

**Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática  
Mestrado Profissional**

**GUIA PARA COMPLEMENTAR LIVROS DIDÁTICOS DA ÁREA DE  
CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS DO ENSINO  
MÉDIO**

**Mestrando Rafael Belo de Souza  
Orientadora: Professora Sílvia Moreira Goulart  
Coorientador: Professor Marcelo Azevedo Neves**

**Seropédica  
2023**

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema de tubo com secção com pressão $P$ e fluxo $Q$ .....	5
<b>Figura 2:</b> Tubos associados em série.....	6
<b>Figura 3:</b> Tubos associados em paralelo.....	8
<b>Figura 4:</b> Associação em série de duas bombas hidráulicas.....	11
<b>Figura 5:</b> Representação esquemática de duas bombas associadas em série.....	12
<b>Figura 6:</b> Associação em paralelo de duas bombas hidráulicas.....	13
<b>Figura 7:</b> Representação esquemática de duas bombas associadas em paralelo.....	14
<b>Figura 8:</b> Representação esquemática de duas bombas associadas em série como parte de equipamento industrial.....	14
<b>Figura 9:</b> Representação esquemática de um sistema de bombeamento constituído por duas bombas hidráulicas associadas em paralelo com destaque dos tubos de recalque e de sucção.....	15
<b>Figura 10:</b> Representação esquemática de dois tubos de recalque associados em paralelo.....	15
<b>Figura 11:</b> Sistema de vácuo industrial com cinco bombas de 200 s/litro e uma bomba de 50 s/litro associadas em paralelo.....	17
<b>Figura 12:</b> Sistema de vácuo industrial com uma bomba de 200 s/litro e uma bomba de 50 s/litro associadas em paralelo.....	17
<b>Figura 13:</b> Sistema equivalente ao sistema formado por uma bomba de 200 s/litro e uma de 50 s/litro associadas em paralelo.....	17
<b>Figura 14:</b> Sistema de vácuo industrial com duas bombas de 200 s/litro e uma bomba de 50 s/litro associadas em paralelo.....	18
<b>Figura 15:</b> Sistema equivalente ao sistema formado por duas bombas de 200 s/litro e uma de 50 s/litro associadas em paralelo.....	18
<b>Figura 16:</b> Sistema de vácuo industrial com três bombas de 200 s/litro e uma bomba de 50 s/litro associadas em paralelo.....	19
<b>Figura 17:</b> Sistema equivalente ao sistema formado por três bombas de 200 s/litro e uma de 50 s/litro associadas em paralelo.....	19

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Analogia entre grandezas hidráulicas e grandezas elétricas.....	9
--	---

## Sumário

Sugestões para o Professor .....	1
Aprendizagem Significativa .....	1
Ensino sob Medida ( <i>Just-in-Time Teaching</i> ).....	2
Breves considerações sobre a história do vácuo .....	3
Idade Antiga (aproximadamente 4000 a.C. a 476 d.C.).....	3
Idade Média (476 d.C. a 1453) .....	3
Idade Moderna (1453 a 1789).....	4
Idade Contemporânea (1789 até o presente).....	4
Conceitos iniciais sobre escoamento de gases .....	5
Condutâncias em série .....	6
Condutâncias em paralelo .....	7
Regimes de Escoamento .....	8
Analogia entre grandezas hidráulicas (aplicadas a sistemas de vácuo) e grandezas elétricas	9
Proposta de exercícios .....	9
Questões Conceituais (com respostas esperadas) .....	10
Questões para a fase em sala de aula (com resoluções).....	11
Questão do tipo quebra-cabeça: puzzle (com resolução).....	16
Sugestões de Material Complementar: .....	19
Bibliografia do produto.....	21

Prezados (as) Professores (as),

A pesquisa bibliográfica realizada nos livros didáticos da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático de 2021 revelou que o tema vácuo não é abordado. O tema vácuo é apenas citado pelos livros e aparece sempre relacionado a outros temas de Física como barômetro de Torricelli, radiação eletromagnética e outros.

O tema vácuo é de fundamental importância para o entendimento de grande parte da tecnologia atual. O vácuo é empregado em setores tecnológicos variados como por exemplo, a embalagem de alimentos à vácuo (para evitar a proliferação de micro-organismos e aumentar a vida útil dos alimentos), a instalação de ar-condicionado *split* (é preciso que seja feito vácuo nos tubos que fazem a conexão entre a evaporadora e a condensadora do ar-condicionado), na produção de *microchips* de eletrônicos em geral e em muitas outras áreas tecnológicas.

Destaca-se que a falta de abordagem do tema vácuo pelos livros didáticos deixa uma lacuna na formação dos estudantes relacionadas à compreensão de muitas tecnologias atuais.

Visando suprir esta lacuna, construiu-se esta proposta de guia didático com o objetivo de complementar as informações dos livros didáticos da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias sobre o tema vácuo.

Esta proposta é complementada por um planejamento didático sobre o vácuo para formação continuada de professores do Ensino Médio. O planejamento de ensino aqui proposto foi construído levando-se em conta a metodologia Ensino sob Medida (Just-in-Time Teaching) com o objetivo de implementar uma aprendizagem significativa.

Este planejamento de ensino pode constituir-se numa unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS).

Bom trabalho!

## **Sugestões para o Professor**

Para implementação do planejamento didático aqui proposto sobre o vácuo, os(as) professores(as) devem guiar-se pela Teoria da Aprendizagem Significativa e pela metodologia Ensino sob Medida. Breves apresentações sobre ambas seguem nas próximas seções. Em seguida são apresentadas breves revisões sobre a história do vácuo e sobre conceitos iniciais de escoamento de gases. Também são sugeridas propostas de exercícios para serem aplicados durante as três fases do Ensino sob Medida. Os exercícios propostos têm como público-alvo a primeira e/ou segunda série do Ensino Médio.

## **Aprendizagem Significativa**

A aprendizagem mecânica é aquela na qual os conhecimentos devem ser decorados e reproduzidos pelos estudantes. Essa forma de aprendizagem possui baixa retenção cognitiva e ainda é amplamente utilizada pelas escolas. Como alternativa de superação da aprendizagem mecânica, David Paul Ausubel propôs, na década de 1960, a Teoria da Aprendizagem Significativa.

A aprendizagem significativa é aquela que segundo Marco Antonio Moreira ocorre de maneira substantiva (não-literal) e não arbitrária. Substantiva significa que para a aprendizagem ser significativa ela não pode depender de frases decoradas ou fórmulas prontas, o estudante deve ser capaz de transmitir o conhecimento que adquiriu com as próprias palavras. Não arbitrária significa que o novo conhecimento não pode ser adquirido de maneira “isolada” para que ele tenha significado ele deve relacionar-se e interagir com conhecimentos prévios especificamente relevantes já existentes na estrutura cognitiva do estudante. É essa interação que confere significado aos novos conhecimentos.

Estes conhecimentos prévios especificamente relevantes são chamados na Teoria da Aprendizagem Significativa de ideias-âncora ou subsunçores. E se o estudante não possui as ideias-âncora para que determinada aprendizagem significativa ocorra. Neste caso, a aprendizagem mecânica deve ser evitada. Devem ser fornecidos organizadores prévios.

Organizadores prévios são informações introdutórias que fazem a ligação entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deveria saber para que determinada aprendizagem seja significativa.

A aprendizagem significativa confere maior estabilidade, mais tempo de permanência dos conhecimentos adquiridos na estrutura cognitiva do sujeito que aprende em comparação com a aprendizagem mecânica.

Possivelmente, a ideia mais importante da Teoria da Aprendizagem Significativa encontra-se resumida na seguinte frase de autoria do próprio Ausubel:

“Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria isto: o fator singular que mais influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra isso e ensine-o de acordo” (AUSUBEL, NOVAK, HANESIAN, 1980, p. 137 apud ARAUJO, MAZUR, 2013, p. 12).

Isto é, de acordo com esta teoria o docente deve primeiro descobrir quais são os conhecimentos prévios dos estudantes e na ausência destes complementá-los com organizadores prévios. Isto possibilita que os novos conhecimentos encontrem conhecimentos

com os quais possam interagir e ancorar-se, de forma que a aprendizagem ocorra de forma significativa.

