



Fontes alternativas de energia

Fontes alternativas de energia

Gabriela Marcomini de Lima

© 2017 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Alberto S. Santana
Ana Lucia Jankovic Barduchi
Camila Cardoso Rotella
Cristiane Lisandra Danna
Danielly Nunes Andrade Noé
Emanuel Santana
Grasiele Aparecida Lourenço
Lidiane Cristina Vivaldini Olo
Paulo Heraldo Costa do Valle
Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Carolina Belei Saldanha
Maurício Dester
Paulo Sérgio Siberti da Silva

Editorial

Adilson Braga Fontes
André Augusto de Andrade Ramos
Cristiane Lisandra Danna
Diogo Ribeiro Garcia
Emanuel Santana
Erick Silva Griep
Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L732f Lima, Gabriela Marcomini de
Fontes alternativas de energia / Gabriela Marcomini de
Lima. – Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A.,
2017.
192 p.

ISBN 978-85-522-0175-5

1. Recursos energéticos. I. Título.

CDD 333.7

2017
Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 – Londrina – PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1 Energia elétrica e o desenvolvimento social	7
Seção 1.1 - Fontes de energia	9
Seção 1.2 - Matriz energética nacional	24
Seção 1.3 - Fontes de energia renovável e não renovável	37
Unidade 2 Energia solar, eólica e de biomassa	53
Seção 2.1 - Energia solar	56
Seção 2.2 - Energia eólica	69
Seção 2.3 - Energia de biomassa	84
Unidade 3 Energia hidráulica e gaseificação	101
Seção 3.1 - Carneiro hidráulico e roda d'água	104
Seção 3.2 - Microcentrais hidroelétricas	117
Seção 3.3 - Gaseificação	130
Unidade 4 Biocombustíveis, célula a combustível e aproveitamento de resíduos	145
Seção 4.1 - Biocombustíveis	148
Seção 4.2 - Célula a combustível	162
Seção 4.3 - Aproveitamento energético do lixo urbano e resíduos industriais	176

Palavras do autor

Bem-vindo à disciplina *Fontes alternativas de energia*. Você certamente tem conhecimento de toda a problemática ambiental envolvida na exploração e utilização de algumas fontes de energia, principalmente as ditas “não renováveis”. Aliado a isso, o modelo de desenvolvimento econômico atual, pautado no uso intenso de energia e no crescente aumento de sua demanda, tem exigido que sejam adotadas estratégias para o aumento da eficiência energética de produtos e processos e que ocorra diversificação da matriz energética pela inserção de fontes alternativas de energia. Nesse contexto, é importante que você tenha uma visão crítica sobre a matriz energética brasileira e tenha conhecimento sobre as fontes de energia disponíveis, sobre as vantagens e desvantagens de sua exploração e sobre as situações em que elas poderão ser exploradas.

Ao término desta disciplina, espera-se que você conheça e compreenda a matriz energética nacional e as diferentes fontes alternativas de energia, suas principais características, vantagens e impactos socioambientais. Para isso, é importante que você leia atentamente o material de estudos, que é composto por quatro unidades. São elas: Unidade 1 - Energia elétrica e o desenvolvimento social: nessa unidade você conhecerá, compreenderá e saberá discutir a matriz energética nacional, considerando as perspectivas de tendências passada e futura; Unidade 2 - Energia solar, eólica e de biomassa: aqui você identificará as aplicações da energia solar, eólica e biomassa e conhecerá suas principais características, sob as óticas técnica, econômica e socioambiental; Unidade 3 -Energia hidráulica e gaseificação: esta unidade proporcionará a você o conhecimento sobre as aplicações e o funcionamento do Carneiro Hidráulico e Roda d'água, Microcentrais Hidrelétricas e Gaseificadores e Unidade 4 - Biocombustíveis, célula a combustível e aproveitamento de resíduos: o objetivo da unidade é fazer com que você saiba as características e os fatores que possibilitam a viabilidade da utilização de biogás, da célula a combustível e do aproveitamento de resíduos.

Antes de começar o seu estudo sobre energias alternativas, reforçamos a importância de você realizar as leituras

complementares, pois, assim como o livro didático, elas são essenciais para a construção de seu conhecimento. Bons estudos!

Energia elétrica e o desenvolvimento social

Convite ao estudo

Iniciaremos agora a primeira unidade de ensino do seu livro didático, intitulada *Energia elétrica e o desenvolvimento social*.

A realização de nossas atividades diárias e inclusive a nossa sobrevivência, está condicionada à presença de energia. O simples fato de você estar, neste momento, lendo este material, implica (ou implicou) na utilização de energia: ela foi empregada na produção e disponibilização do livro didático até você e pode estar sendo utilizada neste momento, enquanto você realiza a leitura. Por isso, é fácil afirmar que o estilo atual de vida que adotamos exige um suprimento constante e crescente de energia.

Quando falamos em energia elétrica, logo pensamos nas grandes usinas hidrelétricas que são, de fato, a principal fonte de energia pertencente à matriz energética elétrica nacional - porém, não é a única. Nesta unidade, você compreenderá não apenas os conceitos, as fontes e as formas de utilização de energia, mas também conhecerá a matriz energética atual do Brasil, o seu passado e as tendências futuras.

É importante entender que a matriz energética mundial, pautada principalmente no uso de combustíveis fósseis, tem mostrado, há tempos, sinais de esgotamento. Tal fato tem forçado discussões sobre a exploração de fontes renováveis de energia como forma de minimizar os impactos socioeconômicos e ambientais negativos, advindos do uso de recursos não renováveis como fonte energética. Pensando em todo esse contexto, vamos colocá-lo em uma situação hipotética para que você possa aplicar os conteúdos

que aprenderá nesta unidade. Isso também irá prepará-lo para possíveis situações parecidas como essa, em seu futuro profissional. Assim, imagine-se na seguinte situação: você foi convidado para compor uma comissão de discussão, na qual será realizada uma análise da matriz energética brasileira e do potencial da participação de fontes alternativas de energia na sua composição. A partir dessa análise, será redigido um relatório destinado ao Governo Federal, com o objetivo de incentivar uma mudança na matriz energética nacional. A sua participação nesta comissão está detalhada em três etapas, seção após seção, nas situações-problemas propostas ao longo desta unidade de ensino.

Você conhece a matriz energética brasileira? Sabe que outras fontes de energia são exploradas no Brasil? As respostas para estes e outros questionamentos poderão ser encontradas adiante. Portanto, inicie os seus estudos!

Seção 1.1

Fontes de energia

Diálogo aberto

Muitas críticas têm sido direcionadas à matriz energética nacional, que ainda tem o petróleo, uma fonte não renovável de energia, como principal fonte explorada no Brasil. Quando o assunto é a matriz energética elétrica, as hidrelétricas também têm levantado muitos questionamentos, principalmente direcionados aos impactos ambientais e sociais, resultantes da construção das grandes barragens.

Não é incomum que tais questões caiam nas rodas de discussões populares, já que frequentemente os noticiários anunciam o aumento nos preços da gasolina ou na tarifa de energia elétrica, causando certo fervor na população. Como vimos anteriormente, você foi inserido em uma comissão que realiza uma análise da matriz energética brasileira e do potencial da participação de fontes alternativas de energia na sua composição. Isso gerará um relatório para incentivar uma alteração na matriz energética nacional.

Imagine que no primeiro dia de debate da comissão para a formulação do relatório, foi feito um alerta sobre os problemas relacionados à exploração e uso do petróleo, que apesar dos impactos ambientais associados, ainda é a fonte energética mais explorada mundialmente. Nesse contexto, a comissão decidiu inserir uma consideração sobre as fontes de energia alternativas que poderiam ser melhor exploradas no Brasil, visando minimizar os prejuízos ambientais decorrentes do uso de combustíveis fósseis. A esse respeito, os seguintes pontos foram discutidos: que fontes de energia poderiam ser incluídas nesse relatório? Como essas fontes são utilizadas? Qual seria um argumento favorável à substituição do petróleo como principal fonte energética?

Qual seria o seu posicionamento a respeito dessas questões? As respostas a esses questionamentos integrarão a primeira parte do relatório e, nesta seção, você poderá obter informações para a resolução desse problema, enfocando principalmente os conteúdos que tratam das fontes de energia e sua utilização.

Diálogo aberto

A presença de energia é uma condição fundamental para que haja vida no planeta Terra. Essa energia não é apenas o suprimento diário do qual necessitamos para que nossas células trabalhem incansavelmente para nos manter vivos, mas dela (da energia) também dependem o nosso conforto e bem-estar. Presenciamos a energia o tempo todo - mas, você saberia conceituar energia? Por mais simples que pareça, essa não é uma tarefa muito fácil. Simploriamente falando, energia pode ser definida como a “capacidade de realizar trabalho”. Tal conceito torna-se, por vezes, muito vago se não levamos em consideração de que tipo de energia estamos falando, já que, além de trabalho, ela também pode produzir calor. Molina Júnior e Romanelli (2015, p. 22) afirmam que



numa forma generalizada, pode-se conceituar que energia é a capacidade de realizar mudanças, por meio da diferença de temperatura (calor) ou de localização espacial (deslocamento por energia cinética ou potencial).



Exemplificando

Para melhor compreensão do conceito de energia, vamos analisar um exemplo: um dos processos envolvidos na geração de energia hidrelétrica é a movimentação das turbinas pela força das águas; isto é um trabalho que só é possível graças à energia dispensada nesse processo. Em uma hidrelétrica, a energia da água não é diretamente utilizada para a produção de energia elétrica: é necessário que a energia potencial gravitacional da água represada seja transformada gradativamente em energia cinética de translação nos condutos forçados, em energia cinética de rotação nas turbinas e finalmente em energia elétrica nos geradores.

Você deve ter notado no exemplo que, ora falamos em energia potencial, ora em energia cinética. Uma forma de energia pode sim ser transformada em outra, e é esse o ponto-chave da questão. A energia não se cria e não pode ser destruída; ela se transforma. É justamente por isso que podemos obter energia de diversas fontes, como do Sol, das águas, dos ventos, dos resíduos etc.



Pesquise mais

Para que você entenda com clareza a relação entre trabalho e energia, é necessário que você recorde alguns princípios fundamentais de física, com destaque para as três leis de Newton, que regem a mecânica básica e buscam explicar os fenômenos envolvidos na força e movimento dos corpos.

Para isso, leia o artigo Mecânica, calor e ondas, Capítulo 4: As leis de Newton, de Zilio e Bagnato (2008).

Disponível em: <<http://www.fotonica.ifsc.usp.br/ebook/book3/Capitulo4>>. Acesso em: 3 abr. 2017.



Assimile

Determinados sistemas mecânicos, que não sofrem influência de fenômenos térmicos ou eletromagnéticos, são regidos pelo "Princípio da conservação da energia". Este princípio embasa a afirmação de que a energia não pode ser criada e nem destruída, mas somente transformada de uma forma em outra. A energia mecânica é a soma da energia cinética a energia potencial. As energias potencial e cinética podem variar em um sistema fechado e ideal, mas a soma de ambas é constante e igual à energia mecânica. Relembrando o exemplo da usina hidrelétrica: a energia potencial é transformada gradativamente em energia cinética, nos condutos forçados. Inicialmente, a água possui apenas energia potencial. Na medida em que uma massa de água se aproxima da turbina, percorrendo os condutos forçados, a energia potencial inicial vai se transformando em energia cinética. Ao chegar na turbina, quase toda energia potencial foi transformada em energia cinética. Todavia, a soma de ambas resulta sempre na energia mecânica do sistema (energia potencial mais energia cinética).

Agora que você já está familiarizado com os termos "energia cinética", "energia potencial" e "energia mecânica", chegou a hora de compreendê-los de forma mais detalhada.

A energia pode ser classificada quanto ao movimento das partículas ou corpos e quanto à sua natureza física. Quanto ao

movimento, a energia pode ser cinética ou potencial e quanto à natureza física, classifica-se em mecânica, eletromagnética, química, nuclear etc.

Em termos gerais, a energia potencial relaciona-se com a energia que é armazenada nas partículas e a energia cinética tem relação com a velocidade dos objetos (SGUAZZARDI, 2014, p. 92). Já a energia mecânica é formada pela junção da energia potencial, energia cinética e energia interna (grau de agitação das moléculas ou partículas que constituem a substância e que está associado à temperatura da substância, ou seja, quanto maior a temperatura, maior o grau de agitação das moléculas ou partículas).

Além da energia cinética e potencial, que juntas formam a energia mecânica, podemos encontrar outros tipos de energia, dentre as quais destacam-se: eletromagnética, química e nuclear.

A energia eletromagnética (por exemplo, a radiação solar) pode ser transformada em energia elétrica (geração fotovoltaica) ou em calor (aquecedor solar).

Sempre que colocamos corpos com diferentes temperaturas em contato, ocorrerá uma transferência de calor, partindo do corpo de maior para o de menor temperatura. Essa transferência de calor entre os corpos pode ocorrer por meio de condução, convecção ou radiação.

A condução ocorre quando existe contato físico entre superfícies com temperaturas diferentes e, nesse caso, a transferência de energia ocorrerá por meio da vibração das moléculas que compõem a substância.

Na convecção, que ocorre mais comumente em meio líquido e gasoso, as moléculas aquecidas ascendem, promovendo o surgimento de correntes de água e movimentação do ar na atmosfera.

A radiação promove transferência de calor pela emissão de ondas eletromagnéticas, sendo a forma como a energia solar atinge a Terra, já que essas ondas podem se propagar no vácuo, sem a necessidade de massa para que a energia seja transferida aos corpos. Essa forma de energia é essencial para a sobrevivência dos seres vivos e precursora de diversas fontes de energia exploradas pelo homem, com destaque especial para a energia solar.



