 3

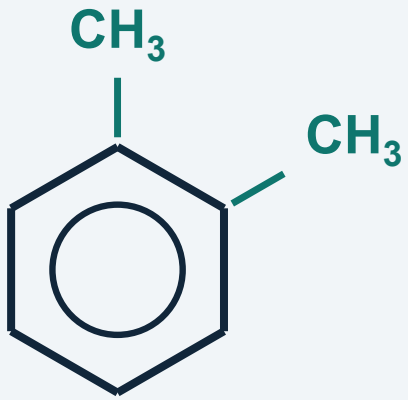


Mesma cadeia principal (5 carbonos) e o mesmo radical metila — em endereços diferentes.

Posição em anéis: orto, meta e para

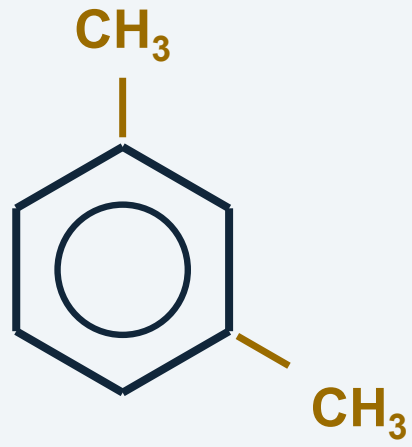
ORTO

1, 2 — vizinhos



META

1, 3 — um carbono entre



PARA

1, 4 — opostos



Três substâncias diferentes, todas com fórmula C_8H_{10}: só muda onde as metilas estão no anel.

ISOMERIA PLANA

3 Metameria

Também chamada de **isomeria de compensação**. Muda a posição do **heteroátomo** dentro da cadeia.

Metameria: como reconhecer

Os dois isômeros têm a **mesma função** e a **mesma cadeia heterogênea** — o heteroátomo é que mudou de lugar.

Só acontece em funções que têm heteroátomo no meio da cadeia:

Éteres	Ésteres	Aminas	Amidas
R—O—R'	R—COO—R'	R—NH—R'	R—CO—NH—R'

? **Pergunta-chave: o heteroátomo dividiu a cadeia em pedaços de tamanhos diferentes?**

Metameria: dois exemplos

Éteres · $C_4H_{10}O$

Metoxipropano

$$CH_3 — O — CH_2 — CH_2 — CH_3$$

cadeia repartida em 1 C | 3 C

Etoxietano

$$CH_3 — CH_2 — O — CH_2 — CH_3$$

cadeia repartida em 2 C | 2 C

Ésteres · $C_4H_8O_2$

Propanoato de metila

$$CH_3 — CH_2 — COO — CH_3$$

cadeia repartida em 2 C | 1 C

Etanoato de etila

$$CH_3 — COO — CH_2 — CH_3$$

cadeia repartida em 1 C | 2 C

Mesma função e mesma fórmula — o oxigênio apenas reparte a cadeia de outro jeito.

COMPARANDO OS DOIS

Cuidado: posição × metameria

POSIÇÃO

- O que anda é o **grupo funcional** ou a **insaturação**
- A cadeia continua repartida do mesmo jeito
- Ex.: propan-1-ol × propan-2-ol

METAMERIA

- O que anda é o **heteroátomo** (O, N, S)
- A cadeia passa a ser repartida em pedaços diferentes
- Ex.: metoxipropano × etoxietano

! **Dica: se o heteroátomo mudou de lugar, é metameria. Se foi outra coisa, é posição.**

ISOMERIA PLANA

4 Tautomeria

Um caso especial de isomeria de função: os dois isômeros convivem em **equilíbrio dinâmico**.

Tautomeria: isômeros que se transformam

Os tautômeros têm **funções diferentes** e se convertem um no outro **espontaneamente**, pela migração de um hidrogênio.

Isomeria de função comum

- São duas substâncias **separadas**
- Dá para guardar cada uma no seu frasco
- Ex.: etanol × éter dimetílico

Tautomeria

- Convivem no **mesmo frasco**, em equilíbrio
- Um vira o outro o tempo todo
- Ex.: aldeído e enol

→ **Os dois tipos clássicos: aldo-enólica e ceto-enólica.**

Tautomeria aldo-enólica

ETANAL (aldeído)

$CH_3—CHO$

grupo —CHO



equilíbrio

ETENOL (enol)

$CH_2=CH—OH$

dupla + —OH

Na prática o **aldeído domina**: mais de 99,9% das moléculas estão na forma etanal. O enol é instável e existe só em quantidade mínima.

