

MÁRCIO ROBERTO VIANA SANTOS

Professor Titular de Fisiologia Humana

Desvendando o Sistema Urinário

FUNDAMENTOS ESSENCIAIS PARA
GRADUAÇÃO

1^a Edição



Inteleka

MÁRCIO ROBERTO VIANA SANTOS, PhD

Desvendando o Sistema Urinário

Fundamentos Essenciais para Graduação

1^a Edição

2025

Copyright © 2025 por Márcio Santos

Todos os direitos desta publicação são reservados ao Autor.

EDITORAS INTELEKTA. Aracaju – SE www.intelekta.com.br |
intelektaoficial@gmail.com

Nenhuma parte deste livro pode ser utilizada ou reproduzida sob quaisquer meios existentes sem autorização por escrito do autor ou da Editora (www.intelekta.com.br).

Avisos Importantes

- Esse **e-book** foi feito com muito trabalho e dedicação, e está **protegido** pelas Leis Brasileiras, especialmente a Lei de Direitos Autorais (Lei nº 9.610/98) e o Código Penal (Art. 184).

Isso significa que **não é permitido copiar, distribuir, vender ou compartilhar** esse conteúdo sem a autorização do autor. Se alguém fizer isso, pode estar cometendo um crime, com pena de multa e detenção. Caso haja intenção de lucro, a pena poderá ser aumentada.

Então, por favor, não compartilhe esse e-book de forma ilegal. Se você curtiu o conteúdo, apoie o trabalho de quem criou. Isso ajudará a manter esse tipo de material vivo e melhor a cada dia.

Se quiser mostrar para alguém, recomende a compra oficial. Todo mundo sai ganhando!
Obrigado por respeitar e valorizar o trabalho autoral.

- O **Autor** e a **Editora** se esforçaram para incluir as informações mais atuais e aceitas à época da publicação desta edição. Porém, dada a constante evolução do conhecimento científico, recomendamos que, em caso de dúvidas, os leitores procurem sempre outras fontes mais atualizadas. Além disso, o autor e a editora procuraram citar e dar o crédito a todos os detentores de direitos autorais dos materiais inseridos neste livro, dispondo-se a corrigi-los caso, inadvertida e involuntariamente, a citação tenha sido omitida.

Santos, Márcio Roberto Viana dos
Desvendando o sistema urinário [livro
eletrônico] : fundamentos essenciais para
graduação / Márcio Roberto Viana Santos. --
1. ed. -- Aracaju, SE : Ed. do Autor, 2025.
PDF

Bibliografia.
ISBN 978-65-01-59313-5

1. Fisiologia humana 2. Rins - Doenças -
Diagnóstico 3. Rins - Doenças - Tratamento
4. Sistema urinário - Doenças 5. Urologia I. Título.

25-287327

CDD-612
NLM-QT-104

Sumário

Prefácio	7
Capítulo 1	8
Introdução ao Sistema Urinário	8
Porque Estudar o Sistema Urinário	8
Funções do Sistema Urinário	9
Anatomia do Sistema Urinário	11
Princípios Básicos da Formação da Urina pelos Rins	14
Capítulo 2	21
Anatomia Funcional dos Rins e do Néfron	21
A Importância dos Rins	21
Anatomia do Rim	21
O Néfron	23
Fluxo Sanguíneo nos Rins e nos Néfrons	25
Microanatomia do Néfron	26
Arteríolas e Capilares Renais	27
Capítulo 3	30
Filtração Glomerular	30
Recapitulando a Formação da Urina pelos Rins	30
Filtração Glomerular	30
A Membrana de Filtração do Capilar Glomerular	30
Fatores que Interferem na Filtrabilidade de uma Molécula	33
Intensidade de Filtração Glomerular	35
Pressão Efetiva de Filtração (PEF)	35

Coeficiente de Filtrabilidade (K_f).....	39
Fatores que Influenciam a Filtração Glomerular.....	42
Mecanismos Fisiológicos de Regulação da FG.....	45
Capítulo 4	50
Reabsorção tubular	50
Por que Reabsorver?.....	50
Microanatomia Funcional do Epitélio Tubular Renal.....	51
Vias e Mecanismos de Reabsorção Tubular.....	53
Reabsorção ao Longo do Túbulo.....	62
Mecanismos de Regulação da Reabsorção.....	65
Ação do ADH no Ducto Coletor.....	68
Capítulo 5	72
Secreção tubular	72
Mecanismos de Secreção Tubular.....	72
Secreção ao Longo do Túbulo.....	77
Mecanismos de Regulação da Secreção.....	79
Capítulo 6	82
Micção	82
Micção: Armazenamento e Eliminação da Urina.....	82
Reflexo da Micção.....	84
Formação do Volume Diário e Composição da Urina.....	86
Composição Final da Urina.....	88
Capítulo 7	91
Equilíbrio Ácido-Base	91
O que é pH e Por Que o Corpo Precisa Regulá-lo?.....	91

Principais Fontes Corporais de Ácidos e Bases.....	92
Sistemas Corporais de Regulação do pH.....	94
Sistemas de Tamponamento dos líquidos corporais.....	94
Sistema Pulmonar.....	99
Sistema Renal.....	100
Limite Fisiológico do pH Urinário.....	105
Integração entre Sistemas Pulmonar e Renal.....	106
Glossário de Termos Técnicos.....	108
Referências Bibliográficas Sugeridas.....	113
Sobre o Autor.....	114
Agradecimentos.....	115
Comprem agora e leiam também.....	116
Assistam nossas aulas no Youtube.....	116

Prefácio

Olá, alunos! Sejam todos muito bem-vindos ao nosso segundo e-book de Fisiologia Humana. Este material foi elaborado por mim, Professor Márcio Santos, com o objetivo de oferecer suporte e facilitar a aprendizagem dessa disciplina tão importante, utilizando uma linguagem simples, clara, direta e objetiva.

Neste segundo e-Book, abordaremos diversos tópicos relacionados à Fisiologia do Sistema Urinário, entre eles: anatomia e funções do sistema urinário, anatomia funcional dos rins e do néfron, as etapas de formação da urina pelos rins, a filtração glomerular e sua regulação, a estrutura do capilar glomerular, a reabsorção e secreção tubular, os mecanismos de concentração e diluição da urina, a micção e, por fim, o equilíbrio ácido-base.