Vale a pena aprofundar os seus estudos nos conceitos de eletricidade e eletromagnetismo, enfocando principalmente a eletrostática, a eletrodinâmica e os geradores de eletricidade, que tratam, respectivamente, dos fenômenos relacionados ao equilíbrio das cargas elétricas, do deslocamento de cargas elétricas e de equipamentos utilizados para produzir corrente elétrica a partir de energia mecânica. Leia o material "Leituras de Física" (HOSOUME, Y. et al., 1998), indicado a seguir, para aprofundar o seu conhecimento sobre o tema.

Disponível em: <<http://www.if.usp.br/gref/eletro/eletro4.pdf>>. Acesso em: 1 jun. 2017.

Para que você compreenda o que é a energia química, é preciso lembrar que as substâncias que formam a matéria são constituídas por moléculas, que, por sua vez, são formadas por átomos de elementos químicos. Esses átomos estão unidos por ligações químicas, nas quais reside a energia, que é adquirida a partir da união dos átomos.

A energia armazenada nas ligações é liberada para as reações de combustão, que nada mais são do que reações entre uma substância que atua como combustível e um comburente (normalmente gases, sendo o oxigênio o principal deles). Como resultado da combustão - uma reação química exotérmica - ocorre a liberação de calor.

Graças à energia química, podemos explorar os combustíveis fósseis (petróleo e derivados, gás natural e carvão) como fontes energéticas. É possível estimar o conteúdo energético dos combustíveis fósseis por meio do cálculo da energia liberada na combustão dessas substâncias.

Para compreender a energia nuclear, é importante lembrar que os átomos dos elementos químicos são formados por um núcleo, que contém prótons e nêutrons, e elétrons que o circundam. As quantidades de prótons e nêutrons presentes no núcleo são diferentes: quando há uma quantidade excessiva ou deficiente de nêutrons ou uma grande quantidade de prótons, os núcleos tornam-se instáveis e podem alcançar a estabilidade quando

sofrem decaimento nuclear. Esse processo libera uma grande quantidade de energia, que é denominada radioatividade.

A energia armazenada no núcleo do átomo pode ser obtida por meio da fusão e da fissão nuclear. Na fusão nuclear, dois núcleos de átomos unem-se para formar um único núcleo, reação que libera uma quantidade enorme de energia. A reação de fusão nuclear ocorre no Sol e pode ser empregada artificialmente na reação entre átomos de hidrogênio produzindo hélio, visando à geração de energia.

Na fissão nuclear, um núcleo de átomo é dividido em dois, liberando grande quantidade de energia. Um exemplo de fissão é a que ocorre nos átomos de urânio, com potencial para a geração de energia.

A energia nuclear tem grande potencial na substituição de combustíveis fósseis, no entanto, durante muito tempo discutiu-se a respeito dos problemas relacionados ao descarte de resíduos que sua exploração produz. Atualmente, a grande preocupação reside na garantia da segurança para evitar ou mitigar da forma correta possíveis acidentes que possam ocorrer. Os rejeitos radioativos são controlados e classificados de acordo com o seu teor de radioatividade. Alguns podem sofrer reciclagem e, na sua inviabilidade, são armazenados em recipientes que impedem a passagem de radiação.

Até agora você estudou sobre como se manifestam os diferentes tipos de energia. É importante que você saiba que existe uma relação entre o tipo de energia e as fontes das quais ela é explorada: a energia mecânica pode ser obtida de fontes como os ventos, marés e água; o Sol é uma fonte de energia eletromagnética; a energia química provém de fontes como biomassas e combustíveis fósseis e a fusão de núcleos de hidrogênio ou fissão de urânio são fontes de energia nuclear. Veremos, a seguir, um pouco mais sobre as fontes de energia e suas formas de utilização.

Podemos classificar as fontes de energia em renováveis e não renováveis.

As fontes de energia renováveis são derivadas direta ou indiretamente da luz solar, com exceção da energia geotérmica, proveniente do calor emanado do núcleo da Terra. A característica "inesgotável" dessas fontes, aliada à introdução de novas tecnologias,

tornam a sua exploração atrativa em países que carecem de uma rede elétrica desenvolvida, já que o custo-benefício de geradores de pequeno porte movidos à energia eólica e solar, por exemplo, é mais vantajoso do que a instalação de extensas redes elétricas (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Tal exploração é dita descentralizada, pois privilegia a construção de centrais elétricas de pequeno e médio portes, visando ao abastecimento local e regional. Como exemplo, podemos citar os sistemas descentralizados eólicos, solares, as mini, micro e pequenas centrais hidrelétricas. Já os sistemas centralizados, muito explorados no Brasil, são projetos de grande porte, como as hidrelétricas e usinas eólicas, que geralmente localizam-se longe dos centros consumidores e necessitam de transporte da energia gerada.

É importante ressaltar que a opção por um planejamento centralizado ou descentralizado de fornecimento de energia deve ser precedida por estudos para a análise de qual alternativa é mais adequada.

Os combustíveis fósseis, como o carvão, o gás natural e o petróleo, são classificados como fontes de energia não renováveis, pois são originados a partir de reservas fossilíferas que se formaram há milhares de anos, a partir do soterramento e decomposição de matéria orgânica. Além de existirem em quantidade limitada no planeta, tanto a extração quanto a utilização desses combustíveis geram impactos ambientais negativos. Dando maior enfoque ao petróleo, existe o risco de vazamentos que podem afetar todo o ecossistema marinho, assim como a própria instalação das plataformas; além disso, a sua queima libera uma grande quantidade de carbono na atmosfera, alterando o ciclo biogeoquímico deste elemento, fato relacionado há tempos ao aumento da temperatura média global.

Apesar de todos os problemas ambientais relacionados ao uso de combustíveis fósseis, o petróleo ainda é o principal combustível explorado no mundo. Molina Júnior e Romanelli (2015) atribuem esse fato ao menor custo de extração e uso do petróleo, se comparado a outras fontes de energia menos poluentes. Segundo os autores, investimentos para a instalação de usinas termoeletricas que queimam petróleo são menores do que a instalação de

geradores eólicos e usinas hidrelétricas, por exemplo. O aspecto socioeconômico ligado ao uso de petróleo e seus derivados, é outro fator a ser considerado, visto que as atividades da indústria petrolífera são fontes de empregos, atraem investidores e geram royalties para o governo.

No entanto, um modelo de desenvolvimento sustentável almeja, entre outros aspectos, um aumento da eficiência energética e uma matriz renovável, com maior exploração de fontes, como as eólicas, solares, biomassa e células a combustível, em detrimento da utilização intensiva de combustíveis fósseis.

Veremos agora as características de algumas fontes de energia, para, posteriormente, compreendermos como elas são utilizadas:

- **Sol:** estrela que ocupa o centro do sistema solar, é uma poderosa "máquina energética", cuja energia emitida pode chegar à superfície terrestre a uma taxa próxima de 1.400 Watts por metro quadrado. Toda essa energia é oriunda da fusão de átomos de hidrogênio, seu principal componente químico, correspondendo a cerca de 92% de sua composição.

Fonte primária de energia, o Sol está envolvido direta ou indiretamente em vários processos que viabilizam ao homem o aproveitamento de fontes de energia renováveis: é condicionante da fotossíntese, que mantém a biomassa vegetal, base da cadeia alimentar; participa do ciclo da água, promovendo a evaporação e a evapotranspiração; e atua na formação dos ventos.

A radiação emitida pelo Sol chega à superfície terrestre na forma de luz e calor, que podem variar de intensidade devido ao movimento de translação e à inclinação do eixo de rotação da Terra, à medida que o planeta gira ao redor do Sol. Por isso, no verão, os dias são mais longos e há mais radiação solar e o oposto ocorre no inverno. A intensidade da radiação solar também pode variar com a latitude, pois o ângulo de incidência dos raios solares se altera. Quanto maior o ângulo de incidência, maior é a radiação solar, o que explica porque países tropicais recebem maior radiação solar média ao longo do ano e são candidatos ideais para o aproveitamento energético da radiação solar.

- **Ventos:** os ventos são formados pela diferença de temperatura e pressão entre massas de ar que estão em camadas diferentes da superfície. A movimentação dessas massas de ar por diferentes

direções classifica os ventos em horizontais (ascendentes) ou verticais (descendentes). Os ventos horizontais formam-se quando as massas de ar quente, que estão próximas à superfície, elevam-se e são ocupadas pelas massas de ar frio que estão ao redor. Os ventos verticais ocorrem quando o ar quente próximo a superfície se aquece, eleva-se e é substituído pelo ar que estava na camada de cima.

No Brasil, a distribuição dos ventos é controlada pelos sistemas de Alta Pressão Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e do Atlântico Norte, e pela faixa de baixas pressões da Depressão Equatorial, que se estende pelo Oceano Atlântico e ao longo da Região Norte. Esse perfil de circulação atmosférica induz ventos persistentes ao Norte da Bacia Amazônica e no litoral da Região Nordeste.

Ressalta-se que a altitude de um terreno, o seu modelo de vegetação e a disponibilidade hídrica de um local podem influenciar significativamente no perfil geral de circulação atmosférica, promovendo a formação de ventos locais que possuem condições diferentes do perfil geral de circulação atmosférica.

De acordo com o *Atlas de potencial eólico brasileiro* (AMARANTE; BROWER; SÁ, 2001), as maiores velocidades médias anuais de ventos no Brasil são registradas na Zona litorânea do Nordeste - Sudeste, uma faixa de 100 km que se estende do Rio Grande do Norte ao Rio de Janeiro. Na porção mais ao Norte desta faixa, as velocidades médias anuais são de 8 - 9 m/s (sendo as maiores médias registradas nas áreas de picos). Outro destaque encontra-se ao longo do Litoral Sul, com velocidades superiores à 7 m/s, influenciados, além dos fatores citados, pelas brisas marinhas.

- **Água:** a água é um recurso renovável graças ao seu constante ciclo: as águas superficiais são aquecidas pela radiação solar e com o complemento da evapotranspiração de vegetais e animais, chega à atmosfera e se condensa formando nuvens. A precipitação da água, que pode ocorrer na forma líquida ou sólida, abastece superficialmente os rios, os lagos, os oceanos e as geleiras, bem como as reservas de água subterrânea, por infiltração.

O Brasil é um país privilegiado com a maior reserva de água doce do mundo e com uma costa de 7367 km banhada pelo Oceano Atlântico. Não é difícil entender porque a água é tão explorada como fonte de energia em nosso país.

- **Biomassa:** a biomassa pode ser conceituada como a matéria orgânica produzida por seres vivos em diferentes processos vitais e que está disponível na cadeia alimentar; trata-se, portanto, de um recurso renovável e que pode ser utilizado para a produção de energia elétrica e biocombustíveis, em substituição às fontes não renováveis de energia.

A celulose presente nos vegetais é uma fonte biológica de energia muito abundante; tal energia vem de sua estrutura química, formada por hidrogênio, carbono e oxigênio, unidos entre si por ligações químicas.

Qualquer fonte de matéria orgânica constitui biomassa com potencial energético, no entanto, algumas são mais amplamente utilizadas para essa finalidade do que outras, com destaque para a vegetação de florestas, os resíduos do agronegócio, os resíduos urbanos, os lodos e os gases de aterros sanitários.

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, cujo aproveitamento ocorre na produção de biocombustível (etanol) e queima do bagaço da cana para geração de calor e eletricidade.

Ao longo de seu dia, você faz uso das fontes de energia que possui em seu corpo para diversas finalidades. Para algumas atividades, será utilizada uma quantidade maior de energia, para outras, a energia dispensada será menor. Se a sua reserva energética está limitada, você precisará utilizá-la da melhor forma possível para realizar as atividades sem que falte energia para os processos vitais. Nesse caso, você precisará melhorar a sua eficiência energética.

Assim como no exemplo citado, a eficiência energética é uma palavra de ordem quando o assunto é utilização das fontes de energia. É importante ficar atento à perda de energia útil, que ocorre quando convertemos a energia de uma forma para outra.

Melhorar a eficiência de equipamentos que fazem a conversão energética ainda é um desafio, no entanto, o desenvolvimento tecnológico tem propiciado um grande avanço na área.

As fontes de energia podem ser utilizadas para a geração de eletricidade e produção de calor, de tal forma que é possível converter calor em energia elétrica e vice-versa. Além disso, ambas podem ser convertidas em trabalho mecânico.

Motores térmicos podem ser movidos a petróleo e derivados, carvão mineral, gás natural e biomassa; os sistemas fotovoltaicos

podem utilizar a radiação solar para aquecer água e ambientes; as usinas eólicas e hidroelétricas convertem a energia mecânica em energia elétrica, utilizada para abastecer os centros urbanos. As células a combustível podem ser utilizadas para converter diretamente a energia química em eletricidade.

Como você percebeu, as fontes de energia podem ser utilizadas de formas diversas. No entanto, o sucesso dessa utilização depende, entre outros fatores, da armazenagem da eletricidade. Antes de propor um plano de utilização de uma fonte de energia, é necessário observar a sua natureza intermitente, que pode representar uma desvantagem em sua utilização, como é o caso das energias eólica e solar.



Refleta

Ao longo deste conteúdo, você teve a oportunidade de conhecer um pouco sobre as formas de obtenção de energia, suas fontes e formas de utilização. Pensando em tudo que você estudou até o momento, você acredita que é possível que as fontes renováveis substituam integralmente as não renováveis? Reflita sobre o assunto.

Sem medo de errar

Agora é o momento de resolvermos a problemática apresentada anteriormente, no *Diálogo aberto*. Lembre-se de que, nela, você foi inserido em uma comissão que analisa a matriz energética brasileira e o potencial da participação de fontes alternativas de energia na sua composição. A partir dessa comissão será gerado um relatório para incentivar uma alteração na matriz energética nacional.