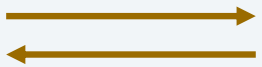
Tautomeria ceto-enólica

PROPANONA (cetona)

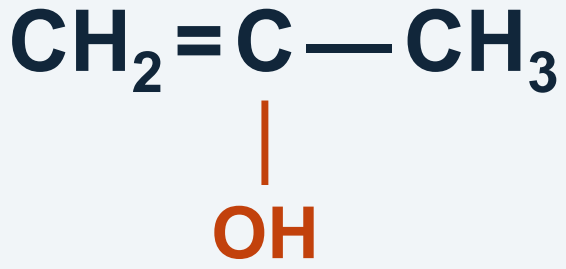


$CH_3—CO—CH_3$

carbonila no meio da cadeia



PROP-1-EN-2-OL (enol)



$CH_2=C(OH)—CH_3$

A acetona que você conhece é justamente a **forma cetona**, que predomina. A forma enol aparece em pouquíssima quantidade.

ISOMERIA PLANA

5 Isomeria de função

Mesma fórmula molecular, mas os compostos pertencem a **funções orgânicas diferentes**.

ISOMERIA DE FUNÇÃO

Os três pares clássicos

$C_nH_{2n+2}O$	$C_nH_{2n}O$	$C_nH_{2n}O_2$
Álcool	**Aldeído**	**Ácido**
OH na cadeia	CHO na ponta	COOH na ponta
×	×	×
Éter	**Cetona**	**Éster**
O entre carbonos	CO no meio	COO entre carbonos

Repare: o par sempre tem a mesma fórmula geral.

ISOMERIA DE FUNÇÃO · C_2H_6O

Álcool × Éter

A Etanol

função álcool

$$CH_3—CH_2—OH$$

- Líquido, ferve a **78 °C**
- Faz ligação de hidrogênio
- Muito solúvel em água

B Metoximetano

função éter

$$CH_3—O—CH_3$$

- Gás, ferve a **-24 °C**
- Não faz ligação de hidrogênio
- Pouco solúvel em água

Mais de 100 °C de diferença no ponto de ebulição — a estrutura muda tudo.

ISOMERIA DE FUNÇÃO · C_3H_6O

Aldeído × Cetona

A Propanal

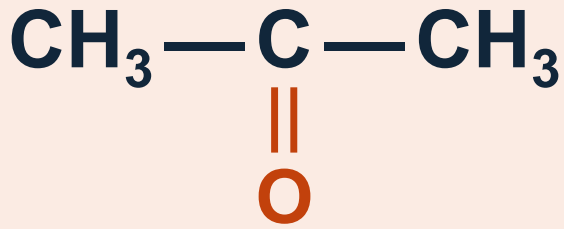
função aldeído



- Carbonila na **ponta** da cadeia
- Sofre oxidação com facilidade
- Cheiro forte, usado em resinas

B Propanona

função cetona · a acetona



- Carbonila **no meio** da cadeia
- Bem mais resistente à oxidação
- Removedor de esmalte

Os dois têm C=O — o que muda é onde essa carbonila está.

ISOMERIA DE FUNÇÃO · $C_2H_4O_2$

Ácido carboxílico × Éster

A Ácido etanoico

função ácido carboxílico

$$CH_3—COOH$$

- É o **vinagre** (ácido acético)
- Azeda, corrói, tem caráter ácido
- Ferve a 118 °C

B Metanoato de metila

função éster

$$H—COO—CH_3$$

- Cheiro **agradável**, adocicado
- Ésteres dão o aroma das frutas
- Ferve a 32 °C

Mesma fórmula, mesmos átomos — um azeda a salada, o outro cheira a fruta.

FECHO DA PRIMEIRA PARTE

Resumo: as cinco isomerias planas

CADEIA	muda o tipo de cadeia	**butano × metilpropano**
POSIÇÃO	muda o lugar de algo na cadeia	**but-1-eno × but-2-eno**
FUNÇÃO	muda a função orgânica	**etanol × éter dimetílico**
METAMERIA	muda o lugar do heteroátomo	**metoxipropano × etoxietano**
TAUTOMERIA	a função muda e há equilíbrio	**propanona e enol**

Agora é a sua vez.

MÃO NA MASSA

? Exercícios de fixação

Para cada par abaixo, diga **qual é o tipo de isomeria plana**.

EXERCÍCIO 1 E 2

Que tipo de isomeria plana?

1 **Butano e metilpropano**

I. $CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_3$

II. $CH_3 — CH(CH_3) — CH_3$

2 **Propan-1-ol e propan-2-ol**

I. $CH_3 — CH_2 — CH_2 — OH$

II. $CH_3 — CH(OH) — CH_3$

? **Dica: comece perguntando se a função mudou.**

EXERCÍCIO 3 E 4

Que tipo de isomeria plana?

3 **Etoxietano e butan-1-ol ($C_4H_{10}O$)**

I. $CH_3 — CH_2 — O — CH_2 — CH_3$

II. $CH_3 — CH_2 — CH_2 — CH_2 — OH$

4 **Metoxipropano e etoxietano ($C_4H_{10}O$)**

I. $CH_3 — O — CH_2 — CH_2 — CH_3$

II. $CH_3 — CH_2 — O — CH_2 — CH_3$

! **Cuidado: só um destes dois pares é metameria.**

EXERCÍCIO 5 E 6

Que tipo de isomeria plana?

5 **Propanal e propanona (C_3H_6O)**

I. $CH_3 — CH_2 — CHO$

II. $CH_3 — CO — CH_3$

6 **Propanal e prop-1-en-1-ol (C_3H_6O)**

I. $CH_3 — CH_2 — CHO$

II. $CH_3 — CH = CH — OH$

! **As questões 5 e 6 têm a mesma fórmula — mas a resposta não é a mesma.**

CORREÇÃO

Gabarito · questões 1 a 3

1

Isomeria de CADEIA

Mesma função (hidrocarboneto). Uma cadeia é normal, a outra é ramificada.

2

Isomeria de POSIÇÃO

Os dois são álcoois de cadeia normal: só o —OH mudou de carbono.

3

Isomeria de FUNÇÃO

Um é éter, o outro é álcool. A função orgânica mudou.

CORREÇÃO

Gabarito · questões 4 a 6

4

METAMERIA

Os dois são éteres de cadeia heterogênea: o oxigênio reparte a cadeia de outro jeito (1C | 3C e 2C | 2C).

5

Isomeria de FUNÇÃO

Aldeído (carbonila na ponta) × cetona (carbonila no meio).

6

TAUTOMERIA (aldo-enólica)

Aldeído e enol que se convertem espontaneamente, em equilíbrio.

PARA PENSAR

Desafio

O pentano tem fórmula C_5H_{12}. Quantos isômeros de cadeia existem com essa fórmula?

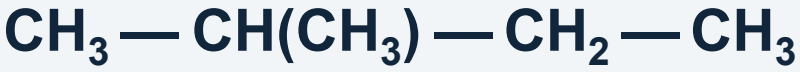
Pentano

cadeia normal



2-metilbutano

uma ramificação



2,2-dimetilpropano

duas ramificações



São 3 isômeros de cadeia.

6 Isomeria geométrica

Agora a fórmula estrutural plana é **igual** nos dois. O que muda é o arranjo **no espaço**.

ESTEREOISOMERIA

Plana × espacial: o que mudou?

ISOMERIA PLANA

- Os átomos estão ligados em **ordem diferente**
- Dá para ver na fórmula estrutural do papel
- Ex.: etanol × éter dimetílico

ISOMERIA ESPACIAL

- A ordem das ligações é **exatamente a mesma**
- O que muda é a **posição no espaço** dos ligantes
- Ex.: cis-but-2-eno × trans-but-2-eno

→ **A isomeria geométrica aparece nas duplas ligações e nas cadeias fechadas — onde os átomos não conseguem girar.**

A CAUSA

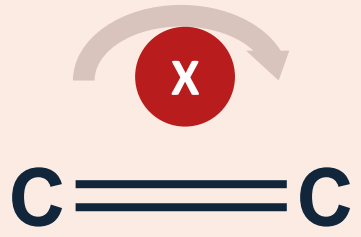
Por que existe: a dupla não gira

LIGAÇÃO SIMPLES C — C



Os carbonos **giram livremente**. Todas as posições são a mesma substância.

LIGAÇÃO DUPLA C = C



A dupla **trava** a molécula. Os ligantes ficam presos de um lado ou do outro.

Ligantes presos em lados diferentes = substâncias diferentes.

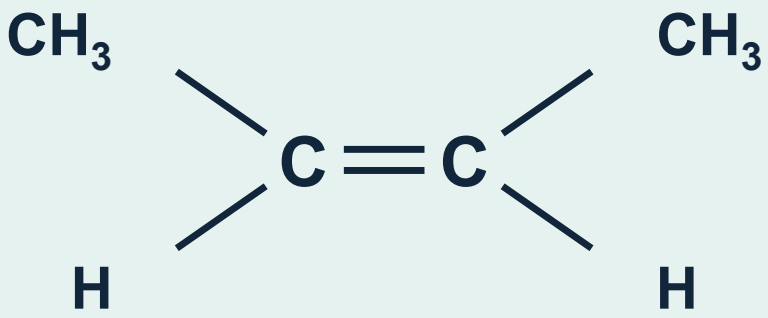
A CONDIÇÃO

Quando existe cis e trans?

Em **cada** carbono da dupla, os dois ligantes precisam ser **diferentes entre si**.

✓ **TEM cis-trans**

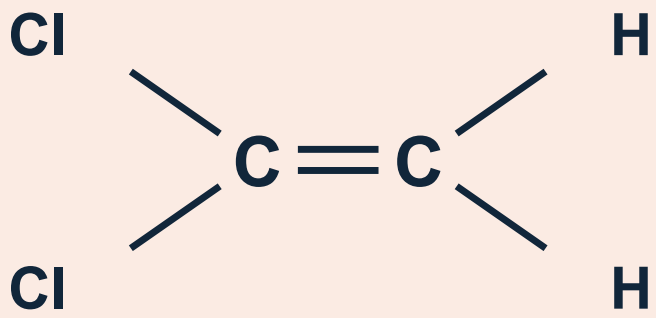
But-2-eno



cada carbono tem um CH_3 e um H

X **NÃO tem**

1,1-dicloroeteno

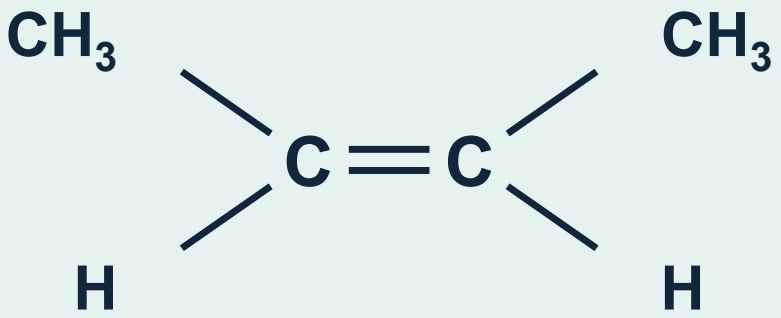


o carbono da esquerda tem **dois Cl iguais**

BUT-2-ENO · C_4H_8

cis × trans

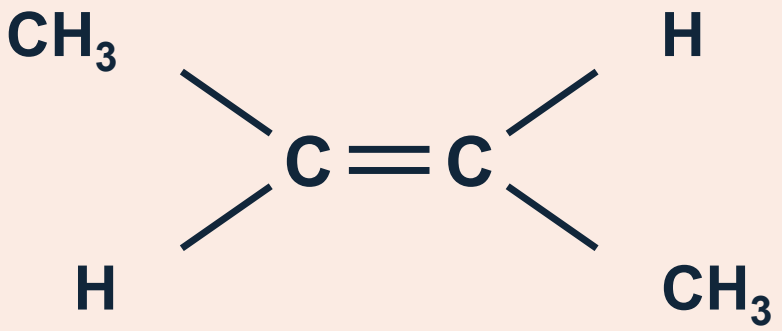
cis-but-2-eno



os dois CH_3 do **mesmo lado**

- Ferve a 3,7 °C
- Funde a -139 °C
- Molécula polar

trans-but-2-eno



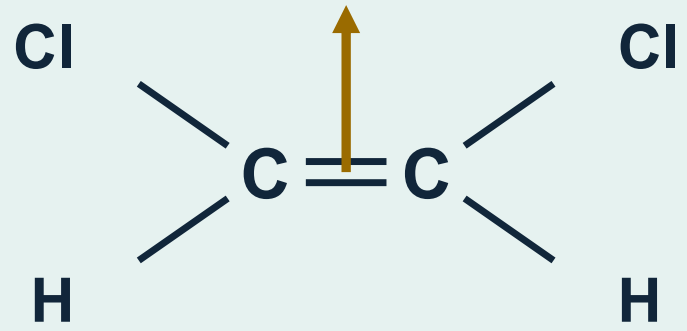
os dois CH_3 em **lados opostos**

- Ferve a 0,9 °C
- Funde a -106 °C
- Molécula apolar

São duas substâncias diferentes, com pontos de fusão e ebulição próprios.

cis e trans mudam a polaridade

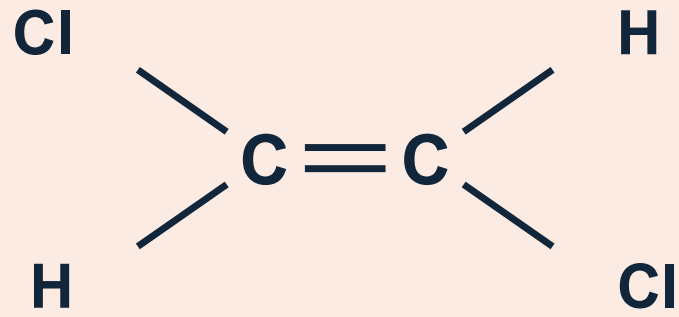
cis-1,2-dicloroeteno



Os dois Cl puxam elétrons para o mesmo lado.

μ ≠ 0 → POLAR

trans-1,2-dicloroeteno



Os dois Cl puxam para lados opostos e se anulam.

μ = 0 → APOLAR

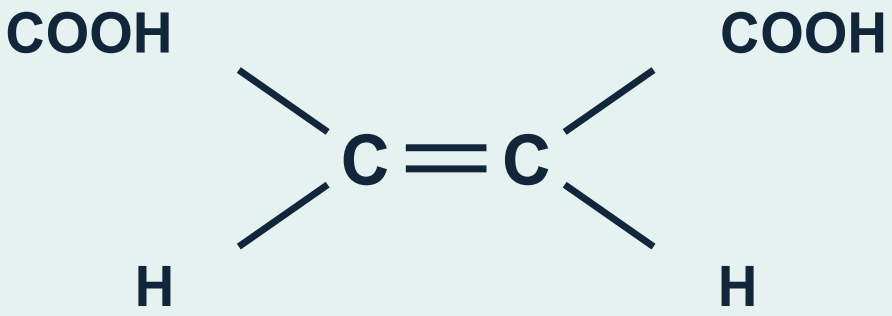
Polaridade diferente → solubilidade e ponto de ebulição diferentes.

ÁCIDO BUTENODIOICO · $C_4H_4O_4$

Dois ácidos muito diferentes

A Ácido maleico

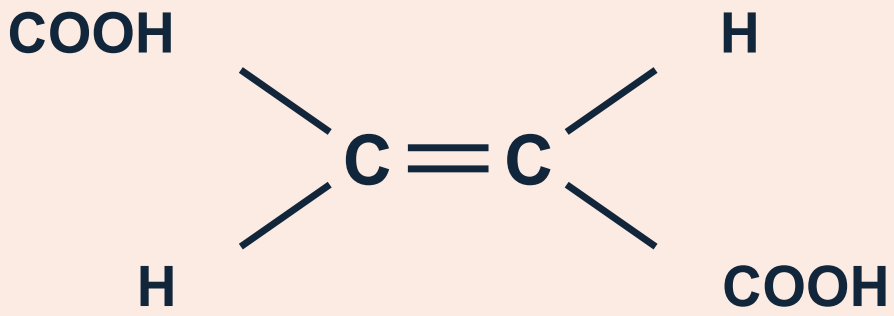
forma cis



- Funde a **130 °C**
- Bem solúvel em água
- Irritante, não aparece no corpo

B Ácido fumárico

forma trans



- Funde a **287 °C**
- Pouco solúvel em água
- Participa do ciclo de Krebs

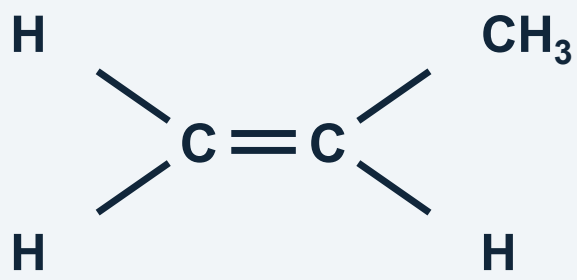
Mesma fórmula, mesma ligação — 157 °C de diferença no ponto de fusão.

CONTRAEXEMPLOS

Quando NÃO existe cis e trans

X

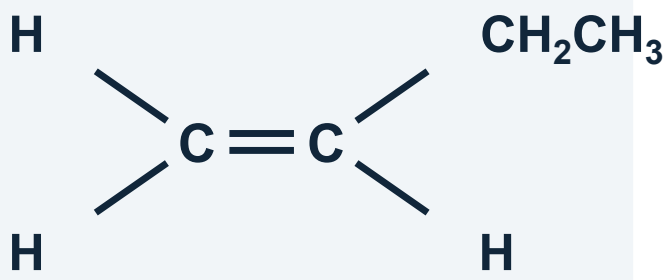
Propeno



O carbono da esquerda tem **dois H iguais**.

X

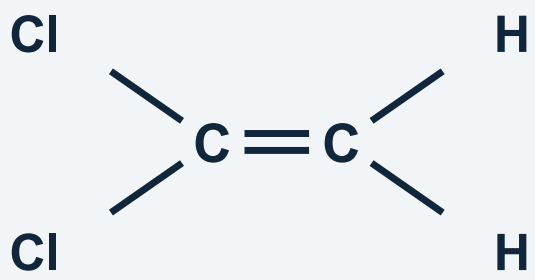
But-1-eno



De novo: **dois H** no mesmo carbono.

X

1,1-dicloroeteno



O carbono da esquerda tem **dois Cl iguais**.

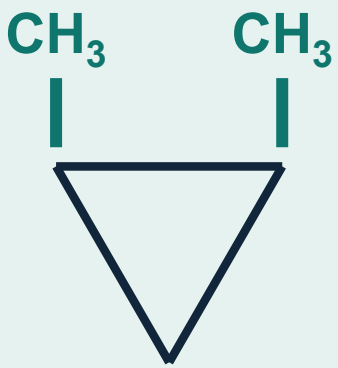
Basta um carbono da dupla com ligantes iguais para não haver isomeria geométrica.

1,2-DIMETILCICLOPROPANO

cis e trans em cadeias fechadas

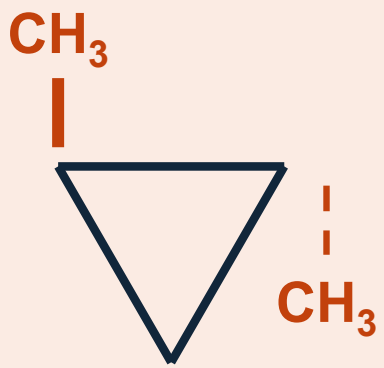
O anel também não gira: os ligantes ficam presos **acima** ou **abaixo** do plano.

cis



as duas metilas do mesmo lado

trans



uma acima, outra abaixo do plano

Traço cheio = ligante acima do plano Traço tracejado = abaixo do plano

APLICAÇÕES

Onde isso aparece na vida real

G

Gordura trans

O ácido oleico do azeite é **cis** e é líquido. A versão **trans** (elaídico) é sólida, entope artérias e é proibida em alimentos industrializados.

V

A sua visão

Na retina, o **11-cis-retinal** recebe a luz e vira **all-trans**. Essa mudança de geometria gera o impulso nervoso que você enxerga.

L

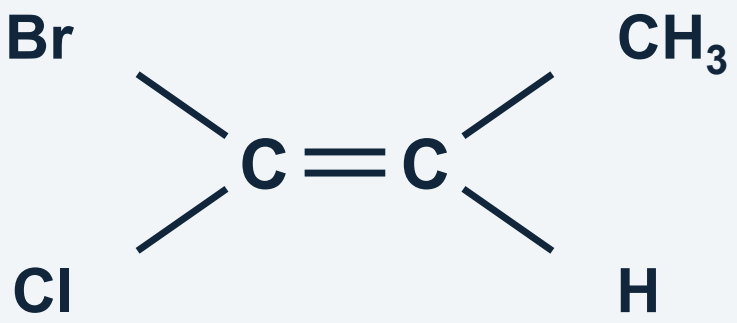
A cor do tomate

O licopeno tem 11 duplas ligações. A forma **all-trans** é a que dá o vermelho intenso do tomate maduro.

Trocar cis por trans muda o formato da molécula → muda o que ela faz.

E quando cis / trans não resolve?

1-bromo-1-cloropropeno



Os quatro ligantes são **diferentes**. Qual seria o “mesmo lado”?

Não dá para dizer cis nem trans: falta um par de ligantes iguais para servir de referência.

Por isso a IUPAC criou um sistema que funciona **sempre**:

O SISTEMA E / Z

CAHN - INGOLD - PRELOG

As regras de prioridade (CIP)

1 Ganha o átomo de MAIOR número atômico

I	>	Br	>	Cl	>	S	>	P	>	F	>	O	>	N	>	C	>	H
53		35		17		16		15		9		8		7		6		1

2 Empatou? Olhe o próximo átomo

Se os dois ligantes começam com C, compare o que vem depois.



3 Dupla e tripla contam em dobro

Um C ligado por dupla a um O conta como se tivesse dois O.



A prioridade é comparada dentro de cada carbono da dupla, separadamente.

PASSO A PASSO

Como decidir entre E e Z

1. No carbono da ESQUERDA, veja qual dos dois ligantes tem maior prioridade.
2. Faça o mesmo no carbono da DIREITA.
3. Os dois de maior prioridade estão do MESMO lado? → Z
4. Estão em lados OPOSTOS? → E

Z — ***Zusammen***
juntos, do mesmo lado

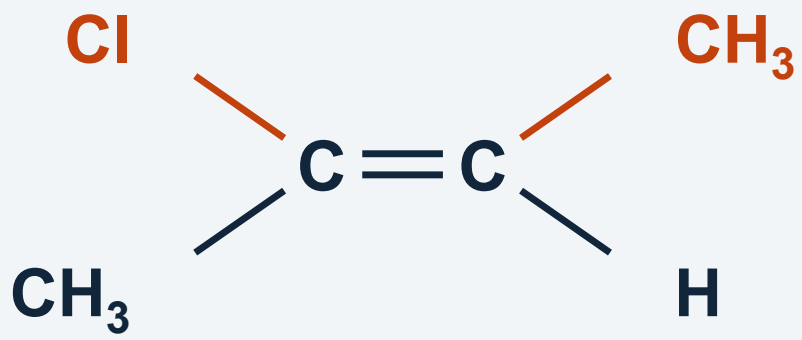
E — ***Entgegen***
opostos, em lados contrários

Para lembrar: Z de "zuntos".

2-CLORO-BUT-2-ENO

Exemplo resolvido

A estrutura



em laranja: o ligante de **maior prioridade** de cada carbono

Carbono da esquerda

Cl (Z=17) > CH_3 (C, Z=6)

vence o **Cl**, que está **em cima**

Carbono da direita

CH_3 (C, Z=6) > H (Z=1)

vence o **CH_3**, que está **em cima**

Conclusão

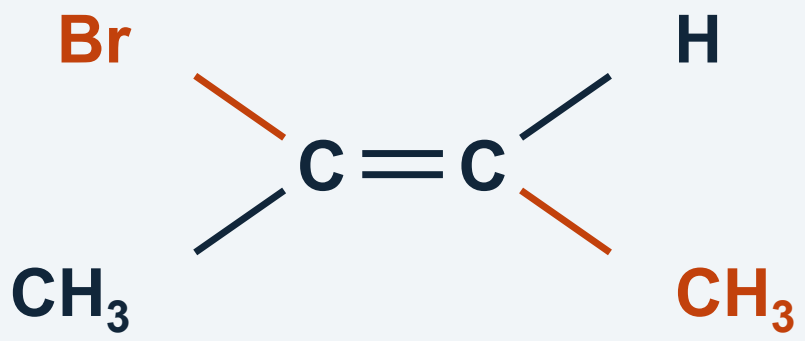
os dois estão do MESMO lado

logo é o **(Z)-2-cloro-but-2-eno**

Aqui cis e Z dão no mesmo — mas nem sempre é assim. Veja o próximo slide.

2-BROMO-BUT-2-ENO

Cuidado: cis nem sempre é Z



as duas metilas (a cadeia principal) estão **do mesmo lado**

Pelo nome antigo:

cis

a cadeia principal está do mesmo lado

Pelo sistema CIP:

(E)

Br vence o CH_3 na esquerda; CH_3 vence o H na direita — e eles estão em lados opostos.

! Quando os dois divergem, vale o E / Z: é o oficial da IUPAC.

QUESTÕES 1 E 2

Exercícios · isomeria geométrica

1 Quais destes compostos apresentam isomeria cis-trans?

a) $CH_3 — CH = CH — CH_3$

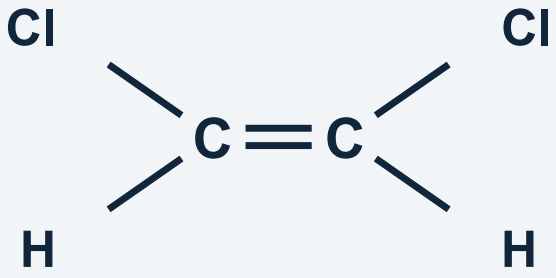
b) $CH_2 = CH — CH_2 — CH_3$

c) $CHCl = CHCl$

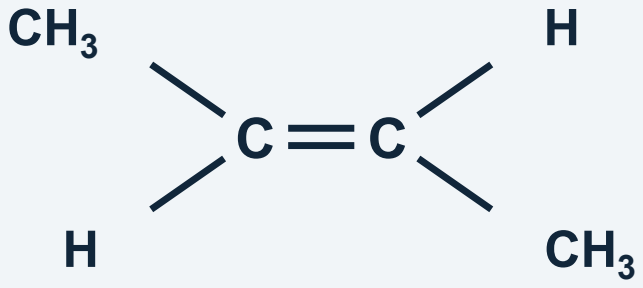
d) $CH_2 = CCl_2$

2 As estruturas abaixo são cis ou trans?

I.



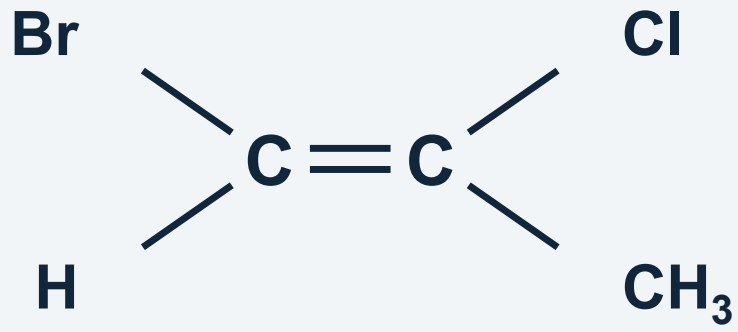
II.



QUESTÕES 3 E 4

Exercícios · isomeria geométrica

3 **A estrutura abaixo é E ou Z? Justifique com as prioridades.**



- Br: Z = 35
- Cl: Z = 17
- C: Z = 6
- H: Z = 1

4 Explique, com suas palavras, por que o but-1-eno (CH_2=CH—CH_2—CH_3) não apresenta isomeria cis-trans, enquanto o but-2-eno apresenta.

CORREÇÃO

Gabarito · isomeria geométrica

1 **Apenas (a) e (c)**

Em (b) e (d) um dos carbonos da dupla tem dois ligantes iguais.

2 **I. cis II. trans**

Em I os dois Cl estão do mesmo lado; em II, em lados opostos.

3 **É Z**

Esquerda: Br (35) vence H. Direita: Cl (17) vence CH_3. Ambos em cima.

4 **Porque o C1 do but-1-eno tem dois H iguais**

Sem ligantes diferentes nos dois carbonos, não há dois arranjos.

MAPA MENTAL

Resumo geral da aula

ISOMERIA PLANA

muda a ordem das ligações

Cadeia	muda o tipo de cadeia
Posição	muda o lugar de algo na cadeia
Função	muda a função orgânica
Metameria	muda o lugar do heteroátomo
Tautomeria	a função muda e há equilíbrio

ISOMERIA GEOMÉTRICA

a ordem é a mesma; muda o espaço

Onde	duplas ligações e ciclos
Condição	dois ligantes diferentes em cada C
cis	iguais do mesmo lado
trans	iguais em lados opostos
E / Z	regra CIP: maior nº atômico

PARA FIXAR

O que levar desta aula

1. Isômeros têm a mesma fórmula molecular e são substâncias diferentes.
2. Na isomeria plana muda a ordem das ligações: cadeia, posição, função, metameria e tautomeria.
3. Na isomeria geométrica a ordem é a mesma — o que muda é o lado: cis e trans.
4. Quando cis-trans não serve, use E / Z com as regras de prioridade.

Próxima aula: isomeria óptica (carbono quiral)