### **Ensino sob Medida (*Just-in-Time Teaching*)**

A metodologia Ensino sob Medida (*Just-in-Time Teaching*) foi proposta por Gregor Novak da Universidade de Indiana e colaboradores, em 1999, (NOVAK et. al.,1999 apud ARAUJO, MAZUR, 2013) é dividida em três etapas.

O ensino sob Medida ocorre por meio da implementação de três etapas: I) Tarefas de Leitura (TL) sobre os conteúdos e temas a serem trabalhados em sala de aula, II) Discussões em sala de aula sobre as TL e III) Atividades em grupo envolvendo os conceitos trabalhados nas TL e na discussão em aula.

Na primeira etapa, o docente envia aos estudantes, por meio da internet, materiais introdutórios sobre o tema que será estudado chamado de tarefas de leitura e também envia questões conceituais (*warm up exercises*). Em locais que não possuem acesso à internet, as tarefas de leitura e questões conceituais podem ser do próprio livro didático.

O docente estipula um prazo para que os estudantes retornem as questões respondidas antes da aula. Ele utiliza estas questões para examinar os conhecimentos prévios (subsunçores) dos alunos e também suas principais dúvidas. Desta forma, o docente utiliza estas informações para planejar aulas personalizadas para determinada turma, tornando o ensino sob medida.

Na segunda etapa que se desenvolve em sala de aula, o docente faz uma breve exposição oral sobre o conteúdo (cerca de dez minutos). Em seguida, ele reapresenta as questões conceituais e repostas de alguns alunos selecionadas pelo potencial para iniciar a discussão sobre o conteúdo proposto. As repostas devem ser apresentadas sem identificar os autores, para evitar comentários e tons jocosos dos colegas.

O docente deve indicar os erros cometidos na resolução dos exercícios e maneiras de superá-los, assim como discutir as soluções adequadas apresentadas pelos alunos para as questões propostas (OLIVEIRA, 2012, p.14).

Nessa fase “é comum que os alunos que tiveram suas repostas selecionadas sintam-se motivados a participar mais intensamente das discussões” (FORMICA, EASLEY, SPRAKER, 2010 apud ARAUJO, MAZUR, 2013, p. 11).

A terceira etapa, de atividades após a discussão, é em certa medida subjetiva, pois a escolha das atividades que serão desenvolvidas depende das características do docente e da turma.

Com a intenção de manter os alunos interessados, as atividades precisam ser variadas, intercalando atividades individuais e em grupo, exposições orais curtas, exercícios de fixação e práticos, a cada nova atividade, a atenção dos alunos renova-se (RIBEIRO, et. al., 2022, p. 4).

Posteriormente a aula, o docente envia para os alunos, questões do tipo quebra-cabeças (puzzles). Essas questões apresentam um nível de dificuldade maior que as questões apresentadas anteriormente. Elas mobilizam vários conceitos para sua resolução e exigem que os alunos integrem e sintetizem os conhecimentos adquiridos durante a aula. A aplicação do puzzle encerra a aplicação da metodologia Ensino sob Medida.

Observa-se que o Ensino sob Medida visa aproveitar de forma mais eficiente o tempo disponível em sala de aula. Pois, na aula/pedagogia tradicional, o docente utiliza a maior parte do tempo na exposição de conceitos. No Ensino sob Medida, os conceitos são previamente estudados pelos alunos e o tempo em sala de aula é utilizado pelo professor para ajudar os alunos a superar as dificuldades encontradas no conteúdo.

Assim, conclui-se que o Ensino sob Medida é uma metodologia totalmente compatível com a Teoria da Aprendizagem Significativa na medida em que se mostra como uma forma de implementar os conceitos da teoria.

## **Breves considerações sobre a história do vácuo**

### **Idade Antiga (aproximadamente 4000 a.C. a 476 d.C.)**

Os questionamentos sobre a existência ou não do vazio remontam a Idade Antiga. Um dos mais antigos embates filosóficos conhecidos ocorreu na Grécia no século V antes de Cristo entre atomistas e eleatas.

Na teoria atomista da antiguidade, a matéria era formada por partículas ínfimas e indivisíveis chamadas de átomos (do grego *atomos* - não, tomo divisão). Para os atomistas, os cinco sentidos deveriam ser utilizados para explicar o mundo. E como os corpos movem-se pelo espaço, eles precisam mover-se para espaços vazios. Assim, a teoria atomista admite a existência de espaços vazios (vácuo) na natureza.

Para os eleatas, os sentidos não deveriam ser utilizados na descrição do mundo, pois eles podem ser enganosos e ilusórios. Para os eleatas, a forma correta de explicar a natureza seria através da razão. Para esta escola de pensamento é impossível pensar sobre o vazio sem chegar a contradições e/ou absurdos, assim, os eleatas consideram que a existência do vazio não é possível. As duas escolas de pensamento possuíam teorias divergentes sobre a constituição da natureza e sobre o vazio.

Ainda na Antiguidade, o filósofo grego Aristóteles (384 a. C. - 322 a. C.) propôs a teoria do **horror ao vácuo**, segundo a qual a natureza cria mecanismos para impedir a formação de espaços vazios (vácuos). Aristóteles foi um dos pensadores mais influentes de sua época e sua teoria foi adotada nos séculos seguintes.

### **Idade Média (476 d.C. a 1453)**

Surgem pensadores a favor e contra a teoria do horror ao vácuo. Entre os pensadores que aceitavam o horror ao vácuo pode-se citar o filósofo persa Avicena (980 d.C. - 1037 d. C.).

Na Europa Medieval ocorreu a ascensão da Igreja Católica. Nesse contexto emergiu a filosofia escolástica que consiste em um método que objetiva conciliar a fé cristã com um sistema de pensamento que enfatiza a razão, notadamente a filosofia grega aristotélica e platônica.

Tómas de Aquino (1225 d.C.- 1274 d.C.), um dos principais pensadores da escolástica ao revisar os textos de Aristóteles, se posiciona contrariamente à teoria do horror ao vácuo.

Para Aristóteles, a ocorrência de movimento depende da resistência do meio sendo proporcional a ele. Assim, o movimento no vácuo é impossível, pois como o vácuo não possui resistência qualquer movimento que ocorra nele adquiriria velocidade infinita, uma contradição.

Porém para Tómas de Aquino, a resistência do meio não é condição essencial para a ocorrência de movimento. Pois, para ele todo movimento ocorre no espaço e no tempo e como o espaço e o tempo são limitados, todo movimento possui velocidade finita, quer ele ocorra no meio material ou no vazio. Assim, espaços vazios podem ocorrer na natureza.



No século XIV, o pensamento escolástico começou a entrar em decadência levando por um lado ao misticismo e por outro lançando as bases que culminariam no Renascimento científico, artístico e cultural.

### **Idade Moderna (1453 a 1789)**

Galileu Galilei (1564 d.C. - 1642 d.C.) foi apresentado ao problema das bombas aspirantes somente conseguirem elevar a água dos poços até a altura de 10,3 metros. Ele não se dedicou a resolver esse problema e designou seu assistente Evangelista Torricelli (1608 d.C. – 1647 d.C.) para isso.

Torricelli constrói o primeiro barômetro da história ao emborcar um tubo contendo mercúrio numa cuba também com mercúrio e observar ele se estabilizar na altura de 76 cm. Torricelli defendeu que na parte superior do tubo previamente preenchida com mercúrio e depois esvaziada foi formada uma região de vácuo, pois o ar não atravessou o mercúrio para preencher a região. Ele também defendeu baseado na aplicação de dinâmica dos fluidos ao ar que a coluna de mercúrio foi equilibrada pela pressão atmosférica.

Este resultado não foi aceito por toda a comunidade científica. Nessa época, René Descartes (1596 d.C. - 1650 d.C.) já havia formulado a teoria da matéria sutil na qual a matéria se assemelharia a uma esponja, sendo constituída por partículas grandes e espaços vazios entre elas. Os espaços vazios seriam preenchidos por partículas menores, assim, a matéria possuiria poros. Desta forma para Descartes não foi formado um vácuo absoluto no barômetro de Torricelli, apenas um vácuo parcial, pois a matéria sutil teria penetrado pelos poros do vidro.