No primeiro dia de debates, você deveria se posicionar sobre as fontes de energia que poderiam ser incluídas nesse relatório e como essas fontes são utilizadas. Este momento, portanto, refere-se à composição da sua primeira etapa de elaboração do documento, na qual você deverá esclarecer: que fontes de energia poderiam ser incluídas nesse relatório? Como essas fontes são utilizadas? Qual seria um argumento favorável à substituição do petróleo como principal fonte energética?

Com relação às fontes de energia que poderiam ser incluídas, você viu anteriormente que o Brasil tem grande potencial para a utilização de fontes renováveis de energia. Possui a maior reserva de água doce do planeta, cuja exploração com fins energéticos pode se dar por meio das grandes usinas hidrelétricas ou pequenas, mini e microcentrais. Vimos que o nosso país apresenta o litoral da Região Norte a Sul com ventos persistentes, capazes de serem amplamente utilizados na movimentação de geradores eólicos, que podem ser utilizados para abastecimento de energia elétrica. É um país tropical, fator que permite que a radiação solar recebida seja frequente ao longo do ano e facilmente captada por sistemas de energia solar.

Um ponto-chave mencionado nesta comissão é a preocupação em substituir os combustíveis fósseis como fonte energética, com destaque para o petróleo. O principal argumento favorável à substituição do petróleo como principal fonte energética se dá pela grande disponibilidade de resíduos de biomassa gerada no país, em decorrência de um conjunto de fatores que inclui a disponibilidade hídrica e a insolação. A energia proveniente da biomassa pode ser utilizada na produção de biocombustíveis para o abastecimento de motores à combustão de automóveis e no aquecimento de caldeiras em usinas.

Os pontos apresentados constituem importantes dados a serem inseridos na composição da primeira parte de seu relatório. Vale lembrar que outros aspectos mencionados no *Não pode faltar* poderiam ser acrescentados, para enriquecer o documento. Por isso, releia o conteúdo e complemente com mais detalhes cada tópico apresentado.

Avançando na prática

Energia renovável: é possível viver apenas com uma delas?

Descrição da situação-problema

Imagine que você foi convidado para dar uma palestra sobre energia e suas fontes, em uma universidade. Em certo momento, um dos ouvintes levantou uma questão: é possível abastecer um país, como o Brasil, utilizando apenas a energia solar ou eólica? Pensando sobre as características das fontes e suas formas de utilização, proponha uma explicação para a questão.

Resolução da situação-problema

Você poderia afirmar ao ouvinte que não. Tanto a energia solar quanto a energia eólica são consideradas fontes intermitentes de energia. Com relação à exploração da força dos ventos para a geração de energia, a altitude de um terreno, o seu modelo de vegetação e a disponibilidade hídrica podem provocar alterações significativas no perfil geral de circulação atmosférica, promovendo a formação de ventos locais que possuem condições diferentes do perfil geral de circulação atmosférica.

A intensidade da radiação solar também pode sofrer variações sazonais devido ao movimento de rotação do planeta Terra e em consequência de fatores climáticos.

O ideal é que, antes de propor um plano de utilização das energias renováveis, seja feito um levantamento das condições particulares de cada localidade, sempre levando em consideração fatores como o relevo e o clima da região.

Faça valer a pena

1. O maior projeto da ciência brasileira vai virar realidade. O acelerador de partículas Sirius, em construção em Campinas [SP], tem como objetivo aproveitar a radiação eletromagnética proveniente da aceleração de elétrons como insumo para o desenvolvimento de pesquisa científica. Ele funciona da seguinte forma: os elétrons são acelerados a velocidades próximas a da luz e produzem uma luz chamada sincrotron, que poderá ser utilizada, entre outras funções, para estudar a estrutura atômica de materiais. O projeto, que tem custo estimado em R\$ 1,3 bilhão, deverá ficar pronto em 2018.

Disponível em: <<http://ciencia.estadao.com.br/blogs/herton-escobar/maior-projeto-da-ciencia-brasileira-ganha-a-canetada-que-faltava-para- virar-realidade/>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

De forma análoga à radiação eletromagnética produzida pelo Sirius para estudar a estrutura atômica de materiais, a radiação solar chega ao planeta Terra de forma natural e é aproveitada para a geração de energia. Sobre os tipos de energia, assinale a alternativa correta:

a) A energia eletromagnética pode ser utilizada para movimentar turbinas por meio de trabalho mecânico, mas não para o aquecimento de água e tampouco para produzir eletricidade em sistemas fotovoltaicos.

- b) O aproveitamento energético das águas em hidrelétricas só é possível pois a água represada possui energia cinética ao invés da energia potencial, o que resulta em um trabalho mecânico que gira as turbinas.
- c) Uma das formas de aproveitamento energético da biomassa é por meio do processo de combustão, que libera a energia química armazenada nas ligações entre os átomos.
- d) O maior problema relacionado ao aproveitamento da energia nuclear é que ainda não se sabe se a energia produzida poderia ser aproveitada para a geração de eletricidade.
- e) O aproveitamento das ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol ainda encontra barreiras, pois ela precisa de um meio para se propagar.

2. Conhecida por suas densas florestas e belas cascatas, a ilha de Kauai, no Havaí, tem uma abundância de luz solar de fazer inveja. Apesar disso, a ilha depende muito de óleo diesel, fonte de **eletricidade** cara e poluente, que destoa do seu cenário paradisíaco. Mas isso vai mudar. Mirando num futuro mais limpo e **sustentável**, a americana **Tesla** concluiu nesta semana o megaprojeto de instalação de uma fazenda solar na ilha. Como o sol não brilha a todo tempo, a empresa do Vale do Silício também instalou um conjunto de baterias para armazenamento de energia durante os picos de produção". Fonte: Revista Exame, 12 mar. 2017.

Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/negocios/o-megaprojeto-da-tesla-que-garantira-energia-solar-24h-no-havai/>>. Acesso em: 1 jun. 2017.

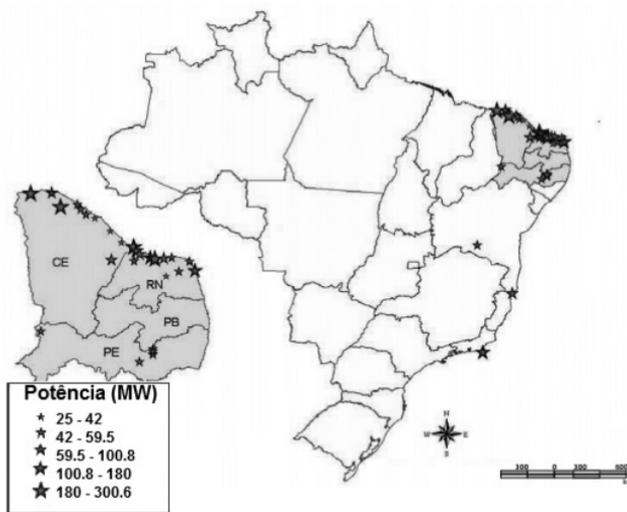
O projeto desenvolvido no Havaí vai ao encontro da resolução de alguns problemas relacionados à energia e suas fontes. Sobre o assunto, analise as afirmativas a seguir:

- I. De acordo com o texto, é possível afirmar que o projeto tem como um de seus objetivos priorizar o uso de fontes renováveis de energia em substituição às fontes não renováveis, já que a poluição é um aspecto que não condiz com a beleza natural do lugar.
- II. Com a instalação das baterias, a energia solar deixa de ser uma fonte intermitente de energia, podendo substituir em larga escala o óleo diesel.
- III. Provavelmente, a energia solar captada na fazenda solar de Kauai poderá ser utilizada à noite e em dias com muita nebulosidade.

Enunciado: Sobre as afirmativas, é correto dizer que:

- a) Apenas as afirmativas I e II estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas II e III estão corretas.
- d) Apenas a afirmativa I está correta.
- e) Apenas a afirmativa III está correta.

3. O jornal Noticiário de Pernambuco anunciou no dia dez de março de 2017 a subida do Brasil no ranking mundial de capacidade instalada de energia eólica. O país ocupa o quinto lugar no ranking após a nova instalação de 2 GW em 2016, passando a responder por 2,2% da capacidade global. O mapa a seguir indica a localização dos projetos eólicos outorgados no Brasil até janeiro de 2002. Observe e, em seguida, analise as afirmativas.



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2002, p. 71).

I. Apesar dos dados serem de 2002, o mapa condiz com a realidade climática brasileira, já que os únicos lugares viáveis para a construção de geradores eólicos estão na Região Nordeste do país, detentora de ventos fortes e persistentes.

II. É necessário um estudo prévio da viabilidade técnica e econômica de projetos de usinas eólicas, pois fatores como o relevo, o tipo de vegetação presente e a disponibilidade hídrica podem influenciar no perfil da circulação das massas de ar. Tal fato poderia justificar a presença de usinas eólicas em apenas algumas áreas de um mesmo estado.

III. O estado do Ceará representa o principal gerador de energia eólica do país, sendo também o detentor das usinas com maior potência.

Levando em conta as informações apresentadas acima, é correto afirmar que:

- Apenas a afirmativa II está correta.
- Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- Apenas as afirmativas I e II estão corretas.
- Apenas as afirmativas II e III estão corretas.
- Apenas a afirmativa I está correta.

Seção 1.2

Matriz energética nacional

Diálogo aberto

Na Seção 1.1, você conheceu o conceito de energia, compreendeu os tipos de energia, bem como suas respectivas fontes e ampliou o seu conhecimento a respeito da utilização das fontes de energia. Nesta seção, você conhecerá as características da matriz energética brasileira e a sua importância para o desenvolvimento socioeconômico do país.

No *Convite ao estudo* desta unidade, você foi inserido como membro de uma comissão que fará a análise da matriz energética brasileira e do potencial da participação de fontes alternativas de energia na sua composição. No *Diálogo aberto* da Seção 1.1, foi proposto, no primeiro dia de debates no qual está inserido, que você fizesse algumas considerações a respeito das fontes de energia alternativas que poderiam ser melhor exploradas no Brasil, com o objetivo de minimizar os prejuízos ambientais decorrentes do uso de combustíveis fósseis. A primeira parte de seu relatório está concluída, portanto, vejamos os pontos que devem ser destacados na segunda parte de seu relatório, nesta seção.

Imagine que, no segundo dia de debates, um dos membros da comissão fez a seguinte afirmação: “a principal fonte de energia participante da matriz elétrica brasileira é a oriunda da energia hidráulica, recurso natural abundante no Brasil. Apesar de ser uma energia renovável, muitas críticas são feitas à utilização da energia hidrelétrica no país”. Após essa afirmação, foi proposta a necessidade de uma nova matriz energética para o país e, para compor a segunda parte do relatório, você deve fundamentar a proposta dessa nova matriz respondendo às seguintes questões: a quais críticas esse membro da comissão se referia? Analisando a atual matriz energética do país, entre as fontes de energia alternativa utilizadas, qual poderia ser melhor explorada no Brasil? Justifique a sua resposta.

Para solucionar esse problema, você deverá analisar as fontes de energias que compõem a matriz energética brasileira, refletir

sobre as críticas referentes à construção de hidrelétricas e verificar as perspectivas futuras para a matriz brasileira, conteúdos que você conhecerá nesta seção.

Não pode faltar

O termo “matriz energética” certamente não é uma novidade para você.



Refleta

O que ele significa em termos práticos?

A matriz energética de um país representa toda as fontes energéticas exploradas, transformadas, transportadas e disponibilizadas para uso final, ou seja, ela representa a relação entre as fontes e sua cadeia energética (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2012, p. 193).

É importante que você compreenda que quando falamos em matriz energética, apenas, englobamos todos os energéticos, incluindo aqueles que são utilizados para a produção de energia elétrica ou como fonte de energia para a combustão de motores, por exemplo.



Exemplificando

Quando nos referimos apenas à produção de eletricidade, tratamos exclusivamente da matriz de energia elétrica.

A matriz energética constitui um importante instrumento de avaliação do desenvolvimento socioeconômico de um país. Em se tratando de eletricidade, Philippi Júnior e Reis (2016) destacam existir uma relação entre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de um país e o consumo de energia elétrica. Países que ocupam posições elevadas no ranking do IDH também são aqueles que apresentam o maior consumo per capita de energia elétrica. Em 2013, o Brasil ocupou a 75ª posição na oferta interna de energia elétrica per capita e a 70ª posição no ranking de consumo final de

eletricidade per capita (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016).

Outro aspecto importante relacionado à matriz energética é que sua análise histórica propicia a concepção de instrumentos de gerenciamento e gestão de energia, fornecendo subsídios para as tomadas de decisões políticas referentes ao planejamento energético em nível local, regional ou nacional.

No Brasil, diferentemente do que se observa na composição da matriz energética mundial, ocorre forte presença de fontes renováveis, motivo pelo qual ela é considerada uma das mais limpas do mundo. A grande responsável pela disparidade entre a utilização de fontes renováveis no Brasil e no restante do mundo é o etanol (bagaço da cana) e a energia hidroelétrica, participando com, respectivamente, 41,1% e 27,5% das fontes renováveis na matriz energética brasileira no ano de 2015 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016).

Outro aspecto de destaque na matriz energética brasileira é a participação reduzida do carvão mineral se comparada com a matriz mundial. Apesar disso, fontes não renováveis de energia, tais como o petróleo e seus derivados, o gás natural e o carvão mineral, participam de forma significativa na matriz energética brasileira.

Veja, a seguir, a característica das fontes de energia componentes da matriz energética por setor:

Setor de petróleo: o Brasil possui a segunda maior reserva de petróleo do continente sul-americano, atrás apenas da Venezuela. A empresa estatal Petrobras, criada em 1953, é responsável pela exploração e refino do petróleo, cuja maior parte da produção vem das plataformas marítimas da Bacia de Campos. Com uma das maiores produções mundiais, desde 2006 o Brasil é autossuficiente em petróleo (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2012).

Os derivados do petróleo mais comumente utilizados no Brasil como combustíveis são: gás liquefeito de petróleo (GLP), gasolina, querosene e óleo diesel.