Espero que aproveitem ao máximo todo o conteúdo que preparamos com muito carinho especialmente para vocês.

Prof. Márcio Viana Santos

Capítulo 1

Introdução ao Sistema Urinário

Olá, alunos! Estamos começando mais um e-book. O tema agora será o Sistema Urinário. Neste primeiro capítulo, faremos uma breve introdução sobre esse importante sistema, abordando suas funções e anatomia, bem como as etapas de formação da urina pelos rins. Nos próximos capítulos, estudaremos cada uma dessas etapas, como a filtração glomerular, a reabsorção e a secreção tubular, e suas regulações. Finalizaremos o e-book com o estudo da micção e do equilíbrio ácido-base. Vamos começar?

Porque Estudar o Sistema Urinário

O sistema urinário é um dos sistemas mais importantes do organismo humano, responsável por manter o homeostase necessária para o funcionamento saudável do corpo. Sua principal função é filtrar o sangue e excretar substâncias por meio da urina.

Além da excreção, ele tem papel fundamental na regulação do volume e da composição química do sangue, entre outras funções que exploraremos ao longo dos capítulos.

Do ponto de vista clínico, a compreensão do funcionamento do sistema urinário é indispensável para a identificação e o tratamento de diversas doenças, desde infecções urinárias simples até condições complexas, como insuficiência renal crônica, cálculos renais e hipertensão.

Muitos sinais precoces de diferentes doenças também se manifestam por meio de alterações bioquímicas na urina, o que torna o sistema urinário uma via diagnóstica essencial em exames laboratoriais.

Como o sistema urinário é o principal responsável pela excreção de fármacos, entender sua fisiologia também é fundamental para o estudo da farmacocinética, um dos campos da farmacologia.

Assim, uma base sólida sobre seu funcionamento é essencial para a formação de estudantes das ciências biológicas e da saúde.

Funções do Sistema Urinário

A principal função do sistema urinário é a excreção de substâncias. Podem ser substâncias nocivas, como ácido úrico, ureia e creatinina, substâncias em excesso, como água e eletrólitos (sódio, potássio e cálcio), ou aquelas relacionadas ao controle do pH corporal, como ácidos e bases.

O sistema urinário também excreta metabólitos de fármacos, aditivos alimentares (como corantes e conservantes), suplementos e vitaminas.

Com isso, o sistema urinário é responsável por garantir a homeostasia do corpo e o equilíbrio entre os líquidos intersticiais, intracelulares e sanguíneos, o que é essencial para o funcionamento do organismo.

Mas, além da excreção, que outras funções ele desempenha?

Além da excreção, o sistema urinário é responsável por inúmeras outras funções como:

- **Regulação da osmolaridade e da concentração de eletrólitos e água nos líquidos corporais** - Por meio da excreção de eletrólitos e água, o sistema urinário é capaz de regular a osmolaridade e a concentração dos eletrólitos nos líquidos corporais. Essa regulação é extremamente importante para o desempenho de outras funções do organismo, como a propagação do potencial de ação, a manutenção do potencial de repouso das membranas, a contração muscular e a secreção de hormônios pelas células endócrinas. Todas essas funções, por exemplo, dependem de concentrações iônicas muito bem ajustadas, tanto no meio intracelular quanto no extracelular, especialmente de Na^+ , K^+ e Ca^{2+} .

- **Regulação do equilíbrio ácido-base (regulação do pH dos líquidos corporais)** - O sistema urinário é o principal responsável pelo controle do pH do nosso corpo, pois os rins são órgãos altamente eficientes na excreção de ácidos. Devido a essa função, a urina é ligeiramente ácida, com pH em torno de 6. Essa regulação é extremamente importante, já que diversas funções do organismo, especialmente no sangue, dependem de um pH rigorosamente controlado. Por exemplo, o pH do sangue se mantém em torno de 7,4, pois é nessa faixa que as proteínas plasmáticas desempenham melhor suas funções, como as atividades enzimáticas, sinalizadoras e transportadoras, a exemplo da hemoglobina, que atua no transporte dos gases respiratórios. Portanto, qualquer variação no pH do sangue ou dos demais líquidos corporais pode acarretar sérios problemas de saúde.
- **Regulação da pressão arterial** - Ao excretar sódio e água, o sistema urinário é capaz de controlar a volemia (volume de sangue) e, consequentemente, a pressão arterial. Entre os mecanismos renais de controle da pressão arterial, podemos destacar a diurese e natriurese pressórica. Esse mecanismo regula a excreção de Na^+ e água pelos rins em função da pressão arterial, alterando, dessa forma, o débito cardíaco. Além disso, os rins são responsáveis pela produção e secreção da renina, uma importante enzima que participa do controle da pressão arterial. A renina está envolvida na formação da angiotensina II, um potente vasoconstritor e hormônio que estimula a reabsorção de Na^+ e água.
- **Secreção de hormônios** - O sistema urinário é responsável pela produção e secreção de mais de 90% do hormônio eritropoetina, que estimula a medula óssea a aumentar a produção de hemácias. Esse hormônio é produzido nos rins em resposta a baixos níveis de oxigênio no sangue (hipoxia).
- **Gliconeogênese** - A gliconeogênese é a capacidade que o organismo tem de converter compostos não carboidratos, como ácidos graxos e aminoácidos, em glicose. Embora o fígado seja o principal órgão responsável por esse processo, os rins também desempenham um papel crucial, especialmente durante jejum

prolongado ou atividade física intensa. Nesses estados, a gliconeogênese renal pode contribuir com uma quantidade significativa de glicose para a corrente sanguínea, tornando-se uma fonte energética vital para manter o funcionamento das células, principalmente do sistema nervoso central.



ERITROPOETINA: O HORMÔNIO RENAL QUE VIROU VILÃO NOS ESPORTES

Produzida pelos rins, a eritropoetina (EPO) estimula a medula óssea a fabricar hemácias, aumentando assim o transporte de oxigênio no sangue e, consequentemente o desempenho muscular. Por conta disso, foi considerado doping sanguíneo e proibido em competições esportivas.

Enquanto o EPO salva vidas de pacientes com anemia renal, no esporte, muitos atletas injetam esse hormônio para melhorar a resistência aeróbica. O ganho de desempenho, porém, vem com riscos mortais: o sangue espesso pode causar trombose, AVC e parada cardíaca.