Blaise Pascal (1623 d.C. – 1662 d.C.) repetiu a experiência de Torricelli na base e no topo de uma montanha e viu que o mercúrio se estabilizava em alturas diferentes o que comprovava a explicação pela pressão atmosférica e refutava o horror ao vácuo.

### **Idade Contemporânea (1789 até o presente)**

No século XIX, surgem explicações divergentes para os fenômenos eletromagnéticos. Uma explicação baseada na ação a distância dentre os quais destacam-se os cientistas Charles Augustin Coulomb (1736 d.C. – 1806 d.C.) e André-Marie Ampère (1775 d.C. – 1836 d.C.) e a outra na qual os fenômenos eletromagnéticos ocorrem por intermédio de um mediador que foi chamado de éter entre os defensores desta teoria destacam-se os cientistas Michael Faraday (1791 d.C. – 1867 d.C.) e James Clerk Maxwell (1831 d.C. – 1879 d.C.).

A teoria da ação a distância não era capaz de explicar os fenômenos eletromagnéticos que ocorrem no vácuo. Isto foi fundamental para que a teoria eletromagnética de Maxwell fosse adotada pela comunidade científica.

Em 1905, Albert Einstein (1879 d.C. – 1955 d.C.) publicou a teoria da relatividade restrita que descreve os fenômenos eletromagnéticos. Nesta teoria, a energia dos campos elétrico e magnético estão "armazenadas" no vácuo e o éter torna-se desnecessário.

Em 1915, Einstein publicou a teoria da relatividade geral que descreve as interações gravitacionais. Um espaço vazio não tem propriedades físicas, não pode ser encurvado, desta forma para a teoria ser consistente o éter precisou ser reintroduzido na Física do século XX.

Em 1927, Werner Heisenberg (1901 d.C. – 1976 d.C.) postulou o princípio da incerteza que é um dos princípios fundamentais da física quântica. Segundo este princípio é impossível

conhecer com exatidão o valor de duas grandezas físicas associadas a uma partícula no mesmo instante de tempo.

As relações de incerteza são responsáveis pelo aparecimento de pares de partículas virtuais na Física. De uma forma geral, uma partícula virtual é uma "partícula que não chegou a acontecer". Uma partícula virtual tem massa nula e existe apenas durante um breve período de tempo numa diminuta região do espaço (H. FRITZSCH, p.146 apud MOREIRA, 2009, p. 3). O vácuo da Física Quântica é preenchido por uma quantidade essencialmente infinita de pares de partículas virtuais.

Estas partículas foram comprovadas experimentalmente em 1958 pelo cientista Marcus Sparnay (1923 d.C. – 2015 d.C.) (COUGO-PINTO, FARINA, TORT, 1999) pela observação do Efeito Casimir (proposto em 1948 pelo cientista Hendrik Casimir, 1909 d.C. – 2000 d.C.) na qual duas placas metálicas paralelas situadas no vácuo aproximam-se, não por interação elétrica ou gravitacional. "A força de Casimir pode ser calculada utilizando o conceito de energia de vácuo do campo eletromagnético, a qual inclui apenas as flutuações provenientes dos fótons virtuais" (CRUZ, 2019, p. 21).

Desta forma para a Física atual, o vácuo não é um lugar vazio, ele é preenchido por uma densidade de pares de partículas virtuais. A história do vácuo é permeada por momentos nos quais a existência do vácuo é rejeitada com períodos nos quais ele é uma "certeza científica".

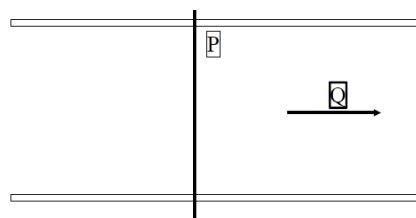
### Conceitos iniciais sobre escoamento de gases

Para obter vácuo num sistema, geralmente inicia-se a bombear a câmara de vácuo a partir da pressão atmosférica até alcançar-se a pressão final desejada. Enquanto o gás do sistema é bombeado, "o fluxo do gás se estabelece em diferentes regimes, definidos pelo valor da pressão, que é sinônimo de densidade molecular ou livre caminho médio" (GAMA, 2002, p. 21).

Assim, para descrever o comportamento de um sistema de vácuo, é fundamental, descrever o fluxo de gás que se estabelece nos diferentes regimes de escoamento.

Considere uma tubulação onde há um escoamento de gás através de uma seção, como mostra a figura 1.

Figura 1: Esquema de tubo com seção com pressão P e fluxo Q.



Fonte: Gama, 2002, p. 21.

Num intervalo de tempo  $\Delta t$  escoam pela seção transversal um volume de gás  $\Delta V$ . A relação entre essas duas grandezas define a velocidade de bombeamento ( $S$ ):

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (1)$$

Ao produto da pressão pela velocidade de bombeamento, chamamos de vazão de massa do gás:

$$Q = PS \quad (2)$$

Logo, podemos escrever,

$$Q = P \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3).$$

Em geral, S é medido em litro/s e Q em torr.litro/s.

Se num tubo temos um escoamento de gás (geralmente provocado pela ação de uma bomba de vácuo), temos uma diferença de pressão entre dois pontos deste tubo, e o fluxo se estabelece da pressão maior para a menor.

"Considerando duas secções transversais A e B, para as quais as pressões são  $P_A$  e  $P_B$ , respectivamente, e o fluxo de massa é Q, definimos a condutância entre A e B como a razão do fluxo de massa pela diferença de pressão, ou seja": (GAMA, 2002, p.2)

$$C_{AB} = \frac{Q}{P_A - P_B} \quad (4).$$

A condutância é medida em litro/s. A condutância mede a facilidade com a qual o gás escoo pelo sistema de vácuo.

A impedância mensura a dificuldade para o gás escoar pelo sistema. Fisicamente, a impedância é definida como o inverso da condutância:

$$Z_{AB} = \frac{1}{C_{AB}} = \frac{P_A - P_B}{Q} \quad (5).$$

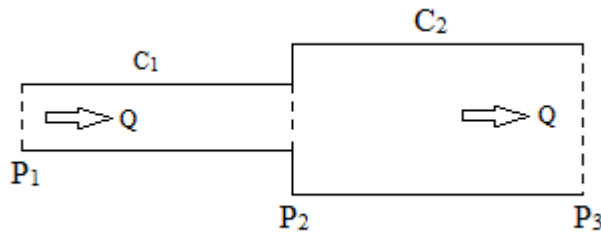
A unidade de medida da condutância é o s/litro.

"Destaca-se que, no caso de um tubo ou tubulação em série, enquanto a vazão (Q) é constante (o que expressa a lei da conservação da vazão), a velocidade de bombeamento (S) e a pressão (P) variam continuamente ao longo do comprimento da tubulação" (GAMA, 2002, p. 22).

### Condutâncias em série

Considere uma tubulação formada por dois tubos de seções transversais diferentes ligados em série, observe que apesar da diferença entre as seções transversais, o fluxo de massa que entra por um tubo é igual ao fluxo que sai pelo segundo tubo, isto é, a vazão se mantém constante. Esta situação está ilustrada na figura 2.

Figura 2: Tubos associados em série.



Fonte: adaptado de Gama, 2002, p. 21.