Setor de gás natural: o gás natural (GN), composto por uma mistura de hidrocarbonetos (sendo o metano o seu principal componente), é encontrado no território brasileiro, em sua maior parte na Bacia de Campos (RJ). De 1993 a 2008, houve um significativo aumento na produção do GN no Brasil, principalmente

com relação à sua utilização como fonte de energia elétrica.

Além da geração de energia, o GN é utilizado no Brasil como gás de cozinha e como combustível na indústria.

Setor carbonífero: o carvão mineral, assim como o petróleo e o gás natural, é um combustível fóssil formado há milhares de anos pela decomposição da matéria orgânica e que hoje se encontra depositado em bacias sedimentares. As principais reservas no Brasil estão na Região Sul do país.

O Brasil é produtor de sete tipos de carvão a partir do beneficiamento do carvão in natura, porém, a sua utilização é pouco expressiva se comparada aos outros combustíveis fósseis integrantes da matriz.

Energia nuclear: o Brasil está entre os sete países com maiores reservas de urânio no mundo, localizadas em seis estados: Minas Gerais, Goiás, Paraná, Paraíba, Ceará e Bahia. Atualmente, estão em funcionamento duas usinas nucleares no país, a Angra 1 (com capacidade de potência de 640 MW) e a Angra 2 (com potência de 1350 MW). Uma terceira unidade, a Angra 3, está em fase de instalação.

Recursos energéticos renováveis: o Brasil apresentou um grande avanço com relação à utilização de energias renováveis. Atualmente, o país conta com um considerável número de fabricantes de coletores solares e desenvolve pesquisas visando à utilização de outros sistemas de captação e conversão de energia térmica, a partir da radiação solar.

Com relação à energia eólica, o Brasil é considerado hoje um dos maiores produtores, ocupando lugar de destaque entre as nações em que a exploração de energia eólica mais cresce. Mais de 16 mil MW de energia foram contratados (o equivalente ao que é gerado pela usina de Itaipu), sendo que desses, quase 8 mil MW são de empreendimentos que já estão produzindo eletricidade. A maior parte das usinas eólicas em operação estão localizadas, atualmente, na Região Nordeste. O país conta com fabricantes de turbinas eólicas espalhados pelas Regiões Nordeste, Sudeste e Sul. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014a).

A energia hidráulica segue sendo a mais explorada entre as fontes renováveis para a geração de energia elétrica no país, com

potencial para a geração de 2000 TWh por ano. Tal fato é resultado do número de reservatórios de água no país e é responsável pela posição de destaque do Brasil entre os países que mais utilizam fontes de energia renováveis para a geração de energia elétrica. A polêmica Usina de Belo Monte, inaugurada em 2016 e que há vários anos causa discussões e conflitos acerca dos impactos ambientais de sua instalação, é a maior já construída no país, com capacidade para geração de mais de 11200 MW (o suficiente para atender 60 milhões de pessoas).

A energia de biomassa participa de forma expressiva da matriz energética brasileira, conforme visto na seção anterior. A principal fonte explorada no Brasil é a cana-de-açúcar, seguida pela lenha, carvão vegetal e biomassa florestal.



Assimile

Nem sempre uma fonte renovável pode ser considerada uma fonte alternativa. As energias alternativas são aquelas que, além de serem renováveis, podem substituir as fontes de energia atualmente utilizadas em larga escala. Esse conceito exclui a energia hidráulica como alternativa, embora seja renovável. É importante enfatizar também que a instalação e a operação de usinas hidrelétricas levantam discussões sobre os impactos ambientais e sociais, como alteração na biota local devido à construção das barragens, alteração do curso dos rios, desmatamentos e necessidade de deslocamento da população ribeirinha. A exemplo de fontes alternativas de energia, pode-se citar a eólica e a solar, que podem representar uma alternativa na substituição da hidroeletricidade.

Após a apresentação das características dos setores de produção de energia, vamos abrir espaço para compreender a situação atual da matriz energética brasileira.

O Balanço Energético Nacional (BEN) é um relatório elaborado e divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que apresenta dados relativos à oferta e ao consumo de energia no Brasil. Ele abrange a exploração de recursos energéticos primários (aqueles utilizados para produção de energia), sua conversão em

formas secundárias de energia (como a eletricidade) e distribuição para consumo final.

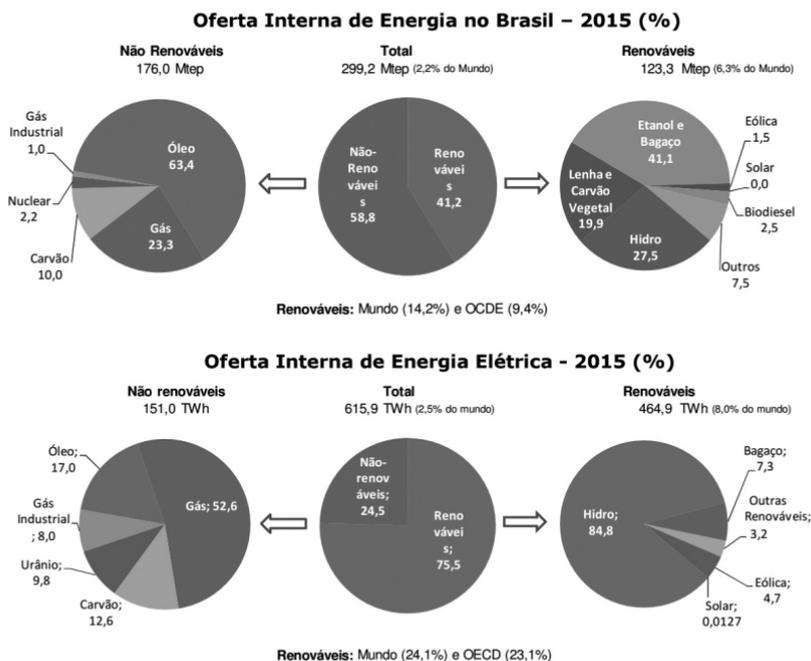
De acordo com o BEN publicado em 2016, no ano anterior (2015) houve um crescimento de 77,1% na geração eólica, ultrapassando a geração nuclear, e aumento de 18,6% no consumo de etanol. Com base no documento, é possível extrair outras informações relevantes, como a diminuição no consumo da gasolina em 9,5%. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016).

A oferta total de energia disponibilizada para consumo (oferta interna de energia) teve uma retração de 2,1% em 2015, fato que pode estar correlacionado com a contração de 3,8% do Produto Interno Bruto (PIB). Nota-se que a demanda de energia, apesar da redução, teve um recuo menor do que o PIB.

Com relação à matriz elétrica, houve um aumento de 0,9% na participação das fontes renováveis de energia, passando de 74,6% em 2014 para 75,5% em 2015. A explicação para o aumento vem da diminuição da geração térmica com uso de petróleo e derivados e aumento da exploração de energia eólica e de biomassa.

Na Figura 1.1, você poderá conhecer como está distribuída a oferta interna de energia no Brasil.

Figura 1.1 | Gráficos da oferta interna de energia e energia elétrica no Brasil



Fonte: adaptado de <<https://goo.gl/xZzhyU>>. Acesso em: 1 jun. 2017.

Conforme observado nos gráficos, quando se trata de oferta interna de energia, as não renováveis contribuem com mais da metade da matriz energética do país, sendo o óleo (petróleo e derivados) o principal responsável por esse dado. Entre as renováveis, a cana-de-açúcar é a mais utilizada como fonte energética.

Com relação à matriz elétrica, a realidade muda, já que a maior parte das fontes é renovável, com destaque para a energia hidráulica, que contribui com mais de 80%.

A diversificação da matriz energética é uma questão relevante, principalmente considerando uma visão de longo prazo. No entanto, conforme explica Philippi Júnior e Reis (2016), faltam estratégias e políticas públicas bem definidas sobre a composição da matriz, para que seja feito um aproveitamento racional das fontes disponíveis.

Aliado a isso, os principais problemas referentes ao setor elétrico brasileiro observados na atualidade residem na falta de articulação entre os órgãos do governo ligados ao setor elétrico; na dependência brasileira de importação de tecnologia e equipamentos, e na carência de mão de obra especializada.

E como fica o futuro da matriz brasileira? Antes de refletirmos sobre essa questão, vamos pensar um pouco a respeito da demanda de energia para os próximos anos.

No ano de 2014, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) lançou uma nota técnica com a projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2015 a 2024). Nesse documento, as indústrias são apontadas como as maiores consumidoras, seguidas pelas residências, consumindo, respectivamente, 178.055 GWh e 132.049 GWh em 2014.

Ainda segundo a projeção, o crescimento demográfico aliado ao crescimento do PIB trará um aumento na demanda de energia, que passa de 525 (TWh) em 2014 para 786 (TWh) em 2024.

Para que a disponibilidade de energia acompanhe o aumento da demanda, a Empresa de Pesquisa Energética elaborou o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), um documento que apresenta uma prospecção da matriz energética brasileira até o ano de 2030. Alguns dos aspectos relevantes apontados no documento são:

- A produção do petróleo atingirá cerca de três milhões de barris por dia. No entanto, acredita-se que a participação desse energético e seus derivados na matriz energética do Brasil cairá para 30%.
- O gás natural ganhará participação expressiva na matriz, com expectativa de produção superior a 250 milhões m³ por dia em 2030.
- A cana-de-açúcar e seus derivados ocuparão a segunda colocação em importância na matriz energética em 2030, com cerca de 18,5%, atrás apenas do petróleo e derivados.
- A hidroeletricidade continuará como a principal fonte da matriz elétrica, no entanto, sua participação cairá em decorrência da maior exploração de outras fontes energéticas.

- As fontes renováveis não hidráulicas (eólica, solar, biomassa e resíduos urbanos) terão um crescimento na participação da matriz, alcançando participação de 4% da oferta interna de eletricidade.

É importante ressaltar que aliada à diversificação das fontes de energia, com destaque para a exploração das renováveis não hidráulicas, alcançar uma maior eficiência energética é um aspecto importante e que deve ser considerado sempre que o assunto é atendimento futuro da demanda energética.

Sem medo de errar

Para compor a segunda parte de seu relatório da comissão de discussão sobre a matriz energética brasileira, foi proposto que você refletisse sobre a crítica que um membro da comissão direcionou à utilização da energia hidrelétrica e discutisse sobre uma fonte de energia alternativa que pudesse ser melhor explorada no Brasil.

Inicialmente, é importante lembrar que a energia hidráulica é uma fonte renovável de energia, pois a água está em constante ciclo na natureza, no entanto, ela não se enquadra na categoria de energia alternativa, já que, como visto ao longo desta sessão, esse tipo de energia envolve uma alternativa para as fontes exploradas em larga escala há muito tempo, o que não é o caso das usinas hidrelétricas.

A crítica feita pelo membro da comissão pode se referir aos impactos ambientais e sociais decorrentes da instalação de usinas hidrelétricas, que envolve alteração do curso dos rios, perda de espécies, alteração da biota e desmatamento.

Visto que outras fontes de energia estão disponíveis atualmente, é necessário refletir sobre o custo-benefício da utilização tão intensa desse tipo de energia.

Entre as fontes de energia alternativas que poderiam ser melhor exploradas no Brasil, podemos destacar a energia eólica, uma vez que, conforme apresentado anteriormente, existe potencial para a produção de 16 mil MW de energia eólica e, no entanto, apenas 8 mil MW estão sendo gerados. Além disso, o Brasil possui indústrias

fabricantes de turbinas, isentando-o da necessidade de importação.

O seu relatório possui então duas partes finalizadas até o momento:

- Na primeira parte, você propôs uma alternativa para a substituição do petróleo como combustível e preconizou, para isso, o uso das fontes renováveis de energia.

- Na segunda parte, você fez uma reflexão crítica sobre a utilização de hidrelétricas como fonte de eletricidade e propôs o uso de uma fonte alternativa de energia para substituí-la.

Neste momento, é importante que você aprofunde os seus conhecimentos no assunto, buscando outras fontes de energia alternativa além da eólica, que possuam potencial para serem melhor exploradas no Brasil.

A seguir, propomos mais uma situação-problema, para que você avance em seu conhecimento prático sobre o tema.

Avançando na prática

Matriz energética e desenvolvimento sustentável

Descrição da situação-problema

Imagine que você foi convidado para ministrar uma palestra sobre o futuro da matriz energética brasileira e utilizou como material para fundamentar as discussões o Plano Nacional de Energia 2030. Em um dos momentos de sua palestra, você fez os seguintes apontamentos:

- Em 2030, a expectativa é que a participação do gás natural na matriz energética aumente, atingindo produção superior a 250 milhões m³ por dia.
- A segunda energia mais participativa na matriz energética em 2030 será a cana-de-açúcar e seus derivados, contribuindo com cerca de 18,5%, perdendo apenas para o petróleo.
- A principal energia da matriz energética elétrica continuará sendo a hidroeletricidade, apesar de sua participação sofrer uma queda devido à exploração de outras fontes.
- A participação das fontes renováveis não hidráulicas aumentará na matriz energética, atingindo uma participação de 4%

da oferta interna de energia elétrica.

Após os apontamentos, você foi indagado por um dos ouvintes com a seguinte questão: “você acredita que o Brasil está no caminho certo para contribuir com o tão debatido desenvolvimento sustentável?”

Para responder a essa questão, elabore argumentos que defendam que o Brasil está no caminho certo.

Resolução da situação-problema

Para resolver esse problema, é necessário que se tenha em mente que o desenvolvimento sustentável prega um crescimento pautado na exploração racional de recursos, de tal forma que as necessidades atuais sejam atendidas sem comprometer o atendimento das necessidades das gerações futuras. Pensando exclusivamente em energia, é prudente, para que o desenvolvimento sustentável seja uma realidade, que se priorize a exploração de energias renováveis e, principalmente, com maior participação das energias alternativas.