Como vimos, as funções do sistema urinário vão muito além da simples excreção. Ele desempenha papéis fundamentais na manutenção da homeostasia do organismo.

Anatomia do Sistema Urinário

Para desempenhar suas funções, o sistema urinário possui uma anatomia bastante peculiar (ver **Figura 1.1**). Ele é composto por dois rins, dois ureteres, uma bexiga urinária e uma uretra.

Rins

Os rins são os principais órgãos do sistema urinário e estão localizados um de cada lado da coluna vertebral, mais precisamente na parte posterior da cavidade abdominal, em posição retroperitoneal (fora do peritônio).

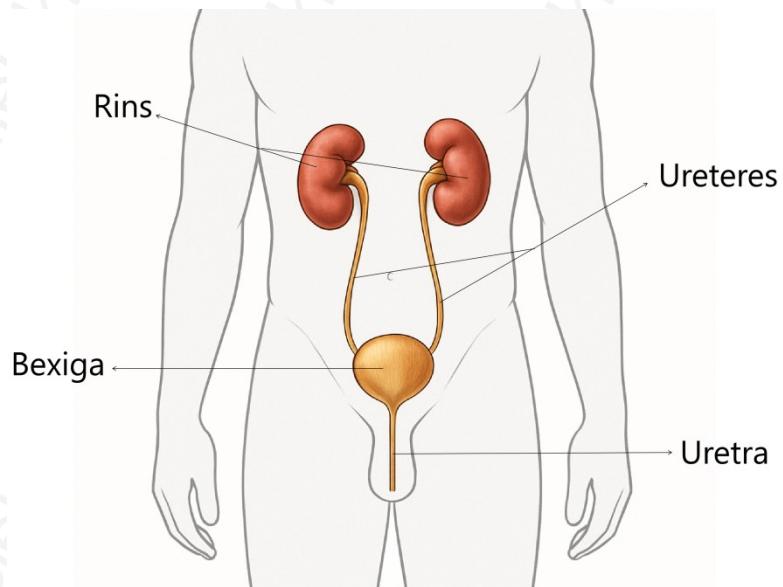


Figura 1.1 - Anatomia do Sistema Urinário.

Ureter

De cada rim, sai um ureter, o direito e o esquerdo. O ureter é um tubo muscular delgado, com cerca de 25 a 30 centímetros de comprimento, que transporta a urina dos rins até a bexiga urinária. Suas paredes são formadas por camadas de músculo liso, que realizam movimentos peristálticos e impulsionam a urina de forma contínua, mesmo contra a gravidade.

Bexiga urinária

Como observado na **Figura 1.2**, a bexiga urinária é uma bolsa elástica e muscular, cuja função é acumular urina. Internamente, como é possível observar, ela apresenta uma mucosa pregueada.

O músculo detrusor é formado por fibras musculares circulares e longitudinais, que se contraem para impelir a urina acumulada para fora do corpo, por meio da uretra.

Entre essas fibras musculares, encontram-se fibras nervosas sensitivas, em sua maioria terminações nervosas livres, capazes de detectar a distensão (ou estiramento) da parede da bexiga.

Bexiga Urinária

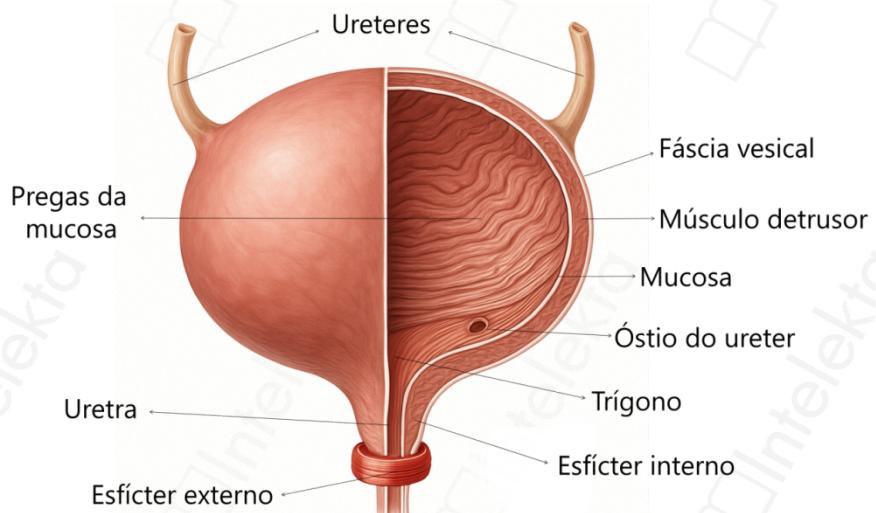


Figura 1.2 - Estrutura anatômica da bexiga urinária.

Essas terminações nervosas são extremamente importantes no processo de esvaziamento da bexiga, chamado de micção. Esse processo será estudado com mais detalhes no **Capítulo 7**.

Quanto de urina uma bexiga é capaz de acumular?

A capacidade máxima da bexiga de um adulto saudável é de aproximadamente 800 mL. Porém, a média gira em torno de 200 a 300 mL. Quando a bexiga ultrapassa esse volume médio, as terminações nervosas sensitivas começam a enviar sinais de distensão da parede ao sistema nervoso, especialmente à medula espinhal, indicando que é hora de esvaziá-la.

Uretra

A última porção anatômica do sistema urinário é a uretra, um tubo responsável por conduzir a urina da bexiga para fora do corpo. Além

disso, ela também auxilia no controle do esvaziamento da bexiga. Esse controle é realizado pelo trabalho coordenado de dois esfíncteres: o interno e o externo (ver **Figura 1.2**).

Como você já deve ter percebido, os rins são os órgãos mais importantes do sistema urinário. Por isso, vamos detalhá-los com mais atenção no **Capítulo 2**.

Princípios Básicos da Formação da Urina pelos Rins

Todo o processo de formação da urina pelos rins ocorre no néfron, sua unidade funcional. Cada néfron, de forma geral, é composto por uma porção globosa, chamada de corpúsculo renal, e por um túbulo longo, denominado túbulo renal (ver ilustração esquemática na **Figura 1.3**).

A porção globosa, por sua vez, é formada pelo glomérulo (um enovelado de capilares glomerulares) e por uma cápsula de tecido epitelial, chamada Cápsula de Bowman.

Próximo ao túbulo renal, encontramos diversos capilares chamados de capilares peritubulares. Todas essas estruturas estão envolvidas em uma das três etapas de formação da urina, como descrito a seguir:

- **Filtração glomerular** - Esta etapa ocorre no glomérulo, onde uma grande quantidade de sangue é filtrada. O sangue que chega sob pressão aos capilares glomerulares é forçado a passar por uma membrana filtrante, chamada membrana do capilar glomerular, que atua como um verdadeiro filtro. Ao atravessar essa membrana, o líquido resultante é recolhido pela cápsula de Bowman e recebe o nome de filtrado glomerular.
- **Reabsorção tubular** - Esta etapa ocorre no túbulo renal. Nela, uma grande parte da água e de alguns solutos que foram filtrados no glomérulo é reabsorvida de volta para o sangue, por meio dos capilares peritubulares.
- **Secreção tubular** - Esta etapa também ocorre no túbulo renal, mas as substâncias seguem o caminho oposto ao da reabsorção. Ou seja, algumas substâncias são transportadasativamente do

sangue para o túbulo renal, o que acelera o processo de sua excreção.

Para compreendermos melhor como esse processo ocorre, vamos analisar a **Figura 1.3**, abaixo. Nela, é possível identificar as três etapas da formação da urina.

Etapas de Formação da Urina

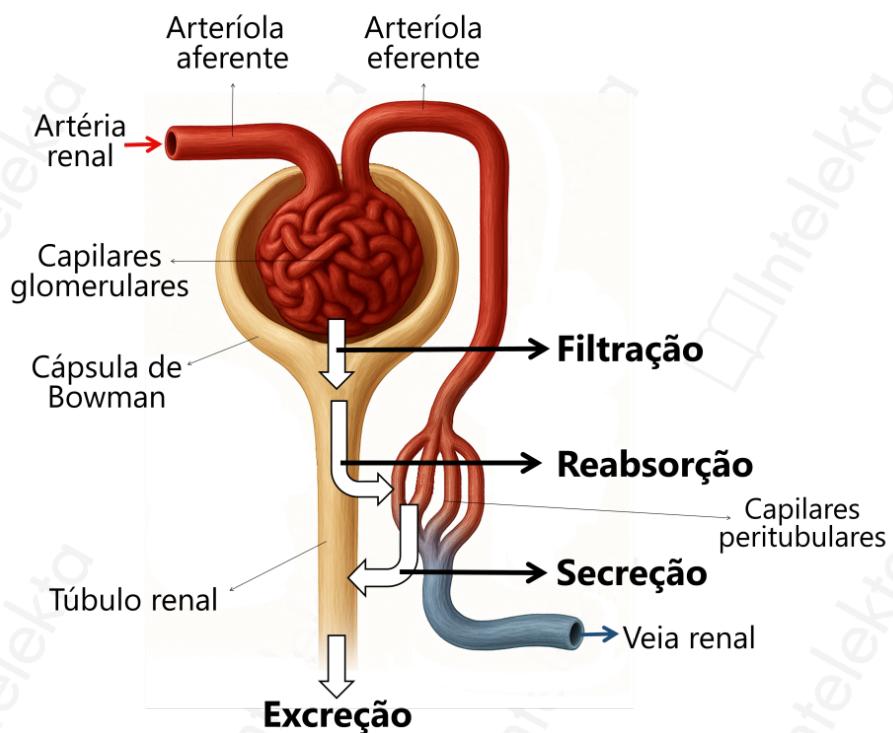


Figura 1.3 - Etapas de formação da urina no néfron.

Como se determina a intensidade de excreção de uma substância?

A partir da análise da **Figura 1.3**, é possível compreender que a intensidade de excreção de uma substância depende da relação entre as intensidades de cada uma das etapas: **filtração, reabsorção e secreção**.

Assim, ela pode ser expressa pela seguinte fórmula:

$$IE = IF - IR + IS$$

Onde:

IF = intensidade de filtração.

IR = intensidade de reabsorção.

IS = intensidade de secreção.

Vale destacar que o termo **IR** na fórmula é negativo (- **IR**) porque o processo de reabsorção, como mostrado na **Figura 1.3**, atua como uma força contrária, ou seja, oposta à excreção. Por isso, ele é representado com sinal negativo (subtração).

Dessa forma, por exemplo, para substâncias que são filtradas, mas não são reabsorvidas (**IR = 0**) nem secretadas (**IS = 0**), a intensidade de excreção (**IE**) será igual à intensidade de filtração (**IF**), ou seja **IE = IF**. Nesse caso, tudo o que for filtrado será excretado.

$$IE = IF - IR + IS$$

↓ ($IR = 0; IS = 0$)

$$IE = IF - 0 + 0$$

↓

$$IE = IF$$

Substâncias que se encaixam nesse tipo de processamento renal geralmente são metabólitos indesejáveis, mas que podem ser excretados normalmente, sem urgência, como o **ácido úrico** e a **creatinina**.

As páginas 17 a 67 foram omitidas nesta amostra

Tabela 4.2 - Hormônios, locais de ação e seus efeitos sobre a reabsorção.

Hormônio	Local de ação	Efeitos
Aldosterona	Túbulo distal final e ducto coletor	↑ atividade da Na^+/K^+ -ATPase ↑ reabsorção de Na^+ e H_2O ao mesmo tempo que ↑ secreção de K^+
Angiotensina II	Túbulo proximal, Alça de Henle (Porção espessa do ramo ascendente), Túbulo distal final e ducto coletor	↑ atividade da Na^+/K^+ -ATPase ↑ atividade do cotransportador Na^+/H^+ ↑ Reabsorção de Na^+ e H_2O ↑ secreção de H^+
ADH	Ducto coletor	↑ Reabsorção de H_2O (via aquaporinas)

Ação do ADH no Ducto Coletor

O ADH, também conhecido como vasopressina, é produzido no hipotálamo e transportado até a neuro-hipófise, onde é armazenado e posteriormente liberado na corrente sanguínea.

A liberação do ADH ocorre principalmente em resposta a dois estímulos fisiológicos: o aumento da osmolaridade plasmática (hiperosmolaridade) e a redução do volume sanguíneo efetivo.

O principal alvo do ADH no néfron é o ducto coletor, onde aumenta a reabsorção de água, diminuindo o volume urinário e concentrando a urina.

O mecanismo de ação do ADH está ilustrado na **Figura 4.8** e se inicia com a ligação do hormônio ao seu receptor específico (V2), localizado na membrana basolateral das células principais do ducto coletor. Essa ligação ativa uma cascata de sinalização intracelular que estimula a produção de vesículas contendo canais para água, as aquaporinas, no citoplasma.

Além disso, o ADH promove o deslocamento e a fusão dessas vesículas com a membrana luminal da célula.

Com a fusão e a incorporação das vesículas contendo as aquaporinas à membrana luminal e a formação dos canais para água, a permeabilidade das células principais aumenta significativamente. Isso permite que a água seja reabsorvida mais rapidamente por osmose para os capilares peritubulares, formando uma urina mais concentrada e em menor volume.

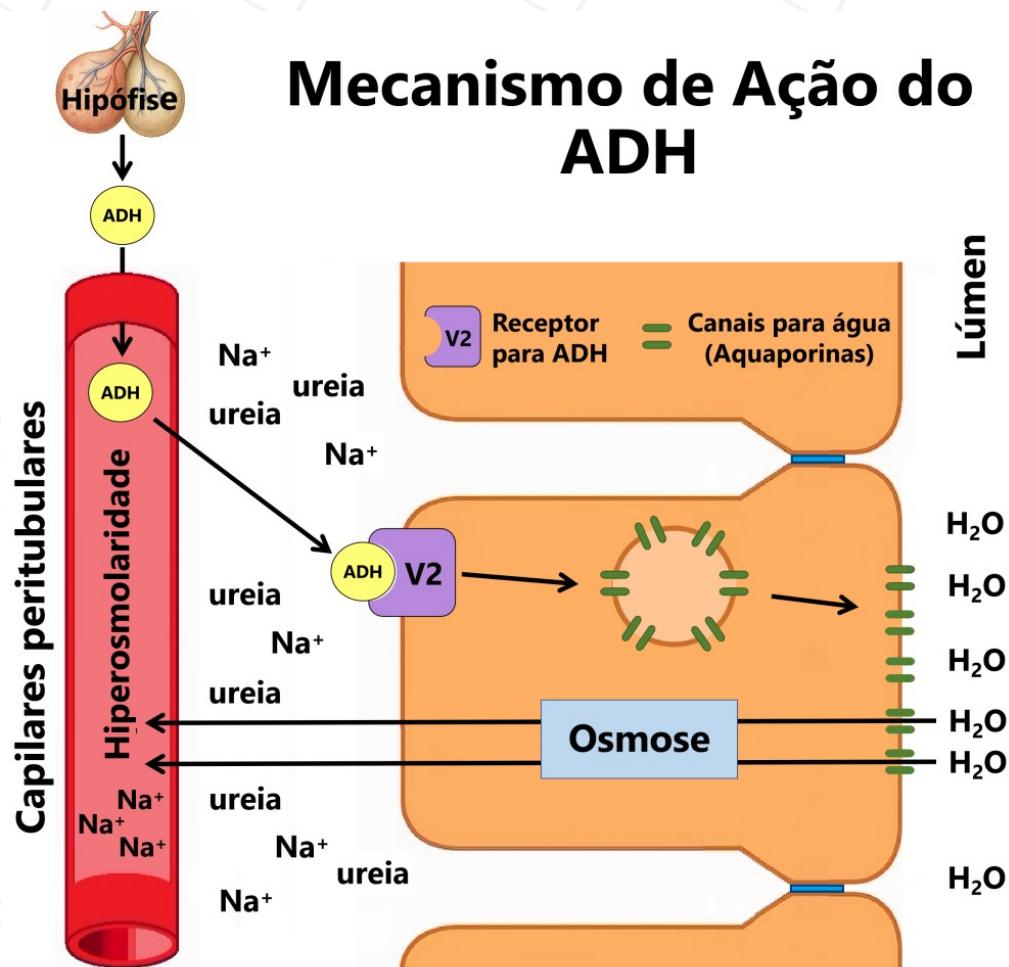


Figura 4.8 - Mecanismo de ação do ADH no ducto coletor.

Na ausência de ADH, o ducto coletor permanece impermeável à água, impedindo sua reabsorção. Com isso, a água permanece no interior do túbulo, resultando na excreção de uma urina mais diluída e em maior volume.

Q Por que beber álcool dá vontade de fazer xixi?



Você já reparou que, após **consumir bebidas alcoólicas**, a vontade de **urinar aumenta**? Isso não é coincidência — o álcool inibe a liberação do **hormônio antidiurético** (ADH).

O **ADH** é responsável por sinalizar aos rins que devem **reabsorver mais água** e produzir menos urina. Quando sua ação é inibida, os túbulos renais deixam de reabsorver adequadamente a água do filtrado, e o **resultado** é uma **urina mais volumosa e diluída**.

Ou seja, o **álcool** literalmente desliga o "freio" da diurese, fazendo com que você perca mais água pela urina. Isso contribui para a desidratação e ajuda a explicar sintomas como dor de cabeça e boca seca no dia seguinte, popularmente conhecidos como **ressaca**.

Diante disso, percebe-se que o ADH exerce um papel crucial na regulação da osmolaridade e do volume corporal, sendo fundamental para a manutenção da homeostase hídrica.

Ao final da reabsorção, para que a urina seja completamente formada, ainda é necessária a etapa da secreção tubular, processo que será abordado no próximo capítulo.

Resumo do Capítulo

O que vimos neste capítulo? Aprendemos que a reabsorção tubular é um processo essencial para a manutenção da homeostase, permitindo a recuperação de substâncias importantes filtradas no néfron. Esta etapa evita a perda ou acúmulo excessivo de água e de solutos. Esse processo ocorre ao longo de diferentes segmentos do túbulo renal, com características distintas de permeabilidade e transporte. Destacam-se a maior reabsorção no túbulo proximal e regulação fina da concentração da urina na porção final do túbulo distal e no ducto coletor. Regulação esta realizada por hormônios. Entre os hormônios reguladores, o ADH é o principal responsável pela reabsorção de água,

ajustando o volume e a concentração da urina conforme as necessidades do organismo. A reabsorção tubular é regulada por mecanismos intrínsecos, neurais e humorais, que garantem a eficiência do processo. No próximo capítulo, iremos abordar a etapa final da formação da urina: **a secreção tubular**. Até lá!

Capítulo 5

Secreção tubular

Neste capítulo, abordaremos a **secreção tubular**, uma etapa fundamental do processo de formação da urina, responsável por acelerar a excreção de ácidos, bases e substâncias potencialmente nocivas ao organismo. Vamos explorar os principais mecanismos envolvidos na secreção, identificar as substâncias mais frequentemente secretadas e entender em quais segmentos do túbulo renal esses processos ocorrem. Preparados? Então vamos começar!

Relembrando a Formação da Urina pelos Rins

Como vimos nos capítulos anteriores, a urina é formada em três etapas: filtração glomerular, reabsorção tubular e **secreção tubular**.

Enquanto na reabsorção, solutos e água são transportados dos túbulos de volta para os capilares peritubulares, ou seja, retornam ao sangue, na secreção tubular ocorre o movimento oposto: substâncias sãoativamente transportadas dos capilares peritubulares para o lúmen tubular.

De forma simples, a secreção tubular representa uma via adicional de eliminação, permitindo ao organismo excretar substâncias que não foram suficientemente filtradas no glomérulo, ou que precisam ser eliminadas em maior quantidade e/ou mais rapidamente.

Mecanismos de Secreção Tubular

Diferentemente da reabsorção, a secreção tubular é um processo mais seletivo e predominantemente ativo, frequentemente mediado por

transportadores específicos. Essa seletividade permite que os rins regulem com precisão a eliminação de íons, resíduos metabólicos e fármacos.

Os principais mecanismos de secreção estão mostrados na **Figura 5.1** e incluem:

- **Transporte Ativo Primário** - Nesse tipo de transporte, as substâncias são movidas contra um gradiente de concentração, com gasto direto de ATP. Um exemplo clássico é a secreção de potássio (K^+) no túbulo distal, mediada pela bomba Na^+/K^+ -ATPase. Outro exemplo importante são as bombas de prótons (H^+ -ATPase), que participam da regulação do pH urinário.
- **Transporte Ativo Secundário** - Aqui, os solutos também se movimentam contra seu gradiente, mas utilizam a energia cinética do sódio (Na^+) gerada pela Na^+/K^+ -ATPase. Um exemplo é o trocador Na^+/H^+ (NHE), também conhecido como contratransporte sódio-próton, que desempenha papel importante na secreção de H^+ .
- **Transporte Mediado por Proteínas Carreadoras** - Esse tipo de transporte envolve proteínas de membrana especializadas na secreção de substâncias orgânicas. Destacam-se: os transportadores de ânions orgânicos (OATs), que removem ácidos fracos como fármacos aniónicos, urato e metabólitos hormonais. E os transportadores de cátions orgânicos (OCTs), que participam da secreção de fármacos que são bases fracas, como a metformina e certos betabloqueadores.

Esses transportadores estão principalmente localizados no túbulo proximal, onde ocorre a maior parte da secreção tubular.

Mecanismos de Secreção Tubular

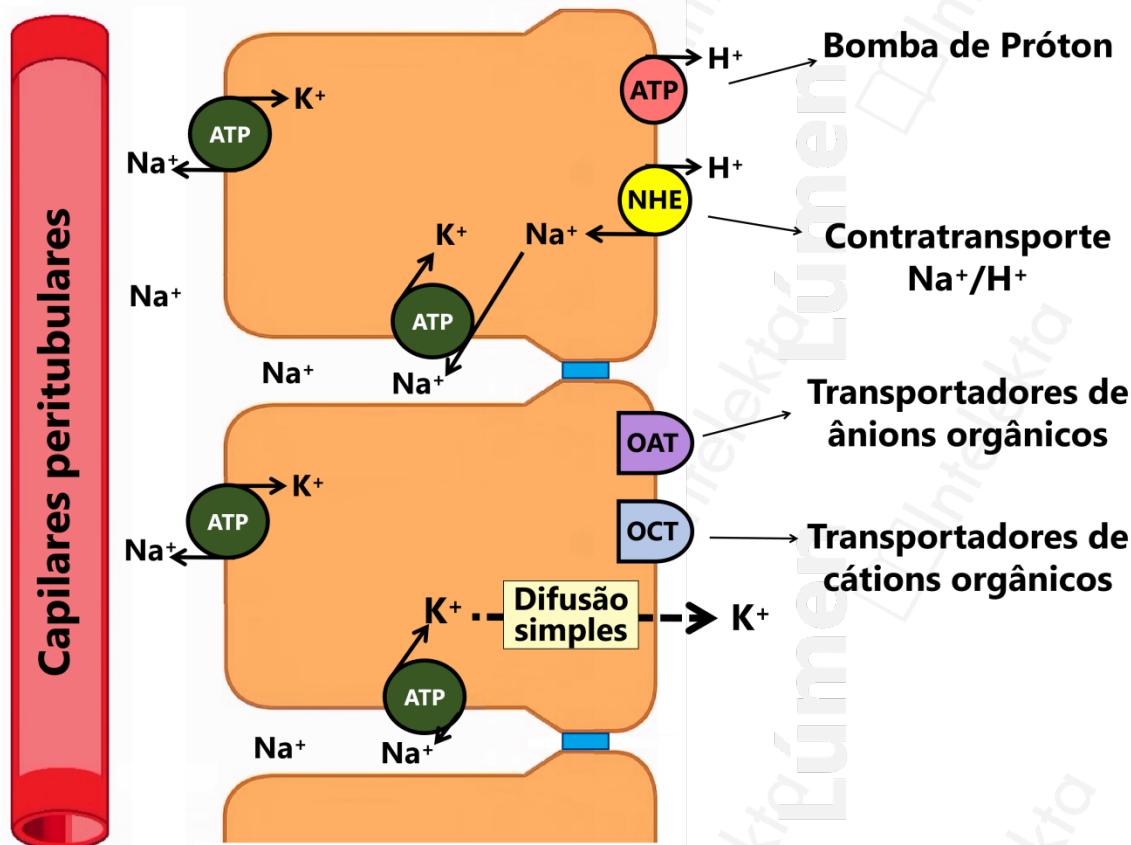


Figura 5.1 - Principais mecanismos de secreção nos túbulos renais.

Principais Substâncias Secretadas e seu Papel na Homeostase Corporal

Neste tópico, abordaremos as principais substâncias secretadas nos túbulos renais e destacaremos os aspectos essenciais da homeostase corporal que dependem desses mecanismos de secreção.

Nosso foco será nas substâncias de maior relevância fisiológica e clínica. Para um aprofundamento mais detalhado sobre outros solutos e mecanismos menos comuns, recomendamos a consulta a fontes bibliográficas complementares.

As páginas 75 a 96 foram omitidas nesta amostra

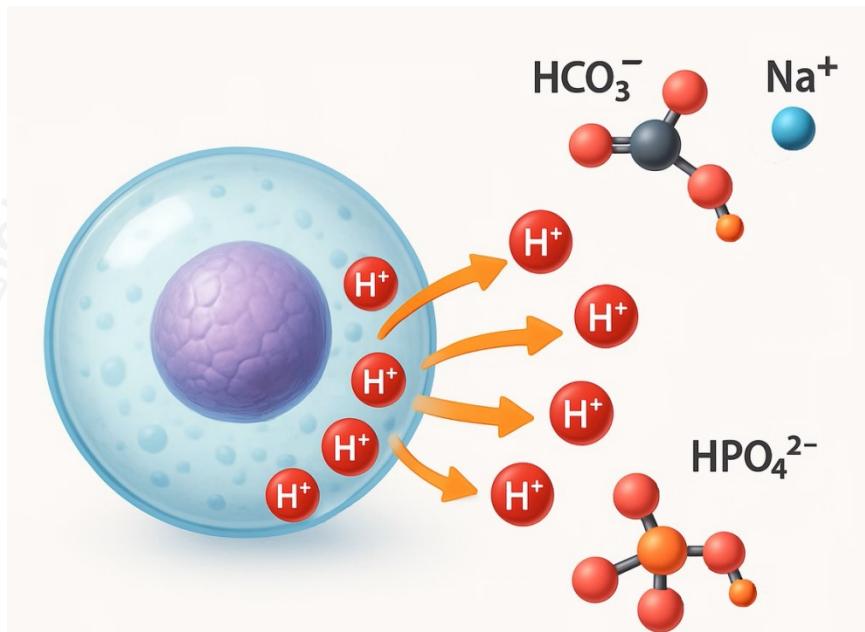


Figura 7.1 - Atuação dos sistemas bicarbonato (HCO_3^-) e fosfato (HPO_4^{2-}) no tamponamento do íons H^+ produzidos pelas células.

Tampão de Proteínas (Ex: Hemoglobina)

As proteínas, devido à presença de grupos amino e carboxila, podem atuar como ácidos ou bases, aceitando ou doando H^+ . A hemoglobina, por exemplo, é um dos principais tampões do sangue, especialmente nas hemácias.

Após liberar oxigênio, a hemoglobina reduzida se liga facilmente ao H^+ produzido a partir das variações de CO_2 ou do metabolismo celular, ajudando a manter o pH do sangue estável durante as trocas gasosas (**Figura 7.2**).

Ação Tampão da Hemoglobina nas Hemácias

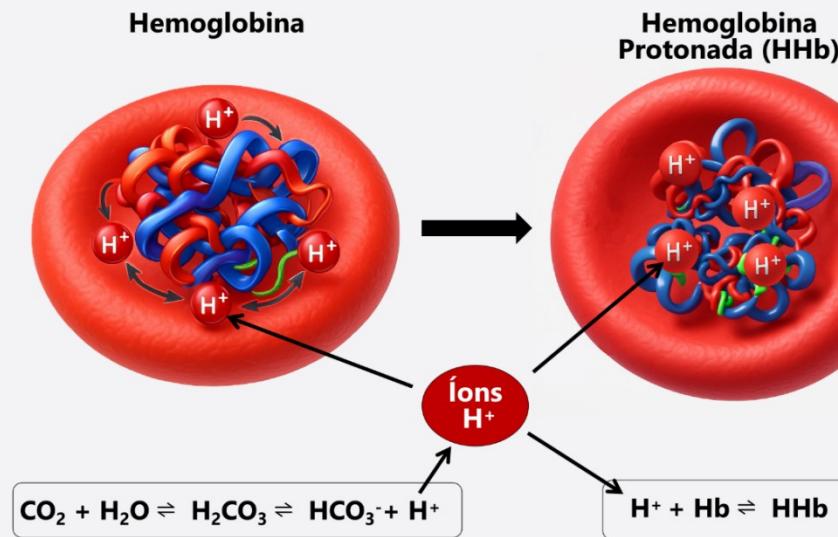


Figura 7.2 - Ação da hemoglobina no tamponamento do íons H⁺ dentro das hemácias.

Limitações dos sistemas tampão

Embora atuem de forma rápida, os sistemas tampão dos líquidos corporais funcionam apenas como uma solução temporária, um "paliativo". Eles não eliminam o excesso de ácidos ou bases, apenas os neutralizam momentaneamente, evitando variações bruscas no pH. A eliminação definitiva desses excessos ocorre por meio dos pulmões, em questão de minutos a horas, e, principalmente, pelos rins, cuja ação se estende de horas a dias.

Sistema Pulmonar na Regulação do pH Corporal

Além de sua função primária nas trocas gasosas, os pulmões desempenham um papel essencial na regulação do equilíbrio ácido-base do organismo. Eles atuam principalmente no controle da concentração do CO₂ no sangue, que está diretamente relacionado à formação de ácido carbônico (H₂CO₃), um dos principais ácidos do corpo.

Como já descrito anteriormente, o CO₂, ao se dissolver no plasma, reage com a água formando ácido carbônico, que se dissocia em H⁺ e HCO₃⁻.

Assim, qualquer aumento nos níveis plasmáticos de CO₂ leva a um aumento na concentração de íons H⁺, reduzindo o pH (acidose). Por outro lado, a eliminação de CO₂ pelos pulmões reduz os níveis de H⁺, elevando o pH (alcalose).

Esse mecanismo permite que o sistema respiratório atue como um regulador rápido do pH, ajustando a ventilação de acordo com as necessidades do organismo. Em situações de acidose, o centro respiratório é estimulado, promovendo hiperventilação para expulsar mais CO₂ e reduzir a acidez do sangue. Já em casos de alcalose, ocorre hipovenitalação, permitindo o acúmulo de CO₂ e a consequente queda do pH (**Figura 7.3**).

Regulação do pH através da Ventilação Pulmonar

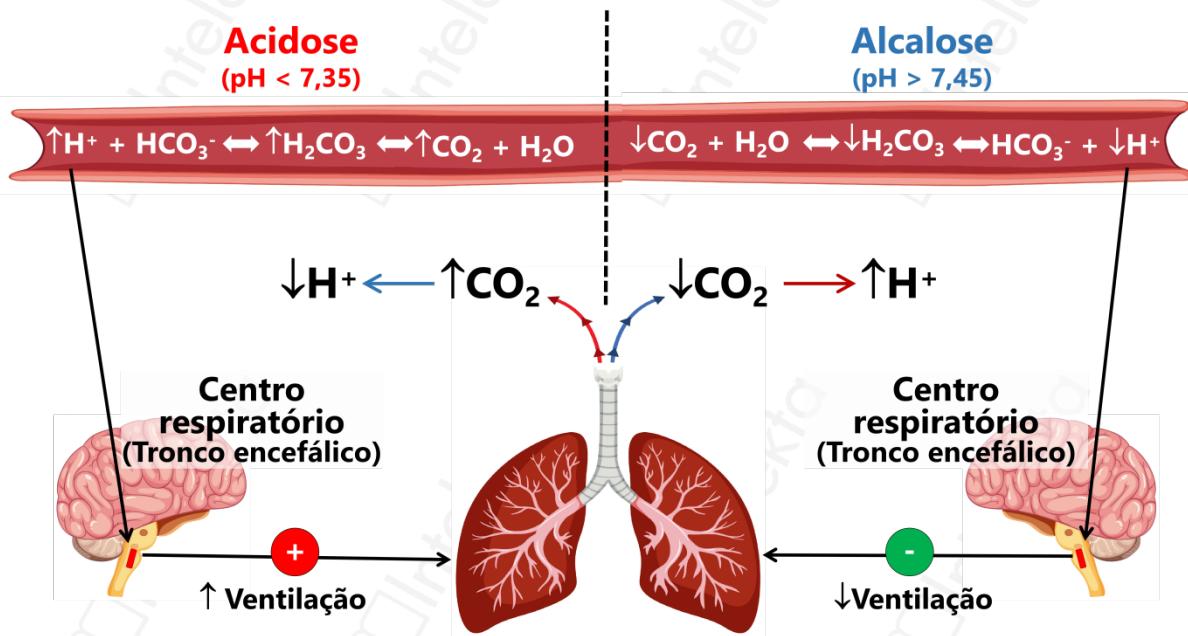


Figura 7.3 - Mecanismos de regulação rápida do pH corporal, realizados pelo sistema e centro respiratório, por meio do ajuste da ventilação conforme as necessidades do organismo.

Sistema Renal e a Regulação do pH

Embora os sistemas tampão dos líquidos corporais e os pulmões atuem rapidamente para regular o pH (em minutos a horas), é nos rins que ocorre o ajuste definitivo e duradouro do equilíbrio ácido-base (em horas a dias).

Isso porque, como visto nos capítulos anteriores, os rins são os únicos órgãos capazes de excretar íons hidrogênio (H^+) em quantidades variáveis, conforme a necessidade do organismo. Ao mesmo tempo, são altamente eficientes na reabsorção do íon bicarbonato (HCO_3^-) filtrado, evitando sua perda na urina.

As páginas 101 a 112 foram omitidas nesta amostra

Referências Bibliográficas Sugeridas

1. HALL, John E.; HALL, Michael E. **Guyton & Hall Tratado de fisiologia médica.** 14. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2021.
2. SILVERTHORN, Dee Unglaub. **Fisiologia humana: uma abordagem integrada.** 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017
3. TORTORA, Gerard J.; DERRICKSON, Bryan. **Princípios de anatomia e fisiologia.** 16. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2023.
4. KOEPPEN, Bruce M.; STANTON, Bruce A. **Berne & Levy Fisiologia.** 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2025.

Sobre o autor



PROF MÁRCIO ROBERTO VIANA SANTOS, PhD - Professor Titular de Fisiologia Humana da Universidade Federal de Sergipe, Brasil. Experiência de mais de 20 anos em ensino de Fisiologia. Possui Mestrado e Doutorado pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e Pós-doutorado pela University of Iowa / EUA. Bolsista em Produtividade 1 do CNPq. Mais de 130 artigos publicados em Revistas Científicas Nacionais e Internacionais, e mais de 5200 citações. Autor dos Livros "**Fisiologia Básica**" do CESAD/UFS, "**Fisiologia do Sistema Circulatório: Fundamentos Básicos**", e Autor Colaborador do Livro "**Farmacognosia: Coletânea Científica**".

Agradecimentos

Agradeço imensamente à minha família, pelo estímulo nas horas difíceis e pela compreensão diante das minhas ausências.

Aos colegas de profissão, que me permitiram compartilhar, debater, construir e aprender Ciência de forma colaborativa, e que, indiretamente, contribuíram para a realização desta obra.

Às instituições pelas quais passei, que serviram de alicerce para a minha formação.

Às agências de fomento (CAPES, CNPq e FAPITEC), pelo apoio contínuo ao longo dos anos, financiando meus estudos e projetos de pesquisa.

À Universidade Federal de Sergipe, minha primeira e única casa, a qual devo toda a minha trajetória profissional e científica.

Aos meus alunos de Graduação e Pós-graduação, cujos questionamentos e curiosidade constante me impulsionaram, dia após dia, a buscar mais conhecimento.

Espero, de coração, que tenham aproveitado ao máximo todo o conteúdo que preparamos com muito carinho, especialmente pensando em vocês.

Comprem agora e leiam também:

- ◆ **Fisiologia do Sistema Circulatório: Fundamentos básicos**, 1a Edição, Márcio Roberto Viana Santos

<https://intelekta.com.br/#e-books>

- ◆ **As Bases Fisiológicas da Respiração**, 1a Edição, Márcio Roberto Viana Santos

<https://intelekta.com.br/#e-books>

Assistam nossas aulas no Youtube:

- ◆ **Fisiologia Geral - UFS** - Canal é dedicado aos nossos alunos de Fisiologia

www.youtube.com/@fisiologiageral-ufs2006



www.intelekta.com.br