A condutância no tubo 1 é:

$$C_1 = \frac{Q}{P_1 - P_2}$$

E a condutância no tubo 2 é:

$$C_2 = \frac{Q}{P_2 - P_3}$$

Como a vazão é constante, temos:

$$Q = C_1(P_1 - P_2) = C_2(P_2 - P_3)$$

Então:

$$(P_1 - P_2) = \frac{Q}{C_1}$$

$$(P_2 - P_3) = \frac{Q}{C_2}$$

Somando-se as duas últimas equações:

$$(P_1 - P_3) = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

Logo,

$$\frac{(P_1 - P_3)}{Q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_{eq}}$$

onde  $C_{eq}$  representa a condutância total ou condutância equivalente do sistema. Esta equação se generaliza para  $n$  tubos como:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (6)$$

Como a impedância é o inverso da condutância, segue que:

$$Z_{eq} = Z_1 + Z_2$$

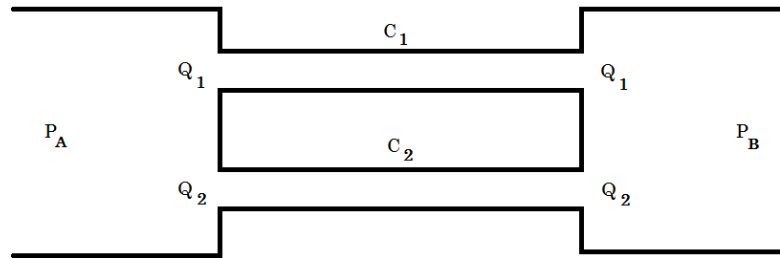
A equação acima é generalizada para  $n$  tubos como:

$$Z_{eq} = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n \quad (7)$$

### Condutâncias em paralelo

No caso de condutâncias em paralelo, a vazão se divide entre dois ou mais tubos, porém permanece constante, obedecendo a lei de conservação da vazão. Observe a seguir, a figura 3 que ilustra a situação de dois tubos ligados em paralelo.

Figura 3: Tubos associados em paralelo.



Fonte: Onusic, Medina, Douglas, s.a, p. 6.

A vazão total será dada por:

$$Q = (P_A - P_B)C_1 + (P_A - P_B)C_2$$

$$\frac{Q}{P_A - P_B} = C_1 + C_2$$

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

que pode ser generalizada para n tubos em paralelo como:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (8).$$

Considerando a impedância temos que:

$$Z_{eq} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}$$

A equação anterior é generalizada para n tubos como:

$$Z_{eq} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_n} \quad (9)$$

### Regimes de Escoamento

Existem três regimes de escoamento de gases: viscoso, molecular e intermediário. A seguir vamos caracterizar e distinguir os três estados. Os três estados são categorizados em função do livre caminho médio. Não é objetivo deste material tratar os regimes de escoamento quantitativamente.

O escoamento viscoso ocorre quando o livre caminho médio é pequeno quando comparado com as dimensões da câmara e das tubulações no qual o gás está encerrado, ou seja, o número de choques entre as moléculas é muito maior que o número de choques entre as moléculas e as paredes (GAMA, 2002, p. 13 e 24).

O gás encontra-se em regime de escoamento molecular, quando o livre caminho médio é maior que as dimensões da câmara e da tubulação. Por extensão, quando o livre caminho médio é da ordem das dimensões da câmara e das tubulações, tem-se o regime intermediário (GAMA, 2002, p. 13).

## Analogia entre grandezas hidráulicas (aplicadas a sistemas de vácuo) e grandezas elétricas

Um sistema de vácuo é um sistema hidráulico, no qual o fluido está na forma gasosa e geralmente é o ar. Pode ser estabelecida uma analogia entre sistemas hidráulicos e circuitos elétricos.

Os tubos e outros elementos correspondem aos fios, que apresentam determinada impedância que mensura a "dificuldade" para a passagem do gás pelo sistema que é análoga a resistência elétrica que é a "dificuldade" que o circuito impõe a passagem da corrente elétrica.

Observa-se que "quanto menor o diâmetro do tubo e maior o seu comprimento, maior será essa resistência. Pelo contrário, quanto maior o diâmetro e menor o comprimento, menor a resistência" (GAMA, 2002, p. 22).

A condutância hidráulica que mensura a "facilidade" para a passagem do gás pelo sistema fica análoga a condutância elétrica que mede a "facilidade" para a passagem da corrente pelo circuito elétrico. Observe que a condutância hidráulica é o inverso da impedância e a condutância elétrica é o inverso da resistência.

Continuando a associação entre as grandezas, a diferença de pressão é análoga à diferença de potencial, o fluxo de massa é análogo à corrente elétrica e as bombas fazem o papel de forças eletromotrizes. Segue um resumo da analogia entre grandezas hidráulicas e grandezas elétricas no quadro 1.

Quadro 1: Analogia entre grandezas hidráulicas e grandezas elétricas.

Sistema Hidráulico (vácuo)	Símbolo	Circuito Elétrico (eletricidade)	Símbolo
Tubos (e outros elementos)	-	Fios	-
impedância	$Z_{AB}$	resistência	$R$
condutância hidráulica	$C_{AB}$	condutância elétrica	$G$
diferença de pressão	$P_A - P_B$	diferença de potencial	$U_A - U_B$
fluxo de massa (vazão)	$Q$	corrente elétrica	$i$
bombas	-	forças eletromotrizes	-

Fonte: o autor.

"É importante notar que a vazão em massa  $Q$  tem o mesmo valor em qualquer secção de uma tubulação (ou de tubos em série). Isto expressa a lei de conservação da vazão em massa, que é equivalente a lei de conservação de massa" (GAMA, 2002, p. 22).

### Proposta de exercícios

Seguindo a metodologia Ensino sob Medida, esta proposta é dividida em três momentos. Questões conceituais (exercícios de aquecimento) para o pré-aula, questões para serem resolvidas durante a aula e questões para o pós-aula (questões do tipo quebra-cabeças). Esta proposta de exercícios tem como público alvo o a primeira e/ou segunda série do Ensino Médio.

As questões conceituais precisam ser resolvidas pelos estudantes e as respostas devolvidas ao docente antes da aula. As repostas destas questões constituem importante subsídio para que o docente planeje uma aula focada em dirimir as dificuldades apresentadas pela turma, ou seja, uma aula sob medida.

As questões conceituais foram construídas baseadas na apostila "A Ciência e Tecnologia do Vácuo: Resumo Histórico e Algumas Aplicações" de Roberto A. Stempeniak. Sociedade Brasileira de Vácuo. FACAP/CDT – Faculdade de Ciências Aplicadas de São José dos Campos, SP.

As questões da fase a ser desenvolvida em sala de aula e a questão do tipo quebra-cabeça (*puzzle*) para o pós-aula foram adaptadas do livro didático, aprovado pelo PNLD 2021, Conexões Ciências da Natureza e suas Tecnologias: Energia e Ambiente.

As questões adaptadas do livro Conexões Ciências da Natureza e suas Tecnologias: Energia e Ambiente foram contextualizadas pelo autor desta dissertação para integrarem esta proposta. Para todas as questões da proposta são apresentadas possíveis respostas esperadas dos estudantes.

### Questões Conceituais (com respostas esperadas)

1) O que é vácuo?

R: Lugar vazio, lugar com ausência de matéria e energia.

Região na qual não existe matéria ou energia.

Condição de um local completamente vazio, sem a presença de matéria.

Região parcialmente desprovida de matéria e energia.

2) Defina vazão ou fluxo de massa de gás?

R: A vazão ou fluxo de massa mede a quantidade de gás que atravessa uma seção transversal do tubo a determinada pressão, por unidade de tempo. A vazão é definida pelo produto  $Q = PS$ , onde  $Q$  é a vazão,  $P$  é a pressão e  $S$  é a velocidade de bombeamento. A vazão  $Q$  é medida em torr-litro/s. Ou seja, a vazão corresponde a taxa de escoamento de gás pela tubo.

3) O que é pressão? E o que é uma superfície isobárica?

R: A pressão é definida pela razão entre a força (normal a superfície) e a área da superfície na qual essa força está aplicada. A unidade de pressão no Sistema Internacional é o Pascal que corresponde a aplicação de uma força de 1 Newton numa área de 1 metro quadrado.

Superfície isobárica é uma superfície na qual todos os pontos estão submetidos a mesma pressão.

4) Defina impedância e condutância?

R: Fisicamente, o conceito de impedância está associado à dificuldade (resistência) oferecida pelo tubo à passagem do gás.

A capacitância mede a facilidade com que o gás escoo pela tubulação.

Ou seja, a capacitância é o inverso da impedância.