Com base no documento, é possível apontar como argumentos para defender que o Brasil está em busca do desenvolvimento sustentável a maior participação da cana-de-açúcar e de fontes como eólica, solar e resíduos urbanos. Além disso, a participação do petróleo e derivados, fontes não renováveis, terá um declínio, apesar da exploração do petróleo tender ao aumento.

Faça valer a pena

1. A Oferta Interna de Energia Brasileira - energia necessária para movimentar a economia - deverá ficar, no ano de 2016, em mais de 286 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), sendo que deste total, 43,9% correspondem à energia renovável. Este indicador faz da matriz energética brasileira uma das mais limpas do mundo. Os dados constam no Boletim Mensal de Energia - Fevereiro de 2016. Quando considerada a oferta de energia elétrica - subconjunto da matriz energética - as estimativas para 2016 mostram vantagens ainda mais significativas, com as energias renováveis podendo chegar a 79,3% de participação, superior ao indicador de 75,5% verificado em 2015 - no mundo este indicador é de 24%. A fonte hidráulica continuará preponderante, respondendo por 66,2% da matriz (64% em 2015).

Fonte: <<https://goo.gl/7Z7ZBc>>. Acesso em: 1 jun. 2017.

Sobre a matriz energética, analise as afirmativas a seguir:

I. () A matriz energética é um importante instrumento de avaliação do desenvolvimento socioeconômico de um país.

II. () Ao contrário do restante do mundo, a composição da matriz de energia elétrica do Brasil é fortemente marcada pelas fontes não renováveis.

III. () Tanto a matriz energética quanto a matriz de energia elétrica possuem a energia hidrelétrica como a mais explorada.

IV. () A energia hidráulica e a cana-de-açúcar e seus produtos são as principais contribuidoras da matriz energética renovável.

Utilizando V para a afirmativa verdadeira e F para a falsa, assinale a alternativa que apresenta a sequência correta:

a) V - F - F - V.

b) V - V - F - F.

c) F - F - V - V.

d) V - F - F - F.

e) F - V - F - V.

2. A oferta interna de energia (OIE) é a energia necessária para que a economia de um país se movimente. Sendo o maior país da América do Sul, o Brasil tem a maior oferta interna de energia do continente. Do total da oferta interna de energia elétrica do Brasil, a maior parte corresponde à _____, sendo _____, responsável pela maior parte da contribuição.

Assinale a alternativa que contém os termos que preenchem correta e respectivamente as lacunas presentes no texto:

a) Energia renovável; a energia hidrelétrica.

- b) Energia não renovável; o petróleo.
- c) Energia renovável; a energia eólica.
- d) Energia não renovável; o carvão mineral.
- e) Energia renovável; a cana de açúcar.

3. “Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), cerca de 1,2 milhão de geradores de energia solar deverão ser instalados nos telhados de residências e empresas em todo o Brasil, até 2024, representando 15% da matriz energética brasileira. Até 2030, a participação do sol na geração de eletricidade tende a superar 23%, com investimentos superiores a R\$ 100 bilhões. Se o potencial do sistema fotovoltaico for somado à capacidade de geração dos parques eólicos, que atualmente suprem 7% da demanda brasileira, pode-se projetar que o País terá, a partir de 2030, uma matriz energética 100% limpa, renovável e segura”. Disponível em: <<http://www.istoedinheiro.com.br/noticias/economia/20170106/brasil-futuro/447841>>. Acesso em: 8 jun. 2017.

O trecho de reportagem aponta para um dos cenários da matriz energética brasileira, que prevê um aumento na participação da energia solar.

Sobre o futuro da matriz energética brasileira, analise as afirmativas a seguir:

- I. A participação do petróleo e seus derivados tende a diminuir na matriz energética.
- II. A cana-de-açúcar e seus derivados ocupará a segunda colocação em importância na matriz energética em 2030.
- III. A produção dos barris de petróleo tende a diminuir ao longo do tempo.

Agora, assinale a alternativa abaixo correta:

- a) As afirmativas I, II e III estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas II e III estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas I e II estão corretas.
- e) Apenas a afirmativa I está correta.

Seção 1.3

Fontes de energia renovável e não renovável

Diálogo aberto

Após estudar alguns conceitos das fontes de energia e conhecer as características da matriz energética brasileira, iniciaremos a última seção da primeira unidade de ensino, intitulada “Fontes de energia renovável e não renovável”.

No *Convite ao estudo* desta unidade, você foi inserido em uma comissão de discussões que se reuniria durante três dias, para efetuar uma análise da matriz energética brasileira e do potencial da participação de fontes alternativas de energia na sua composição. Os integrantes da comissão estão redigindo um relatório subdividido em três partes, destinado ao Governo Federal. No primeiro dia de discussões, você redigiu a primeira parte, que teve como proposta uma alternativa para a substituição dos combustíveis fósseis, focando o uso de energias renováveis. No segundo dia de discussões, no qual foi redigida a segunda parte do relatório, você precisou refletir sobre a substituição da energia gerada por hidrelétricas, por fontes alternativas de energia.

Neste terceiro dia de discussões, o relatório técnico será finalizado e o tema em pauta são os aspectos socioeconômicos resultantes da exploração de energia elétrica no país, principalmente no quesito “energias renováveis”, já que a exploração desse tipo de energia é um dos temas mais discutidos quando o assunto é sustentabilidade.

Para finalizar o seu relatório, você deverá responder a seguinte questão: que aspectos socioeconômicos e ambientais devem ser enfatizados para a defesa da utilização de fontes de energia renováveis em substituição às fontes não renováveis exploradas no Brasil?

Para redigir a última parte de seu relatório, é importante que você se atente a alguns conteúdos que serão abordados nesta seção, entre eles, as vantagens da exploração de fontes renováveis de energia, bem como os aspectos socioeconômicos da energia elétrica.

Não pode faltar

Ao longo dos estudos realizados até agora, você construiu alguns conhecimentos acerca da energia e suas fontes. Neste momento, nos aprofundaremos um pouco mais nas energias não renováveis e renováveis.

Como o próprio nome diz, uma fonte de energia não renovável é aquela que, por não se renovar, é passível de sofrer esgotamento ao longo do tempo.

A seguir, apresentamos o exemplo dos combustíveis fósseis para explicar porque as fontes não renováveis podem esgotar com o tempo.



Exemplificando

Os combustíveis fósseis foram formados há milhares de anos por meio de processos naturais de morte, soterramento e decomposição de seres vivos.

Os materiais biológicos que são depositados no fundo dos oceanos são cobertos por sedimentos, formado principalmente por partículas de areia e argila. Esse material compactado sob essa camada porosa de arenito e argila sofre a ação de bactérias anaeróbias, que liberam oxigênio e nitrogênio como subproduto da decomposição da matéria orgânica. Algumas moléculas, como os hidrocarbonetos saturados encontrados no petróleo, são resistentes à digestão.

À medida que a deposição de sedimento sobre a matéria orgânica em decomposição aumenta, aumentam-se também a temperatura e a pressão, ocasionando a redução da ação das bactérias e a recombinação de moléculas orgânicas, em reações que liberam gases, como o metano e os hidrocarbonetos leves. Esses gases, denominamos gases naturais, acumulam-se em bolsas sob rochas, ao passo que os compostos orgânicos mais pesados formam uma emulsão aquosa, que fica aprisionada nas porções porosas das rochas, formando o petróleo.



No ano de 2007, o Governo Federal anunciou a descoberta do pré-sal, uma camada de petróleo encontrada em grandes profundidades oceânicas, localizada entre Santa Catarina e Espírito Santo. A descoberta causou grande alvoroço e discussões a respeito do tempo de duração da "Era do petróleo". Saiba mais sobre o tema lendo o artigo "Pré-sal".

Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

Apesar de 70% do volume do gás natural ser formado por metano, a sua composição pode variar por influência das características do local onde foi formado, pelo processo de produção, condicionamento e transporte (ESPINOLA, 2013, p. 103).

A formação de gás natural e petróleo é um processo que ocorre ao longo de milhares de anos. No entanto, acredita-se que com a intensa exploração destes recursos é provável que o seu esgotamento ocorra dentro de séculos (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

O carvão mineral é um combustível fóssil de origem terrestre, formado a partir da decomposição, por bactérias aeróbias, de plantas lenhosas que existiram em pântanos há mais de 200 milhões de anos. A ação da decomposição bacteriana é bastante efetiva na degradação da celulose, mas não age sobre a lignina, um polímero formado por anéis de benzeno, que tem como função fornecer rigidez à planta, torná-la impermeável e resistente ao ataque de microrganismos.

A lignina, na presença da água dos pântanos, formou as turfas primitivas. Essas turfas transformaram-se em carvão mineral graças ao aumento de temperatura e pressão, ocorridas devido ao soterramento dos depósitos causados por eventos geológicos de soerguimento da crosta terrestre.

O óleo de xisto é um combustível de alto poder calorífero extraído da rocha de xisto, uma camada de rocha sedimentar contendo matéria orgânica, formada sob altas pressões e temperaturas. O óleo pode ser obtido a partir de dois tipos de xistos: o betuminoso,

cuja matéria orgânica é fluida, e o pirobetuminoso, que possui matéria orgânica sólida à temperatura ambiente.

A utilização de combustíveis fósseis apresenta algumas vantagens e desvantagens. Vejamos algumas delas no Quadro 1.1, enfocando o petróleo, o gás natural e o carvão mineral.

Quadro 1.1 | Vantagens e desvantagens de alguns combustíveis fósseis

COMBUSTÍVEL	VANTAGENS	DESvantagens
<i>Petróleo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil transporte (por ser líquido). • Alta e eficaz tecnologia na extração, transporte, refino e distribuição. • Relativa abundância de reservas no Brasil. • Mão de obra qualificada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Riscos de derramamento. • Refino pode causar poluição atmosférica. • Exige planos eficazes de combate a acidentes e mitigação de danos ambientais. • Tem sido relacionado como um dos agentes do aquecimento global.
<i>Gás natural</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Exige pouco processamento para ser utilizado. • Emissão de dióxido de carbono por unidade de área inferior à de outros combustíveis fósseis. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte mais difícil por se tratar de gás. • Requer sistema de distribuição. • Riscos de vazamento de metano. • O gás metano está relacionado ao agravamento do aquecimento global.
<i>Carvão mineral</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Possui grandes reservas. • O transporte é fácil, eficiente e barato (podendo ocorrer por ferrovia). 	<ul style="list-style-type: none"> • Sua utilização tem sofrido redução. • A queima pode provocar poluição atmosférica e relaciona-se com o aquecimento global. • A sua exploração exige cuidados com o uso de EPIs, já que as minas de carvão são locais de trabalho de alto risco.

Fonte: adaptado de Espinola (2013) e Spiro e Stigliani (2009).

Como você pode ter observado no Quadro 1.1, uma das desvantagens citadas com relação a todos os combustíveis relacionados é a contribuição para o aquecimento global, que tem como um de seus principais agentes o dióxido e o monóxido de carbono. Por serem provenientes da matéria orgânica, os combustíveis fósseis possuem uma grande quantidade de carbono em sua composição química.

O carbono é um elemento químico que passa por ciclo na natureza, podendo ser encontrado na forma orgânica (compondo os seres vivos) ou inorgânica (nas rochas). Na atmosfera, ele pode ser encontrado na forma de monóxido e dióxido de carbono, que é consumido no processo de fotossíntese para a produção de matéria orgânica vegetal e devolvido para a atmosfera por meio da respiração, decomposição de restos de organismos e queima de florestas e combustíveis fósseis.

Acredita-se que a intensa ação antrópica, em especial por meio da queima de combustíveis fósseis, tem alterado a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera, o que tem promovido o aumento da temperatura média global, em um evento denominado aquecimento global.

E quanto às energias renováveis? Por que são importantes?

Primeiramente, voltemos a refletir sobre o conceito de energia renovável, para posteriormente falarmos sobre suas vantagens e desvantagens com relação aos combustíveis fósseis.

As fontes renováveis de energia, diferente do que ocorre no caso dos combustíveis fósseis, são aquelas repostas na natureza, pois são decorrentes de fontes naturais inesgotáveis dentro de uma escala de tempo geológico (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). Podemos citar, como exemplos, a energia eólica (ventos), solar (Sol), hidráulica (águas), biomassa (resíduos vegetais), geotermal (calor interno da Terra) e energia de ondas e marés.

Um dos grandes benefícios da utilização das energias renováveis relaciona-se com o alcance de metas de sustentabilidade, principalmente no quesito redução das emissões atmosféricas de gases do efeito estufa, tratado em acordos mundiais, como o Protocolo de Kyoto. Além disso, segundo a Agência Fapesp (2007), a exploração de energia renovável gera menos poluentes atmosféricos (incluindo gases do efeito estufa); oferece um meio

de diversificação de suprimento energético e de combustíveis; está menos suscetível à volatilidade de preços por possibilitar reduzida escassez de oferta; pode ser implantada em pequena escala e, por ser explorada dentro do próprio país, reduz pagamentos por energia importada.



Assimile

Apesar de todos os benefícios, também existem obstáculos à utilização de tecnologias de energias renováveis, entre eles, o caráter difuso de alguns recursos renováveis, isto é, eles não possuem uma intensidade constante e podem apresentar baixa densidade de potência, intermitência e baixa previsibilidade na produção de energia. Torna-se, portanto, necessário ampliar a área de ocupação de suas instalações para que se tenha um maior aproveitamento do potencial energético e isso pode acarretar impactos ambientais. Tal fato pode ser contornado com projetos bem elaborados, incluindo estudo da melhor localização; escolha da tecnologia adequada para cada situação e a possibilidade de maior exploração de tecnologias descentralizadas, como os painéis solares em telhados. Outro aspecto que deve ser levado em conta na concepção de projetos para verificar a viabilização de geradores de energia renovável inclui a competitividade econômica das tecnologias no mercado, se comparadas com outras fontes exploradas.

A contribuição das energias renováveis, com exceção da biomassa e hidráulica, ainda não é expressiva na matriz energética brasileira, conforme visto na seção anterior. No entanto, observa-se que o número de instalações de geradores de energias renováveis tem crescido ao longo do tempo. Parte desse crescimento deve-se às políticas governamentais de incentivo ao uso de energias renováveis, motivadas pelas questões ambientais e pela segurança energética.

Esse incentivo pode ocorrer na forma de financiamentos para instalações de equipamentos; fomento a pesquisas; exigência de um pagamento mínimo por energia renovável pelas concessionárias; estabelecimento de metas de energia a ser fornecida com recursos renováveis, entre outros (FAPESP, 2007).

O suprimento de energia de um país, seja utilizando uma fonte renovável ou não renovável, é um fator importante para garantir o bem-estar social e o crescimento econômico da nação. O Brasil é um país com grande extensão territorial e com disparidade na distribuição dos recursos naturais. Tal fato, aliado às peculiaridades regionais, torna o planejamento de oferta e gerenciamento de demanda de energia um desafio.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil contabilizou 206,08 milhões de habitantes em 2016 (PORTAL BRASIL, 2016), distribuídos desigualmente em 8,5 milhões de km², o que daria uma densidade demográfica de cerca de 24 habitantes por km². No entanto, as Regiões Sudeste, Sul e Nordeste apresentam as maiores densidades demográficas, enquanto a Região Norte apresenta a menor, conforme pode ser visualizado no mapa da Figura 1.2.

Figura 1.2 | Mapa da densidade demográfica brasileira, de acordo com dados de 2016



Fonte: <<https://goo.gl/d7Wtfk>>. Acesso em: 8 abr. 2017.

Assim como a densidade demográfica, a capacidade de energia elétrica (MW) instalada varia de acordo com a região brasileira. A Região Centro-Oeste contribui com 12,3% da capacidade instalada, seguida pelas Regiões Norte (15,3%), Nordeste (19,1%), Sul (22,1%) e Sudeste (31,3%) (TOLMASQUIM, 2016).

Quando se trata de consumo na rede, a Região Sudeste ocupa a primeira colocação, com consumo médio de 639 kW.h/mês, levando em consideração o consumo residencial, industrial e comercial. A Região Norte aparece em segundo lugar, com consumo médio de 607 kW.h/mês, seguida pelas Regiões Centro-Oeste (470 kW.h/mês), sul (384 kW.h/mês) e Nordeste (338 kW.h/mês) (TOLMASQUIM, 2016).

A cobrança de tarifa pela utilização de energia elétrica visa remunerar os serviços prestados pelas geradoras de energia; cria incentivos para programas de aumento da eficiência energética e subsidia menor custo para famílias de baixa renda e alguns setores da economia.

Existe uma variação tarifária, de acordo com as condições de geração de eletricidade, sinalizada por meio de "bandeiras" nas cores verde, amarela e vermelha. A bandeira verde sinaliza condições favoráveis para a geração de energia, já a amarela e a vermelha indicam que a geração de energia está com maior custo e, portanto, as contas sofrerão um acréscimo.

As Tabelas 1.1 e 1.2 mostram, respectivamente, as tarifas médias por região e as tarifas médias por classe de consumo.

Tabela 1.1 | Tarifas médias por região (R\$/MWh)

	2011	2012	2013	2014	2015	$\Delta\%$ (2015/2014)
Média Brasil	278,47	292,85	254,45	276,97	395,00	142,6
Norte	294,96	321,17	276,68	303,53	372,93	122,9
Nordeste	278,79	297,09	250,52	269,05	340,00	126,4
Sudeste	281,9	294,78	260,24	282,22	413,04	146,4
Sul	266,68	277,23	235,15	264,27	409,28	154,9
Centro-Oeste	274,37	290,41	257,74	273,63	398,07	145,5

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2016, p. 72).

Tabela 1.2 | Tarifas médias por classe de consumo (R\$/MWh)

	2011	2012	2013	2014	2015	$\Delta\%$ (2015/2014)
Residencial	315,64	333,44	285,24	305,35	419,31	137,32
Industrial	245,54	257,34	223,19	249,01	335,31	134,66
Comercial	295,16	307,52	269,85	293,05	403,75	137,78
Rural	182,38	189,74	167,62	202,56	292,96	144,63
Poder público	315,64	333,44	285,24	305,96	384,66	125,72
Iluminação pública	174,64	182,54	161,27	178,87	239,69	134,00
Serviço público	226,62	236,27	200,56	219,89	327,69	149,02
Consumo próprio	309,73	322,51	282,80	308,23	372,46	120,84
Consumo próprio	309,73	322,51	282,80	308,23	372,46	120,84

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2016, p. 72).

É importante enfatizar que a contribuição da eletricidade para o crescimento socioeconômico do país vai além do tarifário de energia. Existe relação entre a expansão do PIB, o incremento do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o aumento do consumo de energia. Todos esses fatores estão atrelados ao crescimento do país.



Nesta seção, você teve a oportunidade de refletir sobre os aspectos positivos e negativos do uso das energias renováveis e não renováveis. Levando em conta os aspectos socioeconômicos da energia elétrica apresentados, até que ponto pode-se dizer que o uso de energias exclusivamente renováveis representa um benefício econômico para um país? Reflita sobre esse assunto.

Sem medo de errar

Para redigir a terceira parte de seu relatório e concluir a análise da matriz energética brasileira, foi proposto que você analisasse criticamente os aspectos socioeconômicos e ambientais que justifiquem a utilização de fontes de energia renovável em substituição às fontes não renováveis exploradas em nosso país. Ao longo desta seção, você conheceu mais alguns aspectos que ainda não tinham sido comentados sobre as energias renováveis.

Com relação ao aspecto ambiental, pode-se dizer que um dos grandes benefícios da utilização das energias renováveis diz respeito ao alcance de metas de sustentabilidade, principalmente com relação à redução das emissões atmosféricas de gases do efeito estufa. Outros pontos a serem destacados são: a exploração de energia renovável gera menos poluentes atmosféricos além dos gases já citados; oferecem um meio de diversificação de suprimento energético e de combustíveis; estão menos suscetíveis à volatilidade de preços, por possibilitarem reduzida escassez de oferta; podem ser implantadas em pequena escala e, por serem exploradas dentro do próprio país, reduzem pagamentos por energia importada.

Por estar intimamente ligado ao crescimento econômico de um país, o suprimento de energia tende a aumentar com o crescimento do PIB e do IDH de uma população. Isso significa que uma maior demanda de energia exige também que a matriz tenha uma diversificação em suas fontes para garantir maior segurança no fornecimento de eletricidade. Essa diversificação deve priorizar o uso de fontes renováveis de energia, por serem oriundas de

recursos naturais inesgotáveis, pensando em um longo período de tempo dentro da escala geológica.

É importante lembrar que a proposição da utilização de uma fonte de energia renovável, como a eólica e a solar, por exemplo, deve ser precedida de estudos técnicos para atestar a viabilidade técnica e econômica de sua exploração, visto que são fontes intermitentes e de baixa previsibilidade.

Neste momento, é importante que você faça uma reflexão mais aprofundada sobre o assunto, pensando em outros aspectos ambientais e socioeconômicos que justifiquem o maior uso das fontes renováveis de energia.

Não se esqueça de que as três etapas devem ser inseridas em um único documento para que seja entregue ao seu destino, o governo.

A seguir, acompanharemos uma nova situação-problema.

Avançando na prática

Será o fim da era do petróleo?

Descrição da situação-problema

Imagine que você foi convidado para dar uma palestra em um congresso que será realizado em uma universidade. O tema é “A era do petróleo terá um fim?” e você deverá discutir dois pontos importantes, sendo eles:

- A era do petróleo está próxima do seu fim?
- Por que substituir o petróleo como fonte de energia?

Refleta sobre essas questões e proponha argumentos que justifiquem o seu ponto de vista sobre esses assuntos.

Resolução da situação-problema

Para resolver esse problema, inicialmente, precisamos refletir sobre a formação do petróleo, motivo pelo qual ele é considerado uma fonte não renovável de energia. Sua formação envolve um processo longo, que ocorre durante milhares de anos. É necessário, além disso, que haja condições favoráveis, como a decomposição da matéria orgânica que está sedimentada e que, ao longo do

tempo, pressão e temperatura sejam alterados devido à deposição de camadas de sedimento sobre o material em decomposição.

Sua natureza esgotável tem levantado debates há anos sobre quando será o seu fim. É importante lembrar que o petróleo é explorado não só para o fornecimento de energia, mas para outras finalidades, como fabricação de alguns tipos de plástico, asfalto, óleos, entre outros.

Sabe-se que um dia essa fonte esgotará, mas descobertas de novas jazidas, a exemplo do pré-sal nos deixa dúvidas de quando isso acontecerá.

No entanto, existem argumentos de cunho ambiental que são favoráveis à substituição do petróleo como fonte de energia. A sua utilização libera para a atmosfera gases do efeito estufa, que alteram o ciclo do carbono e estão relacionados com o fenômeno do aquecimento global.

Você viu aqui alguns pontos de destaque que podem ser utilizados em sua palestra, porém, é importante que você busque mais informações que complementem os seus argumentos a respeito desse assunto.

Faça valer a pena

1. A formação dos combustíveis fósseis é um processo demorado, que leva milhares de anos para acontecer. Esse fato faz com que sejam considerados como fontes não renováveis de energia, já que, acredita-se que eles poderão se esgotar com o passar do tempo.

Analisar as afirmativas a seguir a respeito da formação dos combustíveis fósseis:

I. A decomposição da matéria orgânica por ação bacteriana é responsável pela formação do petróleo e do gás natural.

II. Com o aumento dos sedimentos sobre a matéria orgânica submarina, ocorre a diminuição da temperatura e pressão, fatos envolvidos na formação do petróleo.

III. O gás natural é composto por hidrocarbonetos leves e metano, que se acumulam em bolsas sob rochas.

Assinale a alternativa correta:

- a) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- b) As afirmativas I, II e III estão corretas.
- c) Apenas a afirmativa II está correta.

d) Apenas as afirmativas II e III estão corretas.

e) Apenas as afirmativas I e II estão corretas.

2. A Comissão Mista de Mudanças Climáticas (CMMC) vai analisar, na próxima quarta-feira (5), a decisão do presidente dos Estados Unidos, Donald Trump, de liberar a exploração de carvão mineral no país. A expectativa é sobre os impactos no acordo internacional assinado em Paris para a redução dos gases do efeito estufa. O senador Jorge Viana (PT-AC), presidente da CMMC, acredita que a ciência e a experiência de outros países vão comprovar que a visão do presidente norte-americano está equivocada.

Fonte: <<http://www12.senado.leg.br/noticias/audios/2017/03/comissao-de-mudancas-climaticas-vai-analisar-decisao-dos-eua-de-liberar-exploracao-de-carvao-mineral>>. Acesso em: 3 jun. 2017

O trecho de reportagem aponta para uma decisão dos Estados Unidos de explorar o carvão mineral e levanta uma reflexão sobre a preocupação com os impactos ambientais que a medida poderá gerar. A respeito do carvão mineral, pode-se afirmar que:

a) É um combustível que não se forma a partir da decomposição da matéria orgânica.

b) Sua extração acontece pelo beneficiamento da rocha de xisto betuminoso.

c) É um combustível fóssil de origem terrestre.

d) O maior problema de sua utilização é relacionado ao difícil processo de transporte.

e) É o mais utilizado dentre os combustíveis fósseis.

3. “Segundo a ONU, 100% da energia consumida no mundo pode ser proveniente de fontes renováveis até 2050, número que chega a 20% atualmente; custos desse sistema energético podem ser mais baratos do que combustíveis fósseis em dez anos”.

Fonte: <<https://nacoesunidas.org/em-dez-anos-fontes-de-energias-renovaveis-podem-ser-mais-baratas-que-combustiveis-fosseis/>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

Sobres fontes de energia renováveis, analise as afirmativas a seguir:

I. () O alcance das metas de sustentabilidade é um dos benefícios da exploração de fontes renováveis de energia.

II. () O caráter difuso, intermitente e de baixa previsibilidade de algumas fontes renováveis de energia constitui um obstáculo para a sua exploração, que deve ser previsto em projeto.

III. () Energia de biomassa e energia hidráulica são as mais exploradas

entre as energias renováveis da matriz energética brasileira.

IV. () Um aspecto importante sobre a exploração de energia renovável é que não existe nenhum dano ambiental envolvido no processo.

Assinale a alternativa que apresenta corretamente a sequência de Verdadeiro (V) e Falso (F):

- a) V – F – V – F.
- b) V – V – F – F.
- c) F – F – V – V.
- d) F – V – F – V.
- e) V – V – V – F.

Referências

AMARANTE, O. A. C. do; BROWER, M.; SÁ, A. L. de. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília, 2001.

BARBOSA, V. O megaprojeto da Tesla que garantirá energia solar 24h no Havai. **Exame**, São Paulo, 12 mar. 2017. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/negocios/o-megaprojeto-da-tesla-que-garantira-energia-solar-24h-no-havai/>>. Acesso em: 1 jun. 2017.

EM dez anos, fontes de energias renováveis podem ser mais baratas que combustíveis fósseis. **ONU BR**, [S.l.], 6 abr. 2017. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/em-dez-anos-fontes-de-energias-renovaveis-podem-ser-mais-baratas-que-combustiveis-fosseis/>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica 2016**: Ano Base 2015. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticoDeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202016.pdf>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

_____ (Ed.). **Energia eólica no Brasil e no mundo**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2014a.

_____ (Ed.). **Ranking mundial de energia e socioeconomia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2014b.

_____ (Ed.). **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2007.

ESCOBAR, H. Maior projeto da ciência brasileira ganha a canetada que faltava para virar realidade. **Estadão**, São Paulo, 19 dez. 2014. Disponível em: <<http://ciencia.estadao.com.br/blogs/her-ton-escobar/maior-projeto-da-ciencia-brasileira-ganha-a-canetada-que-faltava-para- virar-realidade/>>. Acesso em: 1 jun. 2017.

ESPINOLA, A. **Ouro negro**: petróleo no Brasil. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

FAPESP. **Um futuro com energia sustentável**: iluminando o caminho. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências, 2007.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estud. av.**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7-20, abr. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 1 jun. 2017.

HOSOUME, Y. (Coord.) et al. **Leituras de física**. São Paulo: GREF, Instituto de Física da USP, 1998. Disponível em: <<http://www.if.usp.br/gref/eletro/eletro4.pdf>>. Acesso em: 1 jun. 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira 2016**: Ano Base 2015. Brasília, 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/3GjgZM>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

_____. **Matriz energética de 2016 terá maior participação das energias renováveis.** Brasília, 12 maio 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/JMEfEb>>. Acesso em: 1 jun. 2017.

MOLINA JÚNIOR, W. F.; ROMANELLI, T. L. **Recursos energéticos e ambiente.** Curitiba: Intersaberes, 2015.

NÚCLEO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS DE ENERGIA (Ed.). **Resenha Energética Brasileira:** Exercício de 2015. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2016.

PETROBRAS. **Pré-sal.** Rio de Janeiro, [2016 ou 2017]. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

PHILIPPI JUNIOR, A.; REIS, L. B. dos. **Energia e sustentabilidade.** Barueri: Manole, 2016.

PORTAL BRASIL. **População brasileira cresce 0,8% e chega a 206 milhões.** Brasília, 31 ago. 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/08/populacao-brasileira-cresce-0-8-e-chega-a-206-milhoes>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

REIS, L. B. dos; FADIGAS, E. A. F. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável.** 2. ed. Barueri: Manole, 2012.

RUMOS matriz energética brasileira. **Abril,** Planeta sustentável, São Paulo. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento/rumos-matriz-energetica-brasileira-745212.shtml>>. Acesso em: 26 mar. 2017.

SANTOS, A. B. Comissão de mudanças climáticas vai analisar decisão dos EUA de liberar exploração de carvão mineral. **Senado Notícias,** Brasília, 31 mar. 2017. Disponível em: <<http://www12.senado.leg.br/noticias/audios/2017/03/comissao-de-mudancas-climaticas-vai-analisar-decisao-dos-eua-de-liberar-exploracao-de-carvao-mineral>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

SGUAZZARDI, M. M. M. U. (Org.). **Física geral.** São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química ambiental.** 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

STROBEL, C. **Termodinâmica técnica.** Curitiba: Inersaberes, 2016.

TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Energia renovável:** hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Rio de Janeiro: Epe, 2016.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física I: mecânica.** 14. ed. São Paulo: Pearson Education, 2015.

ZILIO, S. C.; BAGNATO, V. S. Capítulo 4: AS LEIS DE NEWTON. In: **Mecânica, calor e ondas.** São Carlos: Instituto de Física de São Carlos, USP, 2008. Disponível em: <<http://www.fotonica.ifsc.usp.br/ebook/book3/Capitulo4>>. Acesso em: 1 jun. 2017.

Energia solar, eólica e de biomassa

Convite ao estudo

Iniciamos agora os estudos da segunda unidade da disciplina *Fontes Alternativas de Energia*, intitulada "Energia solar, eólica e de biomassa", na qual você conhecerá alguns dos aspectos técnicos e aplicações dessas fontes de energias alternativas.

O crescimento populacional mundial tem exigido dos países a busca por uma diversificação em sua matriz energética, visando atender à demanda por energia de forma mais segura. Esse fato, aliado à busca pelo desenvolvimento sustentável preconizado em acordos mundiais, tem voltado, há algum tempo, os olhos do mundo para as fontes alternativas de energia, entre elas, a solar, a eólica e a de biomassa.

Na Unidade 1, você teve a oportunidade de estudar aspectos da matriz energética nacional, portanto, é de seu conhecimento que essas três fontes de energia são exploradas no Brasil, no entanto, de forma não tão significativa quanto poderiam, principalmente quando analisamos a situação atual da energia eólica e solar, advindas de recursos energéticos abundantes em nosso país. Quando se trata da energia de biomassa, o Brasil ocupa uma posição de destaque em sua exploração em relação a outros países, principalmente devido à utilização da cana-de-açúcar e seus produtos.

Devido aos seus recursos naturais abundantes, o Brasil apresenta potencial para a exploração de energias alternativas, como a eólica, a solar e a de biomassa, que após passarem por um processo de biodigestão, resultam em um biogás. No entanto, observa-se que essas fontes de energia ainda são

menos expressivas do que a energia hidráulica, amplamente utilizada atualmente, como fonte de abastecimento público. Alguns fatores de ordem técnica, econômica, política e cultural estão envolvidos na relativa baixa popularidade dessas formas de energia alternativa. É importante que se reflita sobre esses fatores e que se avalie a viabilidade da implantação de pequenos e grandes empreendimentos de geração de energia com fontes alternativas.

Dessa forma, temos o seguinte contexto de aprendizagem: você foi contratado por uma empresa para prestar consultoria em uma grande propriedade rural, cujo proprietário, preocupado com questões ambientais, deseja fazer aproveitamento de energia solar, eólica e de biomassa dentro de sua propriedade. A partir dessa consultoria, você deve elaborar um laudo para orientar o proprietário sobre a viabilidade técnica da exploração das referidas fontes de energia. Esse laudo deverá conter os resultados da análise da viabilidade da exploração de energia solar na propriedade, bem como as vantagens e as desvantagens dessa fonte de energia e orientações sobre o funcionamento de células fotovoltaicas; a viabilidade técnica e econômica da implantação de geradores eólicos para abastecer toda a propriedade e os aspectos que devem ser observados antes da concepção do projeto; os aspectos técnicos a serem considerados para a concepção do projeto de um biodigestor na propriedade e as vantagens que o produtor rural teria ao adotar a utilização de biodigestão anaeróbia.

Para que os objetivos desse laudo sejam alcançados, você deverá estar apto a responder aos seguintes questionamentos: é viável a exploração de energia solar na propriedade em questão? Que orientações devem ser incluídas no laudo para informar ao proprietário sobre o funcionamento de células fotovoltaicas? Como você detalharia as vantagens e as desvantagens da utilização de energia solar quando comparada com a utilização de energia exclusivamente hidrelétrica? Que aspectos primordiais devem ser observados

antes da concepção do projeto de um gerador eólico, para que o empreendimento tenha sucesso? Que aspectos técnicos precisam ser considerados para a concepção do projeto de um biodigestor na propriedade? Quais são as vantagens que o produtor rural teria ao adotar a utilização de um biodigestor?

A forma de condução da consultoria é o destaque das situações-problema que compõem esta unidade de ensino. No entanto, não se preocupe, pois, o desenvolvimento do seu laudo será dividido em etapas que serão cumpridas a cada seção desta unidade, que abordarão temas como as características, as vantagens, as desvantagens e os aspectos socioeconômicos das energias solar, eólica e de biomassa.

Está pronto para começar? Então, vamos lá!

Seção 2.1

Energia solar

Diálogo aberto

O Brasil é um país com grande potencial para a exploração da energia solar. Parte disso deve-se à sua localização privilegiada, já que a maior parte de seu território localiza-se em zona tropical, com incidência solar privilegiada ao longo de todo o ano.

Pensando nisso e nas vantagens ambientais e econômicas advindas da utilização da energia solar, retornamos à situação-problema apresentada no início desta unidade, na qual você foi contratado por uma empresa para prestar consultoria em uma grande propriedade rural, em que o proprietário deseja fazer aproveitamento de energia solar, eólica e de biomassa em sua propriedade. Essa consultoria deverá gerar um laudo que orientará o proprietário sobre a viabilidade técnica da exploração das referidas fontes de energia.

Nesta primeira consultoria, o proprietário informou que deseja instalar células fotovoltaicas em sua residência, pois ouviu dizer que, além de ser ambientalmente correto, poderia resultar em uma diminuição de sua conta de energia. No entanto, ele não conhece o funcionamento do equipamento e não sabe se as condições climáticas de sua propriedade são favoráveis. Além disso, relatou que durante cerca de três meses do ano chove bastante e que o céu normalmente fica muito nublado. É viável a exploração de energia solar nessas condições? Que orientações devem ser incluídas no laudo para informar ao proprietário sobre o funcionamento de células fotovoltaicas? Como você detalharia as vantagens e as desvantagens da utilização de energia solar em comparação à utilização de energia exclusivamente hidrelétrica?

Para trazer respostas a esses questionamentos que farão parte do seu laudo, você deverá focar o estudo das características técnicas dos sistemas fotovoltaicos e termossolares, além de realizar uma análise crítica das vantagens e desvantagens dessas formas de obtenção de energia.

Bons estudos!

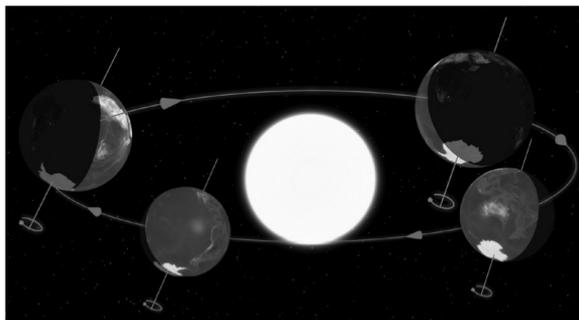
Não pode faltar

A incidência de radiação solar sobre a superfície terrestre sofre a influência de alguns fatores, como a hora do dia, o dia do ano, a latitude local e as condições atmosféricas. Os dois primeiros fatores mencionados devem-se ao movimento de rotação do planeta, no qual a Terra, que apresenta uma inclinação, gira em torno de seu próprio eixo; e ao movimento de translação, em que o planeta descreve uma trajetória elíptica ao redor do Sol. O movimento de rotação ocorre ao longo de 24 horas e é responsável pelo dia e pela noite; já o movimento de translação dura cerca de 365 dias e 6 horas e é graças a ele e ao eixo de inclinação da Terra que ocorrem as mudanças de estações do ano, cada qual com suas características climáticas, influenciadas diretamente pela radiação solar incidente.

Você deve estar se perguntando: como o eixo de inclinação da Terra pode influenciar a radiação solar em diferentes latitudes?

Primeiro, vale relembrar que a latitude é a distância de uma determinada faixa da Terra com relação à linha imaginária do Equador. Na linha do Equador, a latitude é zero e aumenta à medida que nos afastamos, seja na direção norte ou na direção sul. Na Figura 2.1, que ilustra o movimento de translação do planeta Terra, é possível observar o eixo ligeiramente inclinado do planeta, que forma um ângulo de aproximadamente $23^{\circ} 26'$ com a linha imaginária do Equador. Devido a essa inclinação, Hemisférios Norte e Sul recebem radiação solar diferentes ao longo do ano, à medida que a orientação da Terra muda com o movimento de translação.

Figura 2.1 | Movimento de translação do planeta e inclinação da Terra com relação ao plano da órbita



Fonte: <<https://goo.gl/UPQSSW>>. Acesso em: 16 jul. 2017.

Durante o inverno, os hemisférios se inclinam para longe do Sol e o oposto ocorre durante o verão. Isso quer dizer que a altura do Sol em uma determinada hora do dia pode variar ao longo do ano, de tal forma que no verão, essa altura é maior e por isso a radiação solar nessa estação é mais intensa e os dias são mais longos.

Agora que você já sabe como alguns fatores astronômicos influenciam a radiação solar que chega ao planeta, vejamos como determinadas condições atmosféricas podem condicionar as características da incidência solar.

A energia emitida pelo Sol chega ao planeta na forma de ondas eletromagnéticas, conforme você estudou na Unidade 1. A atmosfera terrestre, formada por gases, atenua a radiação solar que atinge a superfície. De toda a radiação solar que incide na Terra, apenas uma pequena fração (em torno de 25%) não sofre interferência da atmosfera. Essa parcela é denominada radiação direta. O restante, por outro lado, poderá sofrer reflexão, espelhamento e absorção. Vejamos como isso acontece.

Partículas de gases e aerossóis que estão suspensos no ar podem dispersar a radiação solar que incide na Terra, distribuindo a radiação que chega em linha reta para todas as direções, causando o seu espelhamento. Graças a esse fenômeno existe claridade em áreas que não recebem iluminação solar direta. Na reflexão, parte da radiação solar que atravessa a atmosfera é enviada de volta ao espaço ao encontrar determinados meios, como os continentes, os oceanos, o gelo e as nuvens. Essa fração da radiação que é refletida recebe o nome de albedo. Já a absorção é o processo no qual a radiação é convertida em calor. Os gases são bons absorvedores de radiação: dióxido de carbono, por exemplo, participa do efeito estufa, processo natural de aprisionamento de parte da radiação solar que atravessa a atmosfera, importante para manter o planeta aquecido.

A parcela de radiação absorvida, refletida ou espelhada é denominada radiação difusa. Em termos práticos, podemos dizer que a radiação solar global (R_g) é formada pela soma da radiação direta (R_{dir}) mais a radiação difusa (R_{dif}).

Certamente, você observou que a reflexão e o espelhamento apenas alteram a direção dos raios solares que incidem no planeta, diferente do que ocorre no processo de absorção. Conhecer tais

processos será importante para que você compreenda como a radiação solar é aproveitada na energia fotovoltaica e termossolar, que serão abordadas mais adiante.

Você sabia que o Brasil tem grande potencial para a exploração de energia solar como fonte de eletricidade? Isso ocorre porque o nosso país está situado quase que completamente entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, uma zona de latitude mais baixa, onde a incidência de radiação solar ocorre de forma vertical. Além disso, devido à proximidade com o Equador, existe pouca variação da incidência de radiação solar ao longo do ano, o que favorece a sua exploração como fonte energética mesmo durante o inverno.

A média de irradiação anual brasileira varia entre 1.200 e 2.400 kWh/m²/ano (bem acima da média europeia), sendo os maiores valores e a menor variabilidade anual observados na Região Nordeste (a região central da Bahia apresenta os valores máximos de irradiação). Além disso, outras localidades apresentam valores máximos de irradiação, com destaque para o norte de Minas Gerais, o nordeste de Goiás e o sul de Tocantins (NÚCLEO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS DE ENERGIA, 2016).

Os mapas solarimétricos são ferramentas importantes para a avaliação do potencial de exploração da energia solar por região, em diferentes estações do ano. De acordo com Pereira et al. (2006), a incidência de radiação solar que atinge a superfície na Região Norte do país é menor do que na Região Sul na época do verão, apesar da localização do Norte, próxima ao Equador. Isso ocorre devido à grande presença de nuvens e ocorrência de chuvas, que é maior na Região Norte do que na Região Sul nessa estação. O oposto é verificado no inverno. Ainda segundo os autores, durante o outono e o inverno, estações secas, a Região Central do Brasil recebe a maior incidência de radiação solar, pois o índice de precipitação é baixo e os dias de céu mais claro são maiores. Já na Região Sul, observam-se os menores valores de irradiação global devido às características de clima temperado da região.

Os mapas solarimétricos brasileiros indicam que o país apresenta uma média anual da radiação global horizontal ao longo de toda a extensão territorial, que varia entre 3,85 (litoral da Região Sul) e 6,65 (interior do Nordeste). O interior do Nordeste e parte do norte

de Minas Gerais apresentam as maiores médias anuais de radiação global horizontal.

O Brasil iniciou suas pesquisas com energia solar a partir da década de 1950, mas somente a partir da década de 1990 é que essa energia começou a atender as localidades afastadas da rede elétrica. O marco inicial para a regulamentação da energia solar ocorreu em 1994 com a criação do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), pelo Governo Federal; em 2003, instituiu-se o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Programa Luz para Todos (LpT). Em 2012 ocorreu a regulamentação da energia solar pela ANEEL, por meio da Resolução Normativa nº 482/2012 (ANEEL, 2012), que estabelece as condições para a geração e a distribuição de energia solar no Brasil; tal normativa passou por revisão e sofreu alterações em 2015, aumentando o limite de potência e criando mecanismo de compartilhamento de geração (TOLMASQUIM, 2016).

As normativas combinadas com os programas de incentivo a projetos de sistemas de energia solar têm estimulado a exploração desse uso de energia, ampliando o acesso da população à energia descentralizada.



Assimile

A energia proveniente do Sol pode ser convertida em eletricidade em pequenos sistemas, visando suprir a demanda de residências e empresas, incluindo as que estão distantes das redes elétricas ou em sistemas maiores, interligados à rede de abastecimento público. A eletricidade produzida por esses sistemas pode ser utilizada imediatamente, por exemplo, para o funcionamento de equipamentos e aquecimento de água (coletores solares), ou podem contar com um sistema de armazenamento de energia. Os coletores solares, predominantes no setor residencial, são instalados no teto das residências e absorvem a radiação solar, que pode ser utilizada para o aquecimento da água de chuveiros, por exemplo.

O aproveitamento da energia eletromagnética emitida pelo Sol para a geração de eletricidade pode ser obtido por dois tipos básicos de sistemas: os fotovoltaicos e os termossolares. A partir

daqui você compreenderá como funcionam esses sistemas e algumas de suas características mais importantes.

Os dispositivos fotovoltaicos, denominados PV (sigla para *photovoltaic*, em inglês, traduzido como fotovoltaico), são compostos por células solares capazes de fazer a conversão direta de energia solar em energia elétrica.

Essa conversão da energia é possível graças ao material semicondutor utilizado para a construção das células solares, que estão ligadas entre si formando os módulos fotovoltaicos, que, por sua vez, podem ser combinados para formarem os painéis ou matrizes PV. Explicando mais claramente, os materiais semicondutores, como o silício (amplamente utilizado como matéria-prima para a confecção das células solares) são formados por duas regiões: uma banda de valência, preenchida por elétrons, e uma banda de condução. Fótons de luz, ao atingirem o material, excitam os elétrons, que migram da banda de valência para a banda de condução. Essa migração ocorre graças à presença de átomos de fósforo e boro que são acrescentados às células para que os elétrons excitados sejam coletados e gerem uma corrente elétrica útil ao sistema, processo denominado efeito fotovoltaico.

Um sistema fotovoltaico é composto por um conjunto de módulos fotovoltaicos (formado pela ligação de células solares), estruturado em painéis; regulador de tensão; inversor corrente contínua/corrente alternada; e um sistema capaz de armazenar energia. Os módulos fotovoltaicos podem ser sustentados por materiais, como aço galvanizado, madeira ou alumínio e, assim como as células que os formam, podem apresentar diferentes tamanhos e formatos. Além disso, o sistema pode contar com um dispositivo que orienta a posição dos painéis de acordo com a movimentação do Sol, para melhor aproveitamento da radiação solar. O armazenamento da energia é feito por baterias eletroquímicas.

Para melhor aproveitamento solar, existem dois tipos de células PV: as de placas planas, que são retangulares e planas, montadas em ângulos fixos que podem maximizar a exposição do Sol ao longo de todo o ano ou ter sistemas mais flexíveis que podem se movimentar de acordo com o movimento do Sol; e as células de lentes convexas, que funcionam concentrando as células PV e, por isso, necessitam de menos material e podem ser menores. Em

contrapartida, as lentes convexas não funcionam bem quando há nuvens no céu, apresentando uma desvantagem com relação às de placas planas (RASHID, 2014).

A potência gerada em um sistema fotovoltaico, ou seja, a energia gerada no sistema por unidade de tempo, depende de fatores como a radiação solar horária que incide sobre o painel, a área do painel e o rendimento total do sistema (REIS, 2011).

Ao propor um projeto de sistema fotovoltaico, um profissional do setor, precisa realizar uma avaliação para quantificar a radiação solar global que incide sobre o painel e identificar as possíveis sazonalidades; analisar a demanda de energia; escolher a melhor configuração para o sistema (autônomo ou interconectado à rede, com ou sem bateria, entre outros); realizar o dimensionamento do sistema de armazenamento de energia; e finalmente fazer o dimensionamento dos painéis e demais componentes elétricos, levando em consideração os dados meteorológicos e de demanda (CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, 2004).



Pesquise mais

O universo dos sistemas fotovoltaicos é enorme e você pode conhecer mais sobre ele acessando o Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, disponível no link a seguir.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2004. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2017.

Outra forma de aproveitamento da radiação solar para a obtenção de energia é por meio da geração termossolar, um processo que converte energia solar em energia térmica (calor) que, por sua vez, é convertida em energia mecânica e finalmente em energia elétrica ou diretamente em energia elétrica. Esse processo de conversão, em sua forma mais completa, envolve a passagem por quatro processos, de acordo com Philippi Junior e Reis (2016, p. 478). São eles:

1. Coletor: capta e concentra a radiação solar que incide na superfície do coletor.
2. Receptor: absorve e converte a energia solar a um fluido.
3. Transporte-armazenagem: converte a energia térmica do fluido em energia mecânica.
4. Conversão elétrica: converte energia mecânica em energia elétrica.



Exemplificando

A energia termosolar pode ter diversas aplicações, que dependerão da temperatura do calor gerado. Em temperaturas menores do que 100 °C, pode-se aproveitar a energia para aquecimento de água e ar, em indústrias e residências; temperaturas entre 100 °C e 400 °C permitem o seu aproveitamento para dessalinização da água do mar e geração de vapor para uso industrial, por exemplo; temperaturas acima de 400 °C torna essa energia possível de ser aproveitada para a geração de energia elétrica. Um dos métodos utilizados nesse último caso é a Energia Solar Concentrada (CSP) (ÁLVAREZ, 2015).

Apesar de ter levado certo tempo para se tornar uma tecnologia economicamente competitiva com outras formas de geração de energia elétrica, atualmente, observa-se uma redução dos preços de sistemas fotovoltaicos, o que tem tornado essa forma de obtenção de energia viável e adequada para o abastecimento de locais onde a rede pública tenha a sua instalação inviável, como ocorre em áreas rurais ou em pequenas comunidades.

Com relação aos impactos ambientais, a exploração da energia solar implica baixos impactos, associados principalmente aos métodos de fabricação das células solares, que podem envolver o uso de substâncias químicas perigosas. No entanto, os riscos são reduzidos com a utilização de técnicas modernas e da reciclagem (REIS; SANTOS, 2014).



As tecnologias de exploração de energia solar para a geração de energia elétrica têm se tornado cada vez mais acessíveis economicamente e isso as coloca numa posição de maior competitividade com as fontes habitualmente utilizadas para a geração de eletricidade. Você acredita que em um futuro não muito distante, seja possível que a energia solar se torne tão explorada quanto a hidráulica em nosso país? Reflita sobre o assunto!

Agora que você já conhece as principais características da energia solar, não deixe de ampliar os seus conhecimentos sobre o conteúdo, pesquisando mais sobre o assunto.

Bons estudos!

Sem medo de errar

Você se lembra de que, no problema proposto para esta seção, você deveria realizar uma primeira consultoria em uma propriedade rural cujo proprietário informou que deseja instalar células fotovoltaicas em sua residência? Chegou a hora de refletirmos sobre alguns pontos relevantes que deverão compor o seu laudo técnico, levando em consideração que na propriedade em questão, durante cerca de três meses do ano chove bastante e o céu normalmente fica muito nublado. É viável a exploração de energia solar nessas condições? Que orientações devem ser incluídas no laudo para informar ao proprietário sobre o funcionamento de células fotovoltaicas? Como você detalharia as vantagens e as desvantagens da utilização de energia solar em comparação à utilização de energia exclusivamente hidrelétrica?

Para a finalidade relatada pelo proprietário, que seria a geração de energia elétrica e não unicamente o aquecimento de água, por exemplo, é recomendado o uso de painéis solares em sistemas fotovoltaicos.

Primeiramente, vale lembrar que, com relação aos sistemas fotovoltaicos, existem dois tipos de células PV: as de placas planas, que são retangulares e planas, montadas em ângulos fixos que podem maximizar a exposição do Sol ao longo de todo o ano

ou terem sistemas mais flexíveis que podem se movimentar de acordo com o movimento do Sol; e as células de lentes convexas, que funcionam concentrando as células PV e, por isso, precisam de menos material e podem ser menores. As placas planas são as que melhor atenderiam as condições climáticas da propriedade, já que elas podem apresentar sistemas flexíveis que se movimentam acompanhando o posicionamento do Sol para melhor aproveitamento da radiação. Há também os sistemas que utilizam baterias, que poderiam ser utilizadas para o armazenamento da energia gerada nas horas mais propícias do dia.

É importante informar em seu laudo sobre o funcionamento do sistema fotovoltaico, já que o proprietário teve dúvidas sobre essa questão. Um sistema fotovoltaico é formado por um conjunto de módulos fotovoltaicos estruturados em painéis; regulador de tensão; inversor corrente contínua/corrente alternada; e um sistema capaz de armazenar energia. Os módulos fotovoltaicos podem ser sustentados por materiais, como aço galvanizado, madeira ou alumínio e podem contar com um dispositivo que orienta a posição dos painéis de acordo com a movimentação do Sol, para melhor aproveitamento da radiação solar. Além disso, podem contar com baterias eletroquímicas, para o armazenamento da energia.

Com relação às vantagens da utilização desse tipo de energia em comparação a exclusivamente originada de hidrelétricas é a possibilidade de serem instaladas independente da rede, de forma autônoma, tornando-se viável em propriedades rurais, como é o caso em questão. É proveniente de uma fonte inesgotável de energia e, além disso, existem os custos ambientais, já que os impactos da exploração de energia solar são menores do que outras fontes de energia, ao contrário do que ocorre com as hidrelétricas, por exemplo.

Sobre as desvantagens, um aspecto que pode ser citado é a característica intermitente da fonte, que torna necessária a escolha da melhor tecnologia (que por vezes não é a mais barata) para melhor aproveitamento da radiação solar difusa, em dias nublados.

Esses e outros aspectos, incluindo as etapas para a elaboração de projetos de sistemas de geração de energia solar, podem ser encontrados nesta seção e devem ser aprofundados em outras fontes de informação.

Projetos de geração de energia solar

Descrição da situação-problema

Você foi contratado por uma empresa que presta serviços de consultoria industrial para avaliar a viabilidade técnica da implantação de um sistema fotovoltaico em uma indústria de cosméticos, localizada em um distrito industrial de uma cidade no interior de São Paulo, afastado da zona urbana. Nessa consultoria, você precisa fazer uma análise preliminar de alguns aspectos antes da elaboração e apresentação do projeto. Para que você possa atestar a viabilidade do projeto, que critério(s) precisaria(m) ser analisado(s) inicialmente? Quais são as etapas do projeto?

Para resolver este problema, concentre a sua leitura no potencial de radiação solar e influências sobre ele e nas características dos sistemas fotovoltaicos.

Resolução da situação-problema

Para atestar a viabilidade da implantação de um projeto de geração de energia solar, inicialmente é preciso que o potencial de radiação solar da região seja avaliado, pois esse é um fator que sofre a influência da latitude, das características da atmosfera e de condições climáticas em cada período do ano. Os mapas solarimétricos são ferramentas importantes para a avaliação do potencial de exploração da energia solar por região, em diferentes estações do ano. Esse fator, aliado à demanda de energia, condicