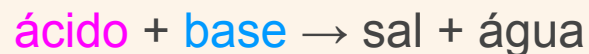


Titulação e Reações ácido-base



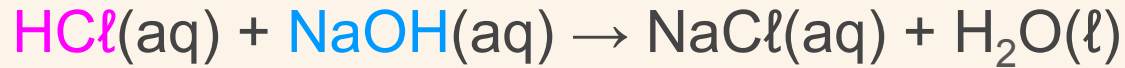
A reação que ocorre entre um **ácido** e uma **base** é designada por reação de **neutralização**.

As reações de **neutralização** em meio aquoso são, geralmente, reações completas:

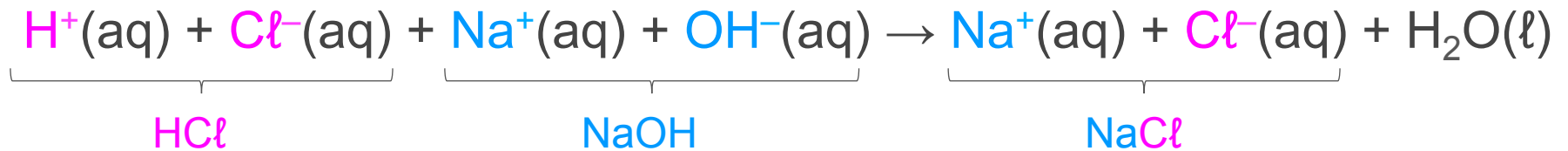


- Ocorre a formação de **água**;
- Ocorre a formação de um **sal** (composto iônico).

Considere a reação entre o **ácido clorídrico** (HCl) e o **hidróxido de sódio** (NaOH):



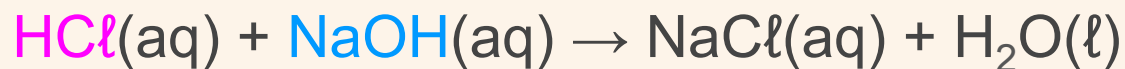
Tanto o **ácido** como a **base** em solução aquosa estão completamente **ionizados**



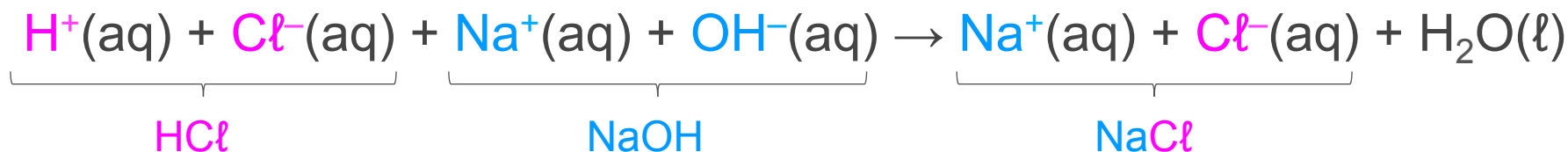
O **sal** originado resulta de:

- um **ião positivo** (Na^+) proveniente da **base**.
- um **ião negativo** (Cl^-) proveniente do **ácido**.

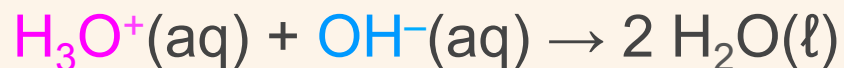
Considere a reação entre o **ácido clorídrico** (HCl) e o **hidróxido de sódio** (NaOH):



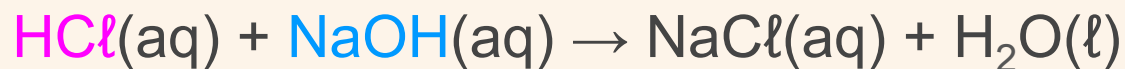
Tanto o **ácido** como a **base** em solução aquosa estão completamente **ionizados**



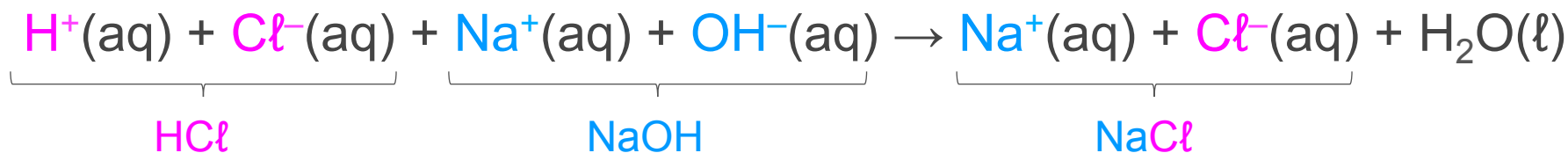
A reação entre os iões **H₃O⁺** e **OH⁻** dá origem a **água**:



Considere a reação entre o **ácido clorídrico** (HCl) e o **hidróxido de sódio** (NaOH):



Tanto o **ácido** como a **base** em solução aquosa estão completamente **ionizados**



Quando um **ácido forte** reage com uma **base forte** em quantidades estequiométricas, no final da reação existe apenas **sal** e **água**.

As reações de **neutralização** têm diversas aplicações na **saúde**.

Os medicamentos antiácidos **neutralizam** o **excesso** de **acidez** no estômago.

Estes medicamentos contêm **bases** como o hidróxido de alumínio na sua constituição.





Na **agricultura**, as reações de **neutralização** são importantes no **controlo do pH** do solo.

Consoante o tipo de cultura que se pretende para o solo:

- adicionam-se materiais **alcalinos** para **aumentar** o **pH** do solo;
- adicionam-se materiais **ácidos** para **diminuir** o **pH** do solo;



Também na **indústria**
as reações de **neutralização**
assumem um papel importante.

As reações de **neutralização**
são utilizadas, por exemplo,
no tratamento de águas.

Titulações ácido-base

As **titulações ácido-base** são uma ferramenta de **análise quantitativa** em Química Analítica.

Numa **titulação**, determina-se a concentração de uma solução aquosa de um **ácido** (ou base).

Para isso, **neutraliza-se** o **ácido** (ou base) com uma **base** (ou ácido) de **concentração conhecida**.

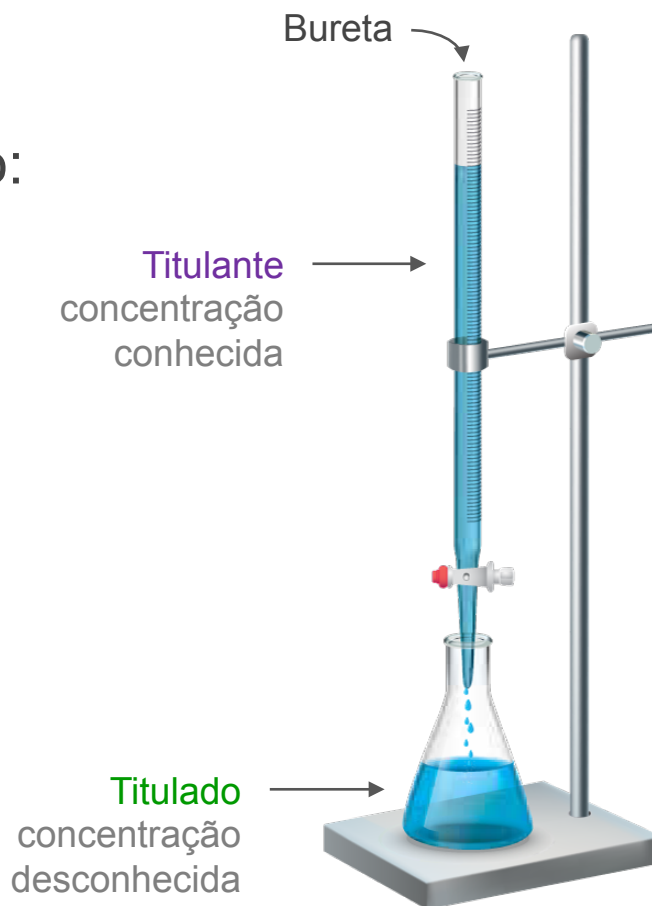


Titulação ácido-base.

A titulação ácido-base assenta num método de análise — a volumetria.

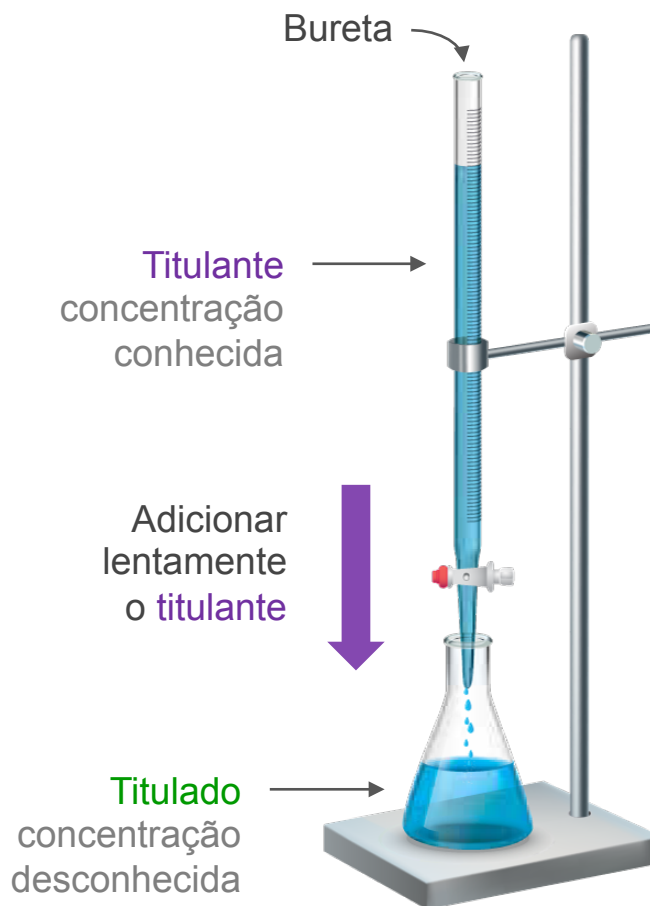
Numa **titulação ácido-base**, é necessário:

- um **titulante** (ácido ou base), de concentração conhecida;
- um **titulado** (ácido ou base), cuja concentração se pretende determinar.



A titulação ácido-base assenta num método de análise — a volumetria.

Numa **titulação**, adiciona-se lentamente o **titulante** ao **titulado**, até que a reação de **neutralização** esteja **completa**.



Quando a reação de **neutralização** está **completa**, diz-se que foi atingido o **ponto de equivalência**.

No **ponto de equivalência**:

- as quantidades de **titulante** e de **titulando** estão em **proporções estequiométricas**;
- o número total de iões H_3O^+ resultante da **ionização** do **ácido** é igual ao número total de iões OH^- resultante da ionização da **base**.

Para estudar uma reação química por **análise volumétrica**, esta deve permitir detetar rigorosamente o **ponto de equivalência**.

A reação química **deve...**

- ... ser **rápida**;
- ... ser **estequiométrica**;
- ... ser **completa**;
- ... apresentar **variação brusca de uma propriedade** facilmente detetável.

**Ponto de equivalência
e ponto final de uma titulação**

Um **indicador ácido-base** é uma substância cuja **cor depende do pH** do meio.

A solução alcoólica de fenolftaleína é um **indicador ácido-base**:



Em meio **ácido**, a solução alcoólica de fenolftaleína é **incolor**.



Em meio **básico**, a solução alcoólica de fenolftaleína é **rosa-carmim**.

A utilização de **indicadores ácido-base** nas reações de titulação permite acompanhar o progresso da reação e **detetar o ponto de equivalência**.

A mudança de cor do indicador **não é perceptível no ponto de equivalência**, mas apenas quando este já foi ultrapassado pela adição de um ligeiro excesso de titulante — o **ponto final** da titulação.

A diferença de volume de titulante entre os pontos de **equivalência** e **final** designa-se por **erro de titulação** e deve ser a menor possível.

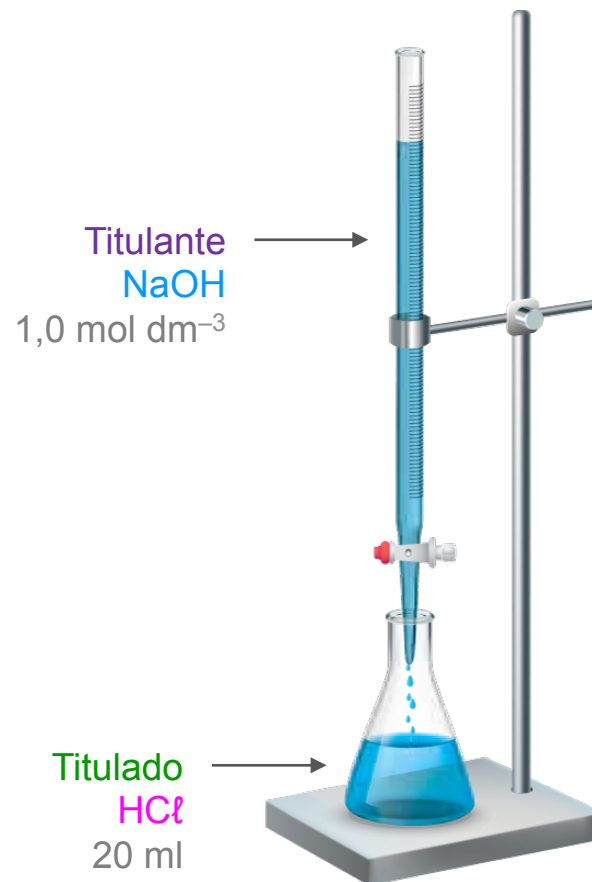
Curvas de titulação

Titulação ácido forte-base forte

Considere, como exemplo, a titulação de 20 ml de **ácido clorídrico (HCl)** por **hidróxido de sódio (NaOH)**.

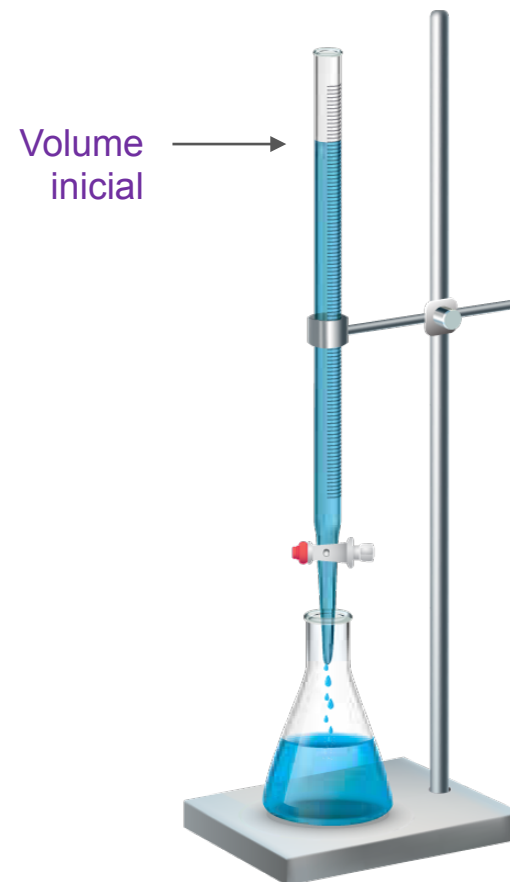
Nesta titulação:

- o **titulante** é o **hidróxido de sódio (NaOH)**, de **concentração $1,0 \text{ mol dm}^{-3}$** ;
- o **titulado** é o **ácido clorídrico (HCl)**, de **concentração desconhecida e volume 20 ml**.



Considere, como exemplo, a titulação de 20 ml de **ácido clorídrico** (HCl) por **hidróxido de sódio** (NaOH).

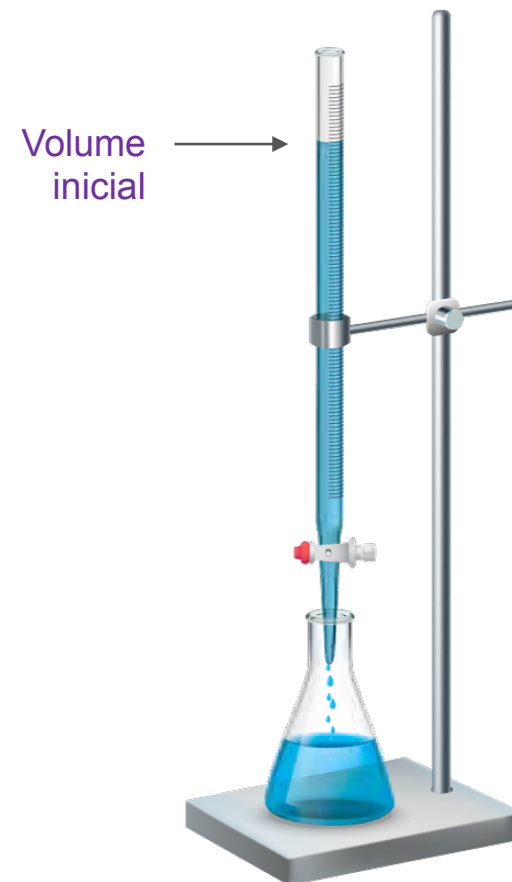
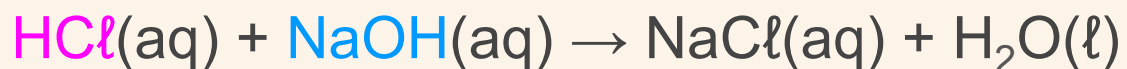
Adiciona-se lentamente o **titulante** (NaOH) ao **titulado**, até se atingir o **ponto de equivalência**.



Considere, como exemplo, a titulação de 20 ml de **ácido clorídrico (HCl)** por **hidróxido de sódio (NaOH)**.

Adiciona-se lentamente o **titulante (NaOH)** ao **titulado**, até se atingir o **ponto de equivalência**.

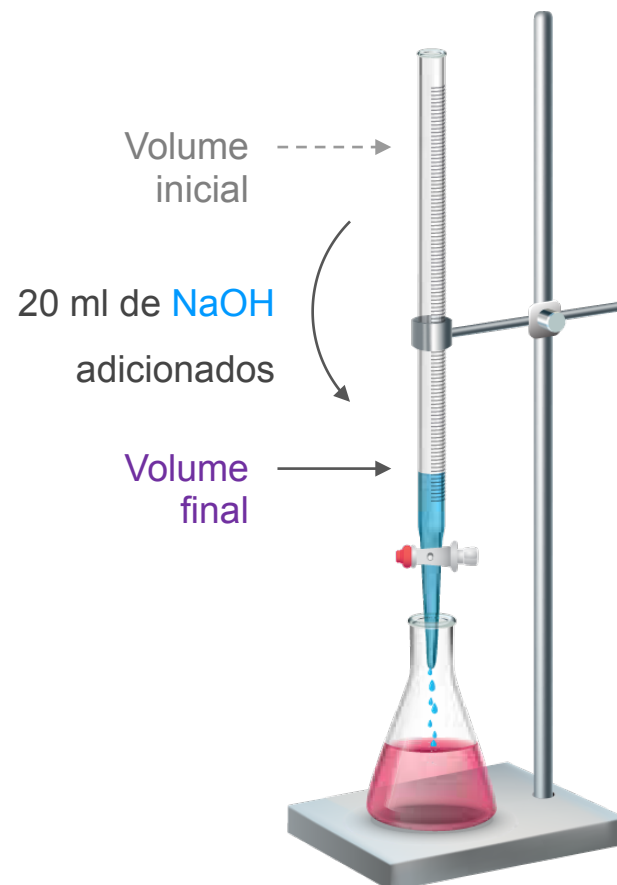
A reação de **neutralização** é dada por:



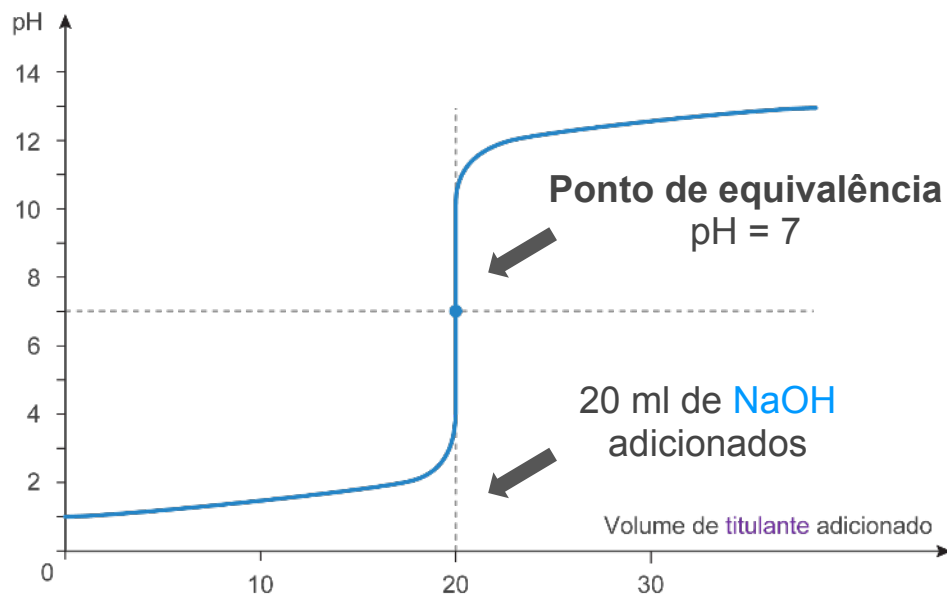
Considere, como exemplo, a titulação de 20 ml de **ácido clorídrico (HCl)** por **hidróxido de sódio (NaOH)**.

No **ponto final** da reação (próximo do **ponto de equivalência**), o indicador (fenolftaleína) muda de cor.

Neste caso, foram adicionados aproximadamente 20 ml de **NaOH** até se atingir o **ponto de equivalência**.



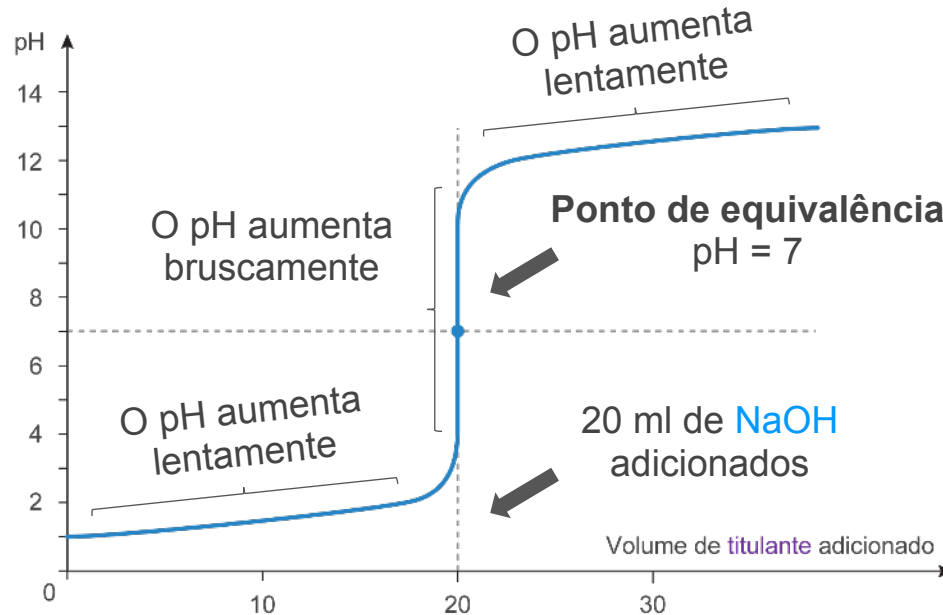
A curva de titulação seguinte representa a variação de pH da reação de **neutralização** com a adição de **titulante**:



No **ponto de equivalência**, a solução obtida é neutra \Rightarrow **pH = 7**.

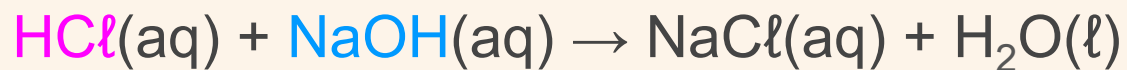
Foram necessários 20 ml de **NaOH** para atingir
o **ponto de equivalência**.

A curva de titulação seguinte representa a variação de pH da reação de **neutralização** com a adição de **titulante**:



Podem considerar-se **três zonas** na curva de titulação:

- 1.^a — o pH aumenta muito ligeiramente;
- 2.^a — o pH aumenta bruscamente para uma pequena adição de **titulante**;
- 3.^a — o pH aumenta muito ligeiramente.



Tendo em conta que a **estequiometria** da equação é **1:1**,
no ponto de equivalência:

$$n_{\text{H}_3\text{O}^+} = n_{\text{OH}^-} \quad \Rightarrow \quad n_{\text{HCl}} = n_{\text{NaOH}}$$

Como:

$$C = \frac{n}{V} \quad \Rightarrow \quad n = C \times V$$

Então:

$$C_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} = C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}}$$

A partir do volume de **titulante** adicionado para atingir o **ponto de equivalência**, é possível calcular a concentração inicial de **titulado**:

Titulante (NaOH)

Concentração

1,0 mol dm⁻³

Vol. adicionado no ponto de equivalência

20 ml

Titulado (HCl)

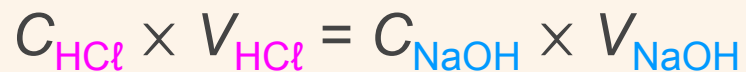
Concentração

?

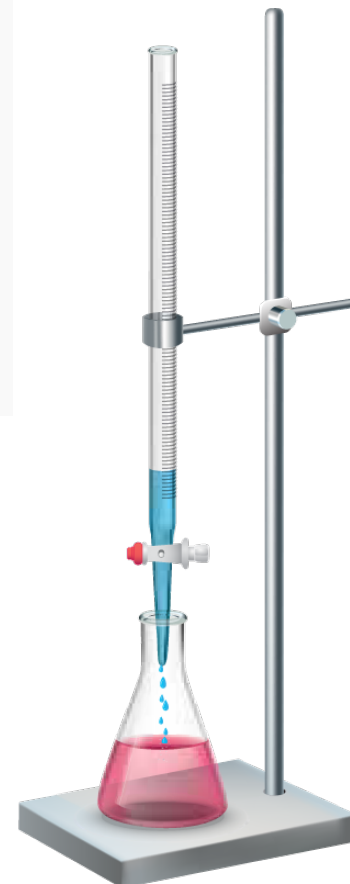
Volume inicial

20 ml

No ponto de equivalência:



$$C_{\text{HCl}} \times 20 = 1,0 \times 20 \quad \Leftrightarrow \quad C_{\text{HCl}} = 1,0 \text{ mol dm}^{-3}$$



A partir do volume de **titulante** adicionado para atingir o **ponto de equivalência**, é possível calcular a concentração inicial de **titulado**:

Titulante (NaOH)

Concentração

1,0 mol dm⁻³

Vol. adicionado no ponto de equivalência

20 ml

Titulado (HCl)

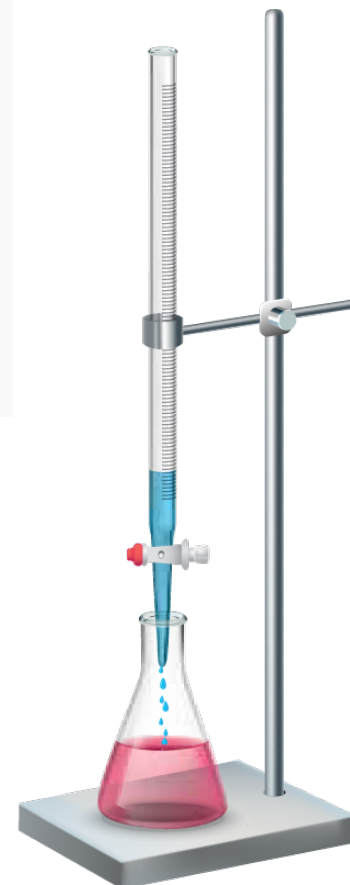
Concentração

?

Volume inicial

20 ml

Conclui-se, então, que a concentração inicial de **HCl** é de 1,0 mol dm⁻³.



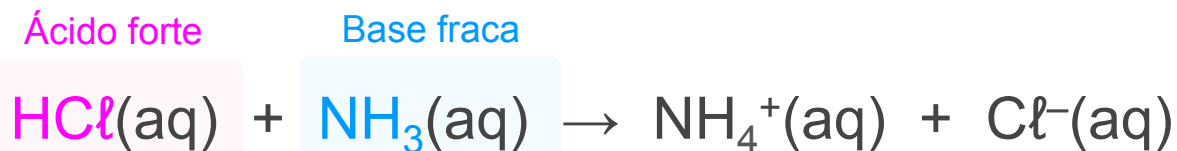
Curvas de titulação

Titulação base fraca-ácido forte

Nas titulações que envolvem uma **base fraca** e um **ácido forte**, o **pH no ponto de equivalência é inferior a 7** (a 25 °C).

O **pH no ponto de equivalência** corresponde ao **pH do sal formado** em solução aquosa.

Considere a reação entre o **ácido clorídrico** e o **amoníaco**:



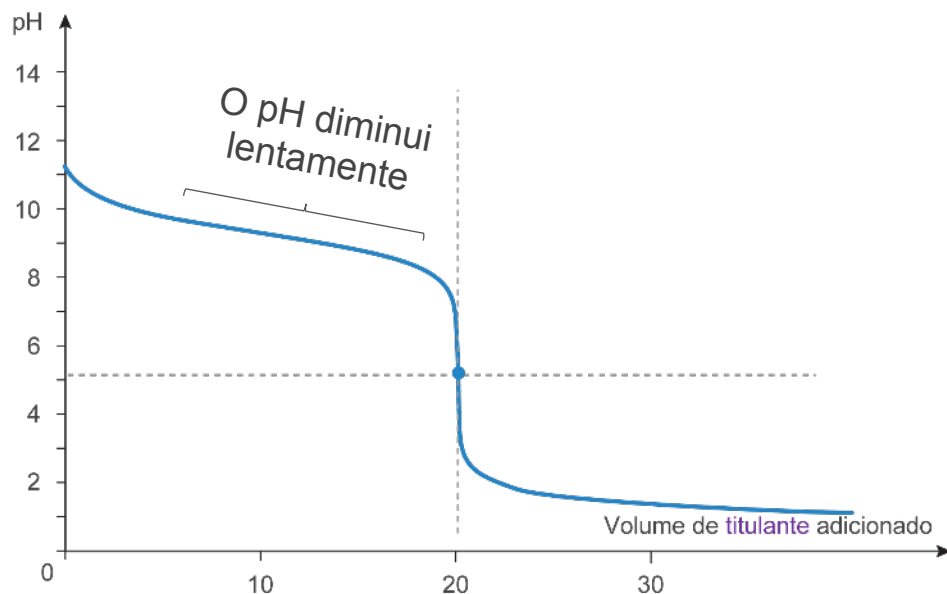
- Cl^- é a **base** conjugada de um **ácido forte**, sendo **praticamente neutro**.

- NH_4^+ é o **ácido** conjugado de uma **base fraca** e tem carácter **ácido**:



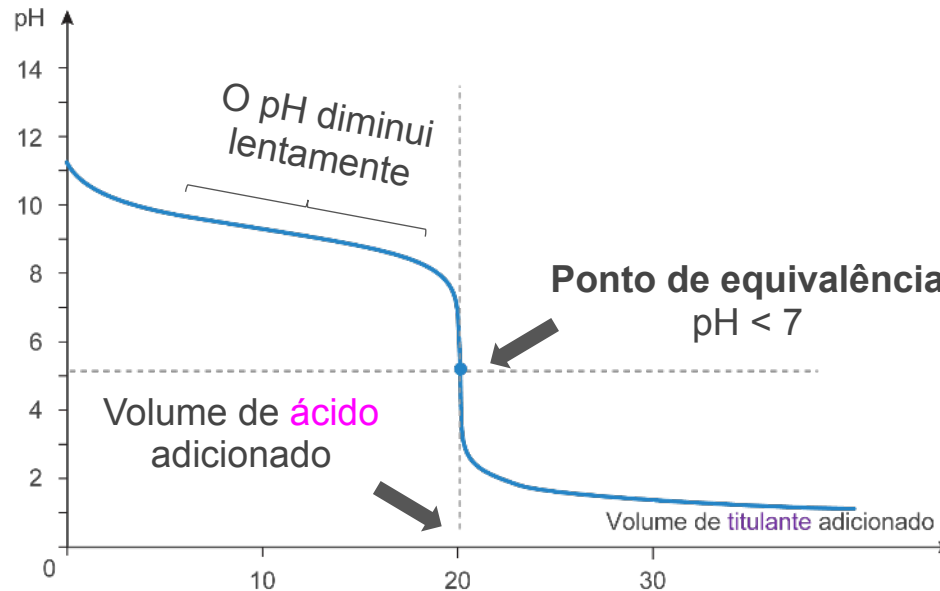
No **ponto de equivalência**, a solução do sal formada é **ácida**;
por isso, o **pH é inferior a 7**.

Uma **titulação base fraca-ácido forte** apresenta uma **curva de titulação** semelhante à do gráfico seguinte:



A adição das primeiras porções de **titulante** provoca uma **descida considerável no valor do pH**, para, logo de seguida, este valor sofrer apenas um **decréscimo muito lento**.

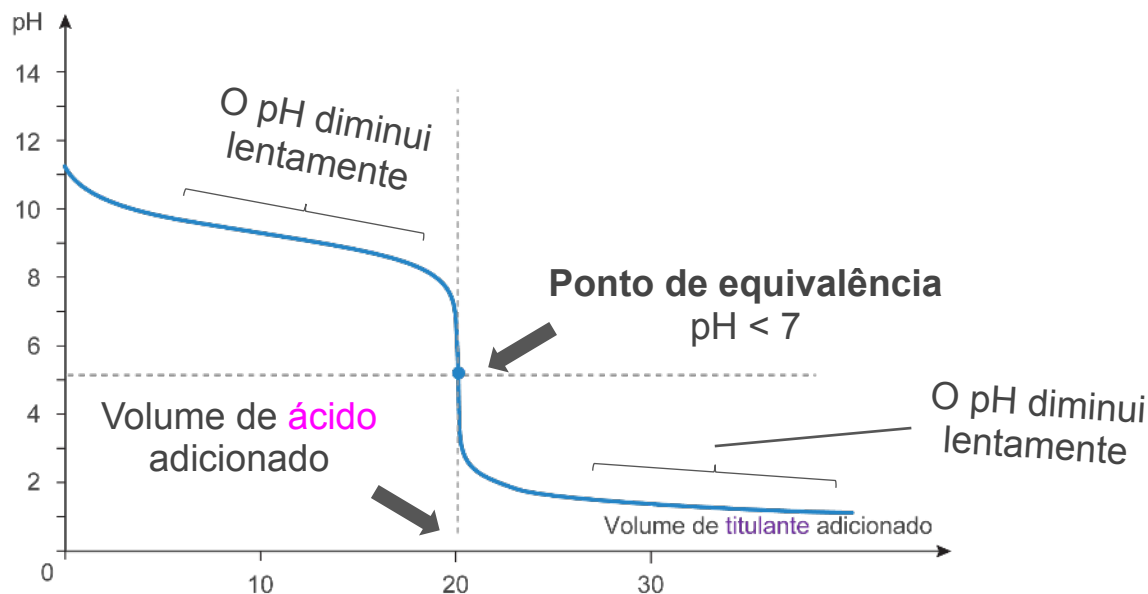
Uma **titulação base fraca-ácido forte** apresenta uma **curva de titulação** semelhante à do gráfico seguinte:



Verifica-se que, no **ponto de equivalência**, o pH é inferior a 7.

Próximo do ponto de equivalência, há uma **queda abrupta do pH**.

Uma **titulação base fraca-ácido forte** apresenta uma **curva de titulação** semelhante à do gráfico seguinte:



Passado o ponto de equivalência,
o pH diminui lentamente.

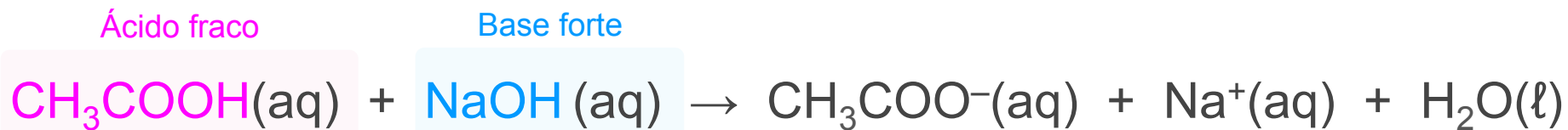
Curvas de titulação

Titulação ácido fraco-base forte

Nas titulações que envolvem um **ácido fraco** e uma **base forte**, o pH no ponto de equivalência é superior a 7 (a 25 °C).

O pH no ponto de equivalência corresponde ao pH do sal formado em solução aquosa.

Considere a reação entre o **ácido acético** e o **hidróxido de sódio**:



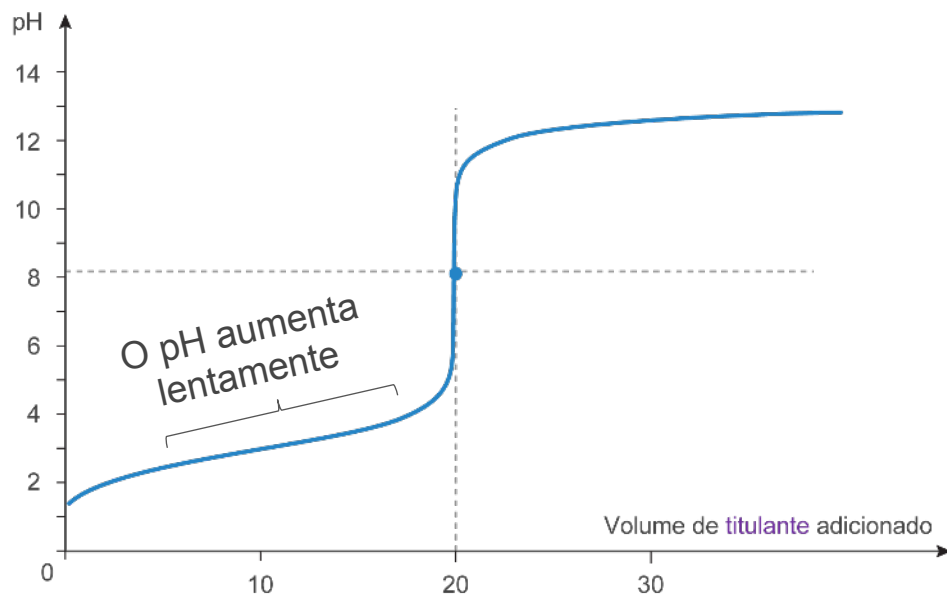
- Na^+ é o **ácido** conjugado de uma **base forte**, sendo **praticamente neutro**.

- CH_3COO^- é a **base** conjugada de um **ácido fraco** e tem carácter **básico**:



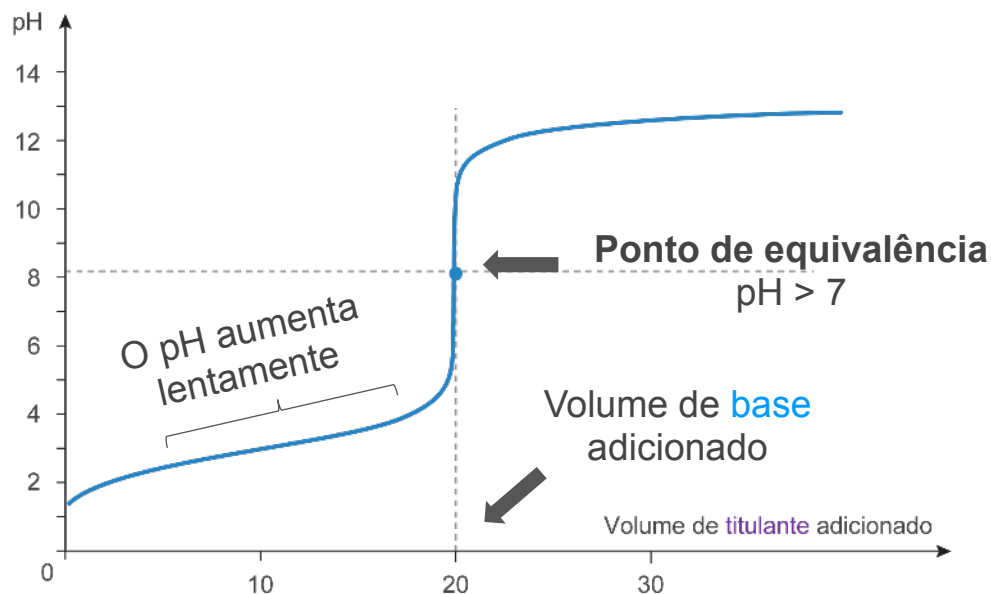
No **ponto de equivalência**, a solução do sal formada é **básica**; por isso, o **pH é superior a 7**.

Uma **titulação ácido fraco-base forte** apresenta uma **curva de titulação** semelhante à do gráfico seguinte:



A adição das primeiras porções de **titulante** provoca uma **subida considerável no valor do pH**, para, logo de seguida, este valor sofrer apenas um **aumento muito lento**.

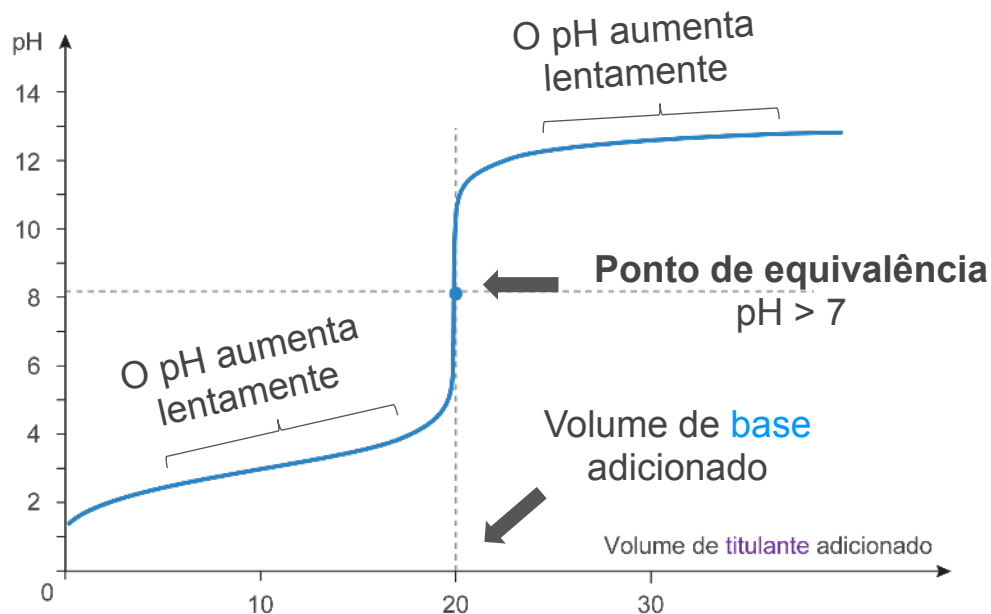
Uma **titulação ácido fraco-base forte** apresenta uma **curva de titulação** semelhante à do gráfico seguinte:



Verifica-se que, no **ponto de equivalência**, o pH é superior a 7.

Próximo do ponto de equivalência, há uma **subida abrupta do pH**.

Uma **titulação ácido fraco-base forte** apresenta uma **curva de titulação** semelhante à do gráfico seguinte:



Passado o ponto de equivalência,
o pH aumenta lentamente.

Indicadores ácido-base

Um **indicador ácido-base** é uma solução que contém um **ácido** ou uma **base fraca**.

Um **indicador** em solução pode ser descrito pelo **equilíbrio**:



A **constante de equilíbrio** (ou **ionização**) é dada por:

$$K_{\text{ind}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{Ind}^{\text{-}}]}{[\text{HInd}]}$$

Um **indicador ácido-base** é uma solução que contém um **ácido** ou uma **base fraca**.

Um **indicador** em solução pode ser descrito pelo **equilíbrio**:



Quando o **indicador** está na presença de uma solução **ácida**:

- **umenta a concentração de H_3O^+** , o que desloca o equilíbrio no **sentido inverso**;
- predomina a forma molecular do indicador, **HInd**;
- surge a cor característica de **HInd**.

Um **indicador ácido-base** é uma solução que contém um **ácido** ou uma **base fraca**.

Um **indicador** em solução pode ser descrito pelo **equilíbrio**:

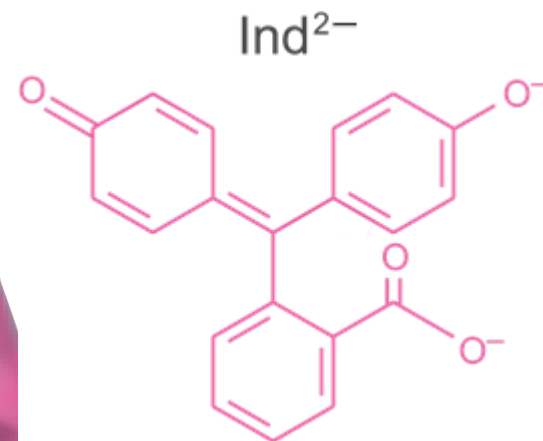
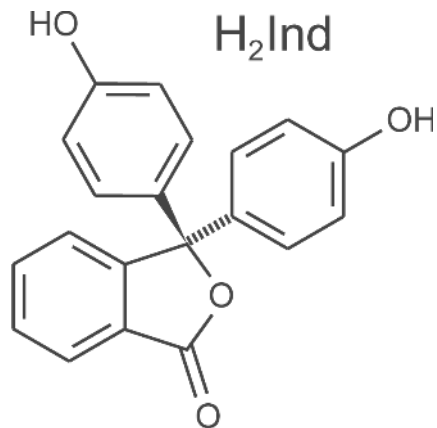


Quando o **indicador** está na presença de uma solução **básica**:

- o equilíbrio desloca-se no **sentido direto**;
- predominam os iões **Ind⁻**;
- surge a cor característica de **Ind⁻**.

Num **indicador de pH**, as espécies do par ácido-base conjugado **apresentam cores diferentes**.

No caso da **solução alcoólica de fenolftaleína**:



Para $0 < pH < 8,2$, a solução alcoólica de fenolftaleína é **incolor**.

Para $8,2 < pH < 12$, a solução alcoólica de fenolftaleína é **rosa-carmim**.

Quando $[HInd] = [Ind^-]$, a cor do indicador resulta de uma **mistura de cores** de $HInd$ e Ind^- .

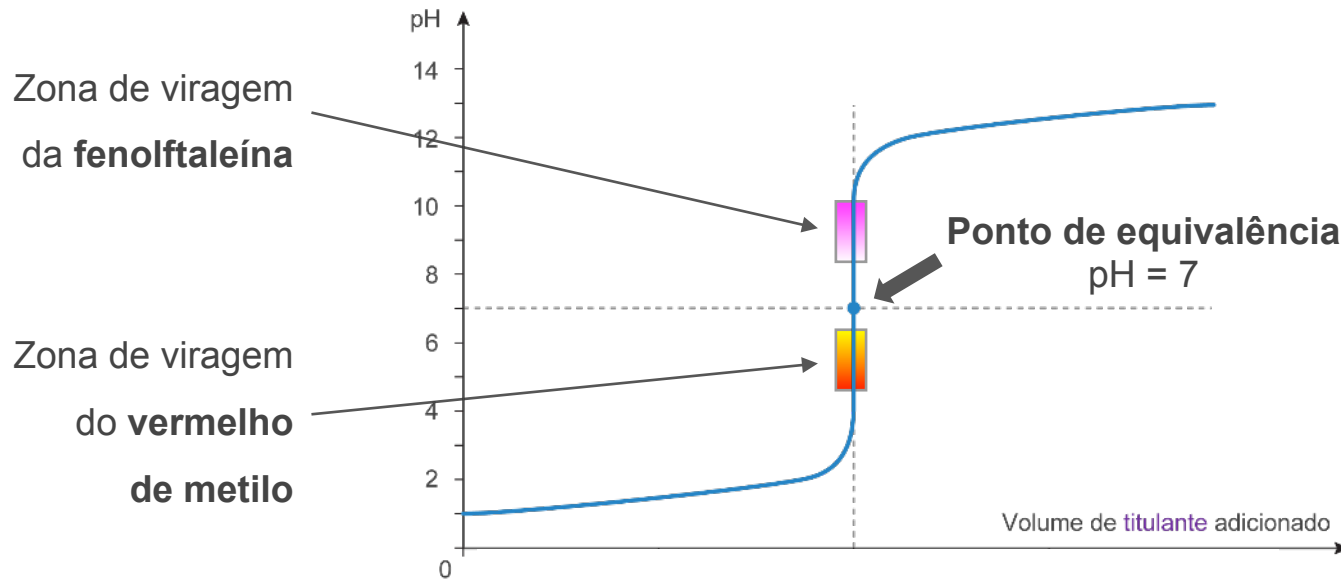
O intervalo de pH em que **não predomina nenhuma das cores** designa-se por **zona de viragem**.

Indicador	Cor em meio				Zona de viragem pH
	ácido		alcalino		
Alaranjado de metilo	vermelho	●	amarelo	●	3,1-4,4
Vermelho de metilo	vermelho	●	amarelo	●	4,4-6,3
Tornesol	vermelho	●	azul	●	5,0-8,0
Fenolftaleína	incolor	∅	carmim	●	8,3-10,0

Para assinalar o **ponto de equivalência** numa titulação, deve **escolher-se o indicador adequado**:

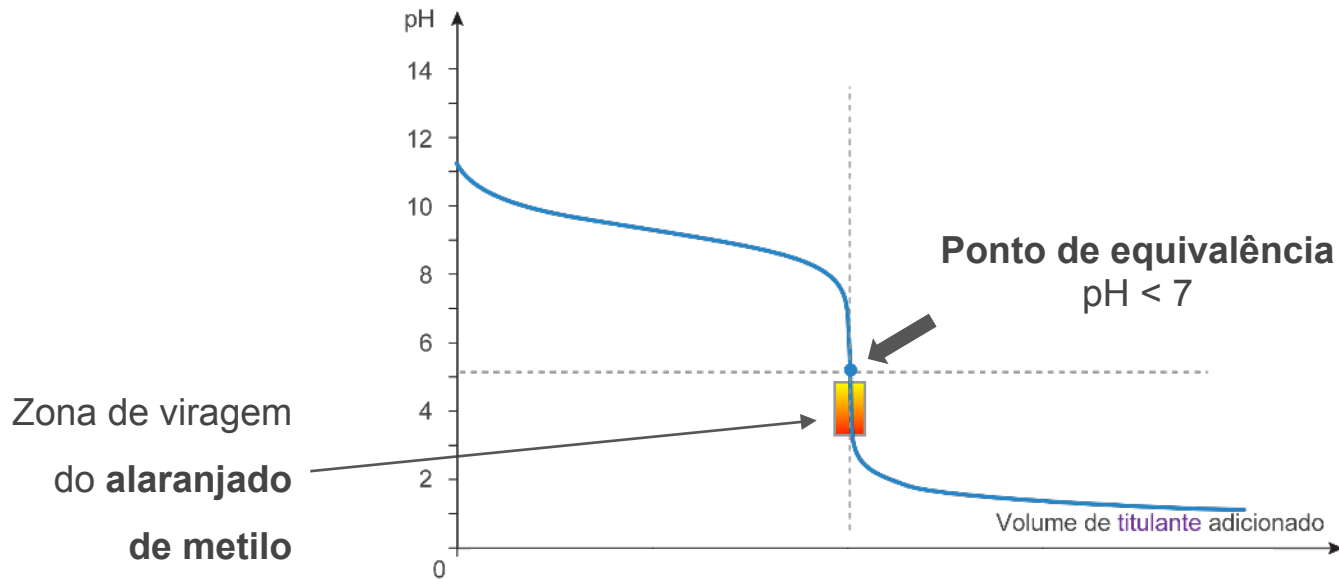
- O **pK_{Ind}** deve estar o mais próximo possível do **ponto de equivalência**;
- O **pH** correspondente ao **ponto de equivalência** deve estar **contido na zona de viragem do indicador**;
- Quanto mais estreita for a zona de viragem, melhor será o indicador;
- **A zona de viragem pode não conter o pH no ponto de equivalência**, desde que esta esteja totalmente incluída no intervalo de variação brusca do valor de pH, que ocorre na vizinhança do ponto de equivalência.

Numa titulação **ácido forte-base forte**, o **vermelho de metilo** e a **fenolftaleína** são adequados para assinalar o **ponto de equivalência**:



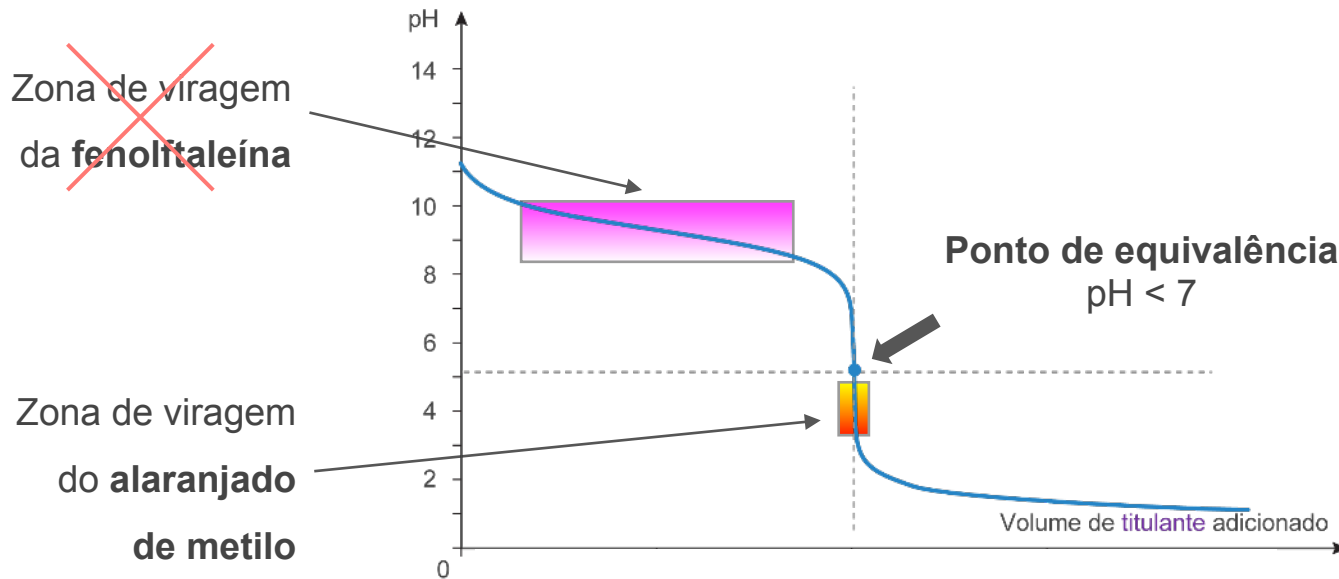
Apesar de a **zona de viragem** não incluir o **ponto de equivalência**, está totalmente incluída no intervalo de variação brusca do valor de pH.

Numa titulação **base fraca-ácido forte**, o **alaranjado de metilo** é uma boa escolha para assinalar o **ponto de equivalência**:



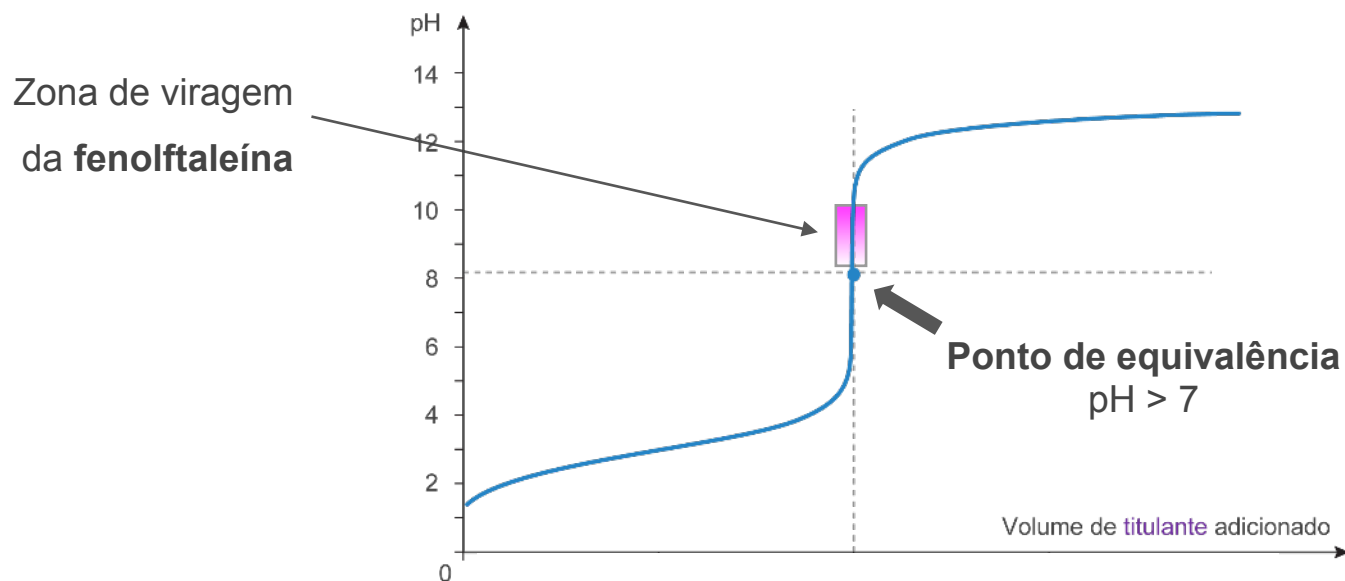
A **zona de viragem** não inclui o **ponto de equivalência**, mas está incluída no intervalo de variação brusca do valor de pH.

Numa titulação **base fraca-ácido forte**, o **alaranjado de metilo** é uma boa escolha para assinalar o **ponto de equivalência**:



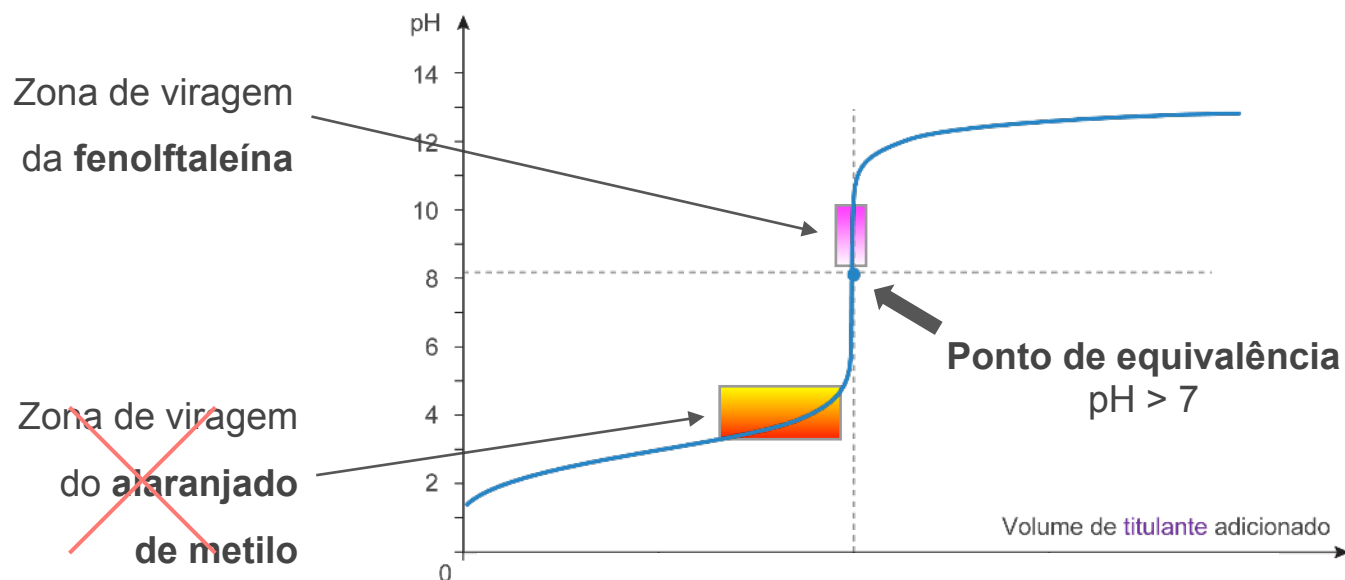
Neste caso, a **fenolftaleína** seria uma **má escolha**, uma vez que a sua zona de viragem **não coincide com a zona de maior declive da curva**.

Numa titulação **ácido fraco-base forte**, a **fenolftaleína** é uma boa escolha para assinalar o **ponto de equivalência**:



A **zona de viragem** não inclui o **ponto de equivalência**, mas está incluída no intervalo de variação brusca do valor de pH.

Numa titulação **ácido fraco-base forte**, a **fenolftaleína** é uma boa escolha para assinalar o **ponto de equivalência**:



O **alaranjado de metilo** seria uma **má escolha**, uma vez que a sua zona de viragem **não coincide com a zona de maior declive da curva**.

Conclusão

- A reação que ocorre entre um **ácido** e uma **base** é designada por reação de **neutralização**.
- A **titulação ácido-base** assenta num método de análise — a **volumetria** — e permite determinar a concentração de um **ácido** ou **base**.

Conclusão

- **No ponto de equivalência:**
 - **pH = 7** para uma titulação **ácido forte-base forte**;
 - **pH < 7** para uma titulação **ácido forte-base fraca**;
 - **pH > 7** para uma titulação **ácido fraco-base forte**;

Conclusão

- Um **indicador ácido-base** é uma solução que contém um **ácido** ou uma **base fraca**.
- Num **indicador de pH**, as espécies do par ácido-base conjugado **apresentam cores diferentes**.