5) Realize um levantamento de dispositivos elétricos residenciais que dependem do vácuo para funcionarem ou para serem fabricados<sup>1</sup>.

**Lâmpada incandescente:** contêm um vácuo parcial. As lâmpadas incandescentes emitem luz a partir do aquecimento de um filamento (geralmente de tungstênio). Entretanto um metal

---

<sup>1</sup> O exercício 5 foi adaptado da atividade da página 8 do livro Leituras de Física Eletromagnetismo: para ler, fazer e pensar - 1 a 6 (GREF) e as respostas são baseadas na apostila Ciência e Tecnologia do Vácuo: Resumo Histórico e Algumas Aplicações (SBV).

aquecido na presença de oxigênio sofre um processo de oxidação fazendo com que o filamento se rompa. Por isso é produzido vácuo no interior da lâmpada, o qual é parcialmente preenchido com argônio, que protege o filamento de tungstênio da degradação química.

**Ar-condicionado tipo split:** durante a instalação é necessário que seja produzido vácuo na tubulação que liga a unidade interna e externa do aparelho)

**Todos os dispositivos eletrônicos** (notebooks, smartphones, smart TVs, tablets): os microchips são fabricados em sistemas de vácuo.

**Garrafa térmica:** Recipiente para preservar a temperatura alta ou baixa de líquidos. A garrafa térmica é constituída essencialmente de um frasco de vidro de paredes duplas entre as quais é produzido vácuo para reduzir a possibilidade de transferência de calor por condução.

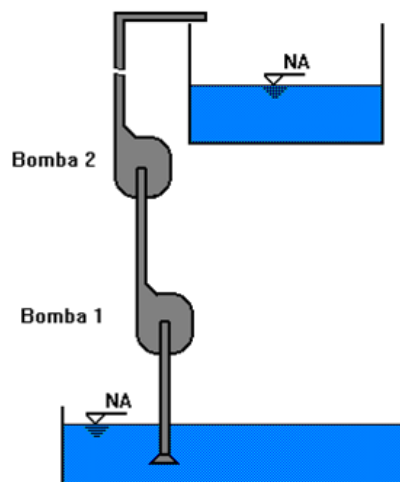
**Placas solares:** também são produzidas em sistemas de vácuo.

### Questões para a fase em sala de aula (com resoluções)

Exercício 1) Considere a seguinte situação: necessita-se elevar a água de um reservatório até uma caixa d'água que fica localizada no teto de um edifício, porém as bombas hidráulicas não são capazes de elevar a água até a altura pretendida.

Quando as bombas hidráulicas disponíveis no mercado funcionando isoladamente não são capazes de elevar a água até a altura que se necessita, geralmente é utilizada uma associação em série de duas ou mais bombas (associação com mais de três bombas não é usual). Duas bombas estão associadas em série quando elas têm a seguinte configuração: a primeira bomba puxa a água do reservatório e a eleva para a sucção da segunda bomba que eleva a água para o reservatório superior. Esta situação está ilustrada na figura 4:

Figura 4: Associação em série de duas bombas hidráulicas.



Fonte: Professor Hugo Alexandre Soares Guedes. Disponível em:

<https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2019/05/Associa%C3%A7%C3%A3o-de-bombas.pdf>

A associação em série é a mais adequada para ser utilizada nesta situação, pois, a altura final a que a associação de bombas consegue elevar a água é igual a soma das alturas à que as bombas conseguem elevar a água operando isoladamente (em situações reais, devido a perdas no sistema, a altura final é um pouco menor que a altura mencionada).

Observe a figura 4, acima, que representa duas bombas hidráulicas,  $B_1$  e  $B_2$ , ligadas em série, de impedâncias, respectivamente, 5 s/litro e 8 s/litro, entre as extremidades das bombas existe uma diferença de pressão de 6,5 torr. Vamos obter o valor de duas grandezas importantes



associadas a essa tubulação: a vazão (fluxo de massa) que percorre cada bomba e a diferença de pressão entre as extremidades de cada bomba.

**Solução:**

**Dados:**

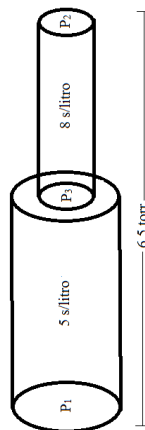
$$Z_1 = 5 \text{ s/litro}$$

$$Z_2 = 8 \text{ s/litro}$$

$$P_1 - P_2 = 6,5 \text{ torr}$$

Considere a representação esquemática das bombas deste exercício associadas em série apresentada na figura 5:

Figura 5: Representação esquemática de duas bombas associadas em série.



Fonte: o autor.

Cálculo da Vazão (Q):

A impedância equivalente ( $Z_E$ ) da associação é:

$$Z_E = Z_1 + Z_2 \Rightarrow Z_E = 5 + 8 \Rightarrow Z_E = 13 \text{ s/litro}$$

Assim,

$$Z_E = \frac{P_1 - P_2}{Q} \Rightarrow 13 = \frac{6,5}{Q} \Rightarrow 13Q = 6,5 \Rightarrow Q = 0,5 \text{ torr} \cdot \text{litro/s}$$

Na associação em série as duas bombas ficam submetidas a mesma vazão, neste caso  $Q = 0,5 \text{ torr} \cdot \text{litro/s}$ .

A diferença de pressão entre as extremidades de cada bomba é dada por:

Na bomba 1:

$$Z_1 = \frac{P_1 - P_3}{Q} \Rightarrow 5 = \frac{P_1 - P_3}{0,5} \Rightarrow P_1 - P_3 = 2,5 \text{ torr}$$

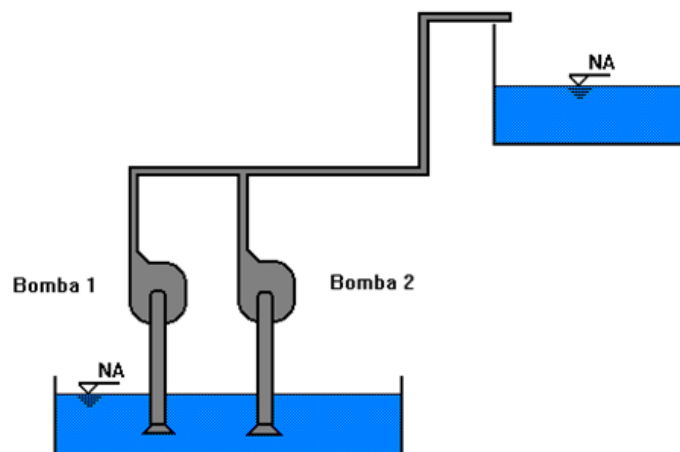
Na bomba 2:

$$Z_2 = \frac{P_3 - P_2}{Q} \Rightarrow 8 = \frac{P_3 - P_2}{0,5} \Rightarrow P_3 - P_2 = 4 \text{ torr}$$

Exercício 2) Considere agora a situação na qual uma bomba hidráulica funcionando isoladamente consegue elevar a água até a altura na qual localiza-se a caixa d'água de um edifício. Esta bomba consegue elevar determinada vazão até a caixa d'água, porém, no horário de pico de consumo pelos moradores, esta vazão não é suficiente. Neste caso pode-se associar duas bombas hidráulicas em paralelo.

Duas bombas estão associadas em paralelo como ilustrado na figura 6 quando elas estão montadas uma ao lado da outra e puxam em conjunto a água do reservatório e a elevam até a mesma altura. Neste tipo de associação a vazão total é dada pela soma das vazões das duas bombas. Porém, a altura a que a associação de bombas em paralelo consegue elevar a água é igual a altura que uma bomba operando isoladamente eleva a água.

Figura 6: Associação em paralelo de duas bombas hidráulicas.



Fonte: Prof. Hugo Alexandre Soares Guedes. Disponível em:

<https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2019/05/Associa%C3%A7%C3%A3o-de-bombas.pdf>

Se as mesmas bombas do exercício anterior estivessem ligadas em paralelo, como na figura 8, elas estariam sob a mesma diferença de pressão, 6,5 torr, mas percorridos por diferentes vazões. Qual seria a vazão em cada bomba? E qual seria a vazão total?

**Solução:**

**Dados:**

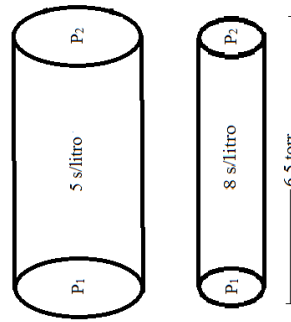
$$Z_1 = 5 \text{ s/litro}$$

$$Z_2 = 8 \text{ s/litro}$$

$$P_1 - P_2 = 6,5 \text{ torr}$$

Considere a representação esquemática das duas bombas deste exercício associadas em paralelo apresentada na figura 7:

Figura 7: Representação esquemática de duas bombas associadas em paralelo.



Fonte: o autor.

$$Q_1 Z_1 = P_1 \Rightarrow Q_1 \cdot 5 = 6,5 \Rightarrow Q_1 = 1,3 \text{ torr} \cdot \text{litro/s}$$

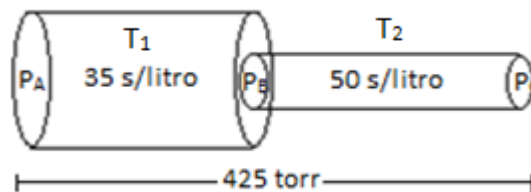
$$Q_2 Z_2 = P_2 \Rightarrow Q_2 \cdot 8 = 6,5 \Rightarrow Q_2 = 0,8125 \text{ torr} \cdot \frac{\text{litro}}{\text{s}} \Rightarrow Q_2 \cong 0,8 \text{ torr} \cdot \text{litro/s}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 \Rightarrow Q \cong 1,3 + 0,8 \cong 2,1 \text{ torr} \cdot \text{litro/s}$$

A vazão na bomba 1 é de 1,3 torr · litro/s, na bomba 2 de aproximadamente 0,8 torr · litro/s e na associação em paralelo, a vazão total é de aproximadamente 2,1 torr · litro/s.

Exercício 3) Um processo industrial para embalagem de alimentos à vácuo é realizado por um sistema de vácuo que possui uma tubulação em série com dois tubos, T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>, como esquematicamente ilustrado na figura 8, com impedâncias Z<sub>1</sub> e Z<sub>2</sub> iguais, respectivamente, a 35 s/litro e 50 s/litro, na tubulação estabelece-se uma diferença de pressão de 425 torr.

Figura 8: Representação esquemática de duas bombas associadas em série como parte de equipamento industrial.



Fonte: o autor.

Sabendo que por T<sub>1</sub> circula uma vazão de 5 torr·litro/s, calcule:

- A vazão que circula por T<sub>2</sub>;  
Como as bombas estão associadas em série, a vazão que circula por T<sub>2</sub> é igual a vazão que circula por T<sub>1</sub>, ou seja, 5 torr·litro/s.
- A potência dissipada por T<sub>2</sub>.  
Analogamente ao caso elétrico no qual  $U = RI$ , temos para o caso hidráulico que  $P = ZQ$ . Então, como  $Pot_{elétrica} = RI^2$  então  $Pot_{hidráulica} = ZQ^2$

$$Pot = ZQ^2$$

$$Pot = 50 \cdot 5^2$$

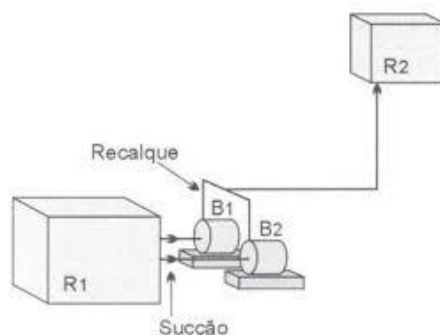
$$Pot = 1250 W$$

c) A diferença de pressão entre as extremidades de  $T_1$ .

$$Z_1 = \frac{P_A - P_C}{Q} \Rightarrow 35 = \frac{P_A - P_C}{5} \Rightarrow P_A - P_C = 175 \text{ torr}$$

Exercício 4) Um sistema de bombeamento é constituído por duas bombas hidráulicas associadas em paralelo. Os tubos que fazem a ligação entre o reservatório inferior e as bombas são chamadas tubos de sucção e os tubos que fazem a ligação entre as bombas e o reservatório superior são chamados de tubos de recalque, conforme mostrado na figura 9.

Figura 9: Representação esquemática de um sistema de bombeamento constituído por duas bombas hidráulicas associadas em paralelo com destaque dos tubos de recalque e de sucção.



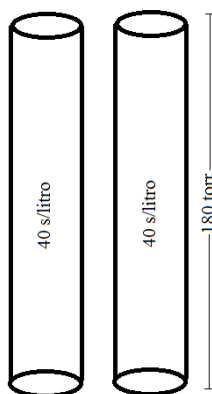
Fonte: Prof. Homero Soares. Disponível em: <[https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Homero-Cap%C3%ADtulo-5\\_Parte-2\\_15102014\\_V1.pdf](https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Homero-Cap%C3%ADtulo-5_Parte-2_15102014_V1.pdf)>

Considere dois tubos de recalque iguais que possuem impedância de 40 s/litro cada um, que são ligados em paralelo num sistema de vácuo e ficam submetidos a uma diferença de pressão de 180 torr. Qual é a vazão em cada tubo?

### Solução:

Para resolver este exercício, considere a representação esquemática dos dois tubos de recalque de impedância 40 s/litro, mostrados na figura 10:

Figura 10: Representação esquemática de dois tubos de recalque associados em paralelo.



Fonte: o autor.

Chamando o primeiro tubo de A e o segundo de B, temos,

$$Z_A = 40 \text{ s/litro}$$

$$Z_B = 40 \text{ s/litro}$$

E a diferença de pressão entre as extremidades dos tubos,

$$P_1 - P_2 = 180 \text{ torr}$$

Assim,

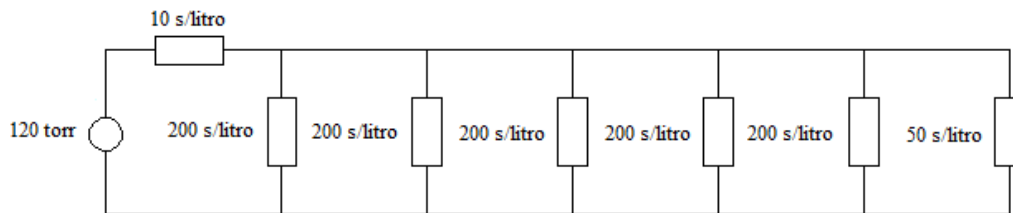
$$Z_A = \frac{P_1 - P_2}{Q_A} \Rightarrow 40 = \frac{180}{Q_A} \Rightarrow Q_A = 4,5 \text{ torr} \cdot \text{litro/s}$$

$$Z_B = \frac{P_1 - P_2}{Q_B} \Rightarrow 40 = \frac{180}{Q_B} \Rightarrow Q_B = 4,5 \text{ torr} \cdot \text{litro/s}$$

### Questão do tipo quebra-cabeça: puzzle (com resolução)

Exercício 5) Um sistema de vácuo industrial mal dimensionado, possui um tubo de impedância igual a 10 s/litro. O sistema de vácuo possui uma diferença de pressão de 120 torr (indicada pelo medidor de pressão). Nesse sistema, cinco bombas de impedância igual a 200 s/litro, estão associadas ao mesmo circuito que uma bomba de 50 s/litro, conforme simplificado na figura 11. A bomba de 50 s/litro funciona apenas com uma diferença de pressão entre 90 e 130 torr.

Figura 11: Sistema de vácuo industrial com cinco bombas de 200 s/litro e uma bomba de 50 s/litro associadas em paralelo.



Fonte: o autor.

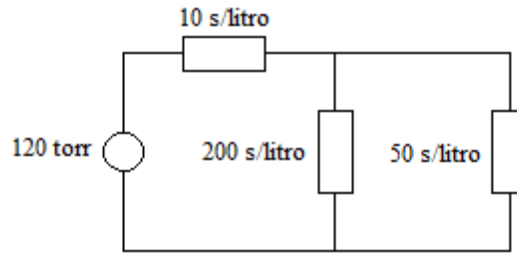
O número máximo de bombas de 200 s/litro que podem ser ligadas sem que a bomba de 50 s/litro pare de funcionar é:

- a) 1                      c) 3                      e) 5  
b) 2                      d) 4

Esta questão será resolvida por tentativa e erro:

Considere primeiro o caso de apenas uma bomba de 200 s/litro e a bomba de 50 s/litro estão ligadas, este caso está representado na figura 12:

Figura 12: Sistema de vácuo industrial com uma bomba de 200 s/litro e uma bomba de 50 s/litro associadas em paralelo.



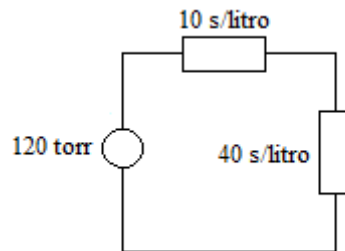
Fonte: o autor.

Calculando a impedância equivalente das bombas:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{200} + \frac{1}{50} = \frac{5}{200} \Rightarrow Z = 40 \text{ s/litro}$$

O sistema se reduz ao sistema mostrado na figura 13:

Figura 13: Sistema equivalente ao sistema formado por uma bomba de 200 s/litro e uma de 50 s/litro associadas em paralelo.



Fonte: o autor.

A impedância de 40 s/litro representa uma bomba de 200 s/litro e a bomba de 50 s/litro ligadas juntas. Assim,

Analogamente ao caso elétrico no qual  $U = Ri$ , temos para o caso hidráulico que  $P = ZQ$ . Segue a análise dimensional:

$$\begin{aligned} P &= ZQ \\ [P] &= [Z][Q] \\ [P] &= \frac{s}{litro} torr \cdot \frac{litro}{s} \\ [P] &= torr \end{aligned}$$

$$P_1 + P_2 = 120 \Rightarrow Z_1 \cdot Q + Z_2 \cdot Q = 120 \Rightarrow Q(Z_1 + Z_2) = 120$$

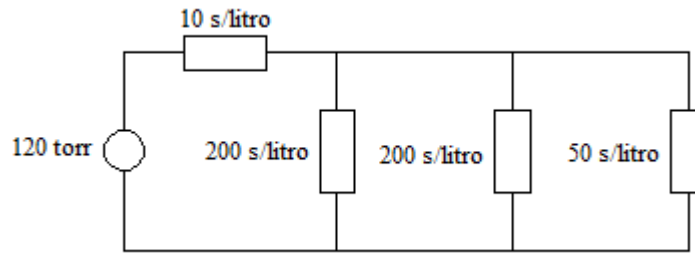
$$Q \cdot (10 + 40) = 120 \Rightarrow Q = \frac{120}{50} \Rightarrow Q = 2,4 \text{ torr} \cdot \text{litro/s}$$

$$P_2 = Z_2 \cdot Q \Rightarrow P_2 = 40 \cdot 2,4 \Rightarrow P_2 = 96 \text{ torr}$$

Como com uma bomba de 200 s/litro, a pressão na bomba de 50 s/litro é de 96 torr, então, ela funciona.

Considere agora o caso com duas bombas de 200 s/litro e a bomba de 50 s/litro ligadas, este caso está representado na figura 14:

Figura 14: Sistema de vácuo industrial com duas bombas de 200 s/litro e uma bomba de 50 s/litro associadas em paralelo.



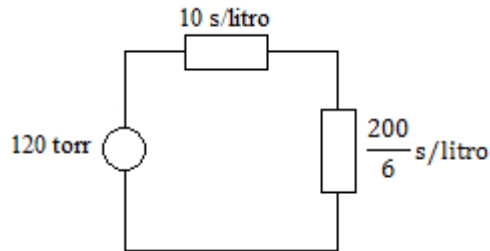
Fonte: o autor.

Calculando a impedância equivalente de duas bombas de 200 s/litro e a bomba de 50 s/litro:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{200} + \frac{1}{200} + \frac{1}{50} = \frac{6}{200} \Rightarrow Z = \frac{200}{6} \text{ s/litro}$$

O sistema se reduz ao sistema mostrado na figura 15:

Figura 15: Sistema equivalente ao sistema formado por duas bombas de 200 s/litro e uma de 50 s/litro associadas em paralelo.



Fonte: o autor.

A impedância de  $\frac{200}{6}$  s/litro representa duas bombas de 200 s/litro e a bomba de 50 s/litro ligadas juntas. Assim,

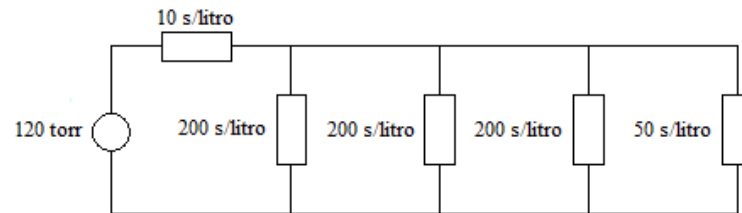
$$Q(Z_1 + Z_2) = 120 \Rightarrow Q \cdot \left(10 + \frac{200}{6}\right) = 120 \Rightarrow Q = 120 \cdot \frac{6}{260} \Rightarrow Q = \frac{36}{13} \text{ torr} \cdot \text{litro/s}$$

$$P_2 = Z_2 \cdot Q \Rightarrow P_2 = \frac{200}{6} \cdot \frac{36}{13} \Rightarrow P_2 = \frac{1200}{13} \text{ torr} \Rightarrow P_2 \cong 92,31 \text{ torr}$$

Com duas bombas de 200 s/litro e a bomba de 50 s/litro ligadas juntas, a pressão na bomba de 50 s/litro é de 92,31 torr, portanto, ela funciona.

Agora vamos considerar o caso com três bombas de 200 s/litro e a bomba de 50 s/litro ligadas, este caso está representado na figura 16:

Figura 16: Sistema de vácuo industrial com três bombas de 200 s/litro e uma bomba de 50 s/litro associadas em paralelo.



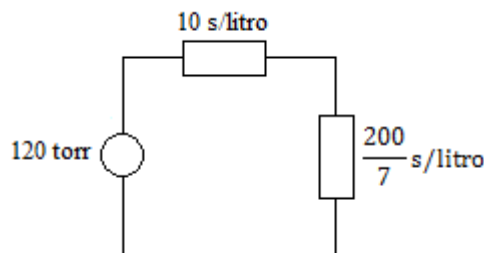
Fonte: o autor.

Calculando a impedância equivalente de três bombas de 200 s/litro e a bomba de 50 s/litro:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{200} + \frac{1}{200} + \frac{1}{200} + \frac{1}{50} = \frac{7}{200} \Rightarrow Z = \frac{200}{7} \text{ s/litro}$$

O sistema se reduz ao sistema mostrado na figura 17:

Figura 17: Sistema equivalente ao sistema formado por três bombas de 200 s/litro e uma de 50 s/litro associadas em paralelo.



Fonte: o autor.

A impedância de  $\frac{200}{7}$  s/litro representa três bombas de 200 s/litro e a bomba de 50 s/litro ligadas juntas. Assim,

$$Q(Z_1 + Z_2) = 120 \Rightarrow Q \cdot \left(10 + \frac{200}{7}\right) = 120 \Rightarrow Q = 120 \cdot \frac{7}{260} \Rightarrow Q = \frac{84}{27} \text{ torr} \cdot \text{litro/s}$$

$$P = Z \cdot Q \Rightarrow P_2 = \frac{200}{7} \cdot \frac{84}{27} \Rightarrow P_2 = \frac{2400}{27} \text{ torr} \Rightarrow P_2 \cong 88,89 \text{ torr}$$

Com três bombas de 200 s/litro e a bomba de 50 s/litro ligadas juntas, pressão na bomba de 50 s/litro é de 88,89 torr, portanto, ela não funciona.

A alternativa correta é a letra b) 2.

### Sugestões de Material Complementar:

Ao(À) docente interessado(a) no assunto vácuo, Teoria da Aprendizagem Significativa e/ou Ensino sob Medida deixamos as seguintes sugestões:



## **Sobre vácuo:**

### **Artigo:**

STEMPNIAK, Roberto A. **A ciência e a tecnologia do vácuo: Resumo histórico e algumas aplicações.** Sociedade Brasileira do Vácuo. 2002. Disponível em: <http://www.sbvacu.org.br/noticias/o-que-e-vacuio.pdf>. Acesso em 23/02/2023.

Artigo que traz informações básicas e importantes para a formação do cidadão sobre a história do vácuo e algumas das aplicações da tecnologia do vácuo na sociedade.

### **Filme:**

**Sunshine - Alerta Solar.** Direção: [Danny Boyle](#). Estados Unidos e Reino Unido, 2007. 1h 40 min. Ficção científica, suspense.

Num futuro não muito distante, o Sol está se apagando então um grupo de cientistas é enviado ao espaço para completar uma missão que já havia falhado antes, reativar o Sol com uma explosão nuclear. Entretanto ocorre um acidente que expõe os tripulantes ao vácuo do espaço, um erro grave e o encontro de um sobrevivente da primeira missão. Essas situações colocam o objetivo de reviver o Sol em risco.

### **Vídeo:**

Deixe cair uma bola de boliche e umas plumas ao mesmo tempo, e comprove o que disse Galileu Galilei. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=v3g6Leg94rc&t=126s>. Acesso em 23/02/2023.

Vídeo que demonstra que dois objetos de massa diferente (uma pena e uma bola de boliche) caem ao mesmo tempo no vácuo, demonstrando a hipótese de Galileu.

### **Site:**

O site da Sociedade Brasileira de Vácuo (SBV) disponibiliza informações sobre o vácuo e sobre ciência e tecnologia do vácuo, incluindo apostilas introdutórias sobre vácuo, cursos sobre vácuo oferecidos pela SBV e por entidades que possuem um curso de vácuo dado de forma regular, links para congressos da SBV, link para submissão de artigos e acesso a Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo (RBAV), entre outras informações. Disponível em: <http://www.sbvacu.org.br/>

## **Sobre Teoria da Aprendizagem Significativa:**

### **Site:**

Neste site, o Professor Marco Antonio Moreira disponibiliza vários artigos sobre aprendizagem significativa. O site apresenta artigos sobre aprendizagem significativa clássica, aprendizagem significativa crítica, organizadores prévios, diagramas V, unidades de ensino potencialmente significativas, entre muitos outros. O site também disponibiliza subsídios para professores e pesquisadores incluindo artigos sobre comportamentalismo, construtivismo e humanismo, epistemologias do século XX, métodos qualitativos e quantitativos e outros materiais. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/>. Acesso em 23/02/2023.

### **Vídeo:**

Palestra intitulada "**Aprendizagem Significativa na Educação Contemporânea: desafios e equívocos**" proferida pelo Prof. Dr. Marco Antonio Moreira nos Seminários do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - PPGECM/UNIOESTE - Ciclo Online 2021. Disponível em: <https://youtu.be/8PWPLuTFxFM>. Acesso em 24/02/2023.

Nesta palestra, o Professor Marco Antonio Moreira aborda didaticamente conceitos centrais da teoria da aprendizagem significativa.

### **Sobre Ensino sob Medida (*Just-in-Time Teaching*):**

#### **Artigo:**

RIBEIRO, Bruna Schons, et. al. *Just-in-Time Teaching* para o Ensino de Física e Ciências: uma revisão sistemática da literatura. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 44, e20220075 (2022).

Neste artigo, os autores apresentam uma Revisão Sistemática da Literatura acerca da metodologia ativa de ensino *Just-in-Time Teaching* empregada dentro das subáreas Ensino de Física e Educação em Ciências.

#### **Site:**

Recursos JiTT – 2018 disponível em [https://jittdl-science-iupui-edu.translate.goog/JiTT\\_RESOURCES/?x\\_tr\\_sch=http&x\\_tr\\_sl=en&x\\_tr\\_tl=pt&x\\_tr\\_hl=pt-BR&x\\_tr\\_pto=sc](https://jittdl-science-iupui-edu.translate.goog/JiTT_RESOURCES/?x_tr_sch=http&x_tr_sl=en&x_tr_tl=pt&x_tr_hl=pt-BR&x_tr_pto=sc) ou no link curto <https://bitly.com/GO7cK>

Neste site encontra-se uma série de recursos como exercícios de aquecimento e questões quebra-cabeças para implementação de aula JiTT de várias disciplinas, incluindo Física. O site também disponibiliza artigos científicos (em inglês) sobre JiTT.

### **Bibliografia do produto**

ARAUJO, Ives Solano, MAZUR, Eric. Instrução pelos colegas e Ensino sob Medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 30, n. 2: p. 362 - 384, ago. 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. 2018. 600 p.

GAMA, Sérgio. Introdução à Ciência e Tecnologia de Vácuo. Campinas. IFGW - Unicamp. Agosto/2002. 248 p.

GRF/IFUSP. Leituras de Física Eletromagnetismo: para ler, fazer e pensar - 1 a 6. São Paulo: Edusp.1998.

GUEDES, Hugo Alexandre Soares. Associação de bombas. Pelotas. Apresentação em PDF. 22 slides, color. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2019/05/Associa%C3%A7%C3%A3o-de-bombas.pdf>. Acesso em: 12/05/2022.

LONGUINI, Marcos Daniel; NARDI, Roberto. Origens Históricas e considerações acerca do conceito de pressão atmosférica. Cad.Cat.Ens.Fís., v.19, n.1: p.64-75, abr. 2000.

MARTINS, Roberto de Andrade. O éter ou o nada: Ainda se estuda a existência de uma entidade invisível que preenche todo o espaço. Campinas. s.a.

MOREIRA, Marco Antonio. *Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares*. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011. 179 p.

MOREIRA, Marco Antonio. *O que é afinal aprendizagem significativa?* Porto Alegre. 27 p. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/> . Acesso em 09/12/2022.

OLIVEIRA, Vagner. *Uma proposta de ensino de tópicos de eletromagnetismo via instrução pelos colegas e ensino sob medida para o ensino médio*. Porto Alegre, 2012. 236 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RIBEIRO, Bruna Schons, et. al. *Just-in-Time Teaching* para o ensino de Física e Ciências: uma revisão sistemática da literatura. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 44, e20220075, 2022.

ROSA, Carlos Augusto de Proença. *História da Ciência. A Ciência Moderna. Volume II. Tomo I*. 2ª ed. Fundação Alexandre de Gusmão. Brasília. 2012.

SANTOS, Evaniel Brás dos. Tomás de Aquino contra Averróis: uma defesa cosmológica da hipótese real do *vacuum in natura*. *ANALYTICA*, Rio de Janeiro, vol 21 nº 2, 2017, p. 83-111.

SANTOS, Marcos dos. *Interpretações e controvérsias nas teorias do éter e do vácuo*. São Paulo, 2015. 85 p. Dissertação (Mestrado em História da Ciência). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

SOARES, Homero. *Associação de bombas*. Juiz de Fora. Apresentação em PDF. 25 slides, color. Disponível em: [https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Homero-Cap%C3%ADtulo-5\\_Parte-2\\_15102014\\_V1.pdf](https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Homero-Cap%C3%ADtulo-5_Parte-2_15102014_V1.pdf). Acesso em: 12/05/2022.

STEMPENIAK, Roberto A. *Ciência e Tecnologia do Vácuo: Resumo Histórico e Algumas Aplicações*. São José dos Campos. Sociedade Brasileira de Vácuo. FACAP/CDT – Faculdade de Ciências Aplicadas. 2002. 14 p.

THOMPSON, Miguel, et. al. *Conexões Ciências da Natureza e suas Tecnologias: Energia e Ambiente*. 1ª ed. São Paulo: Moderna, 2020. 6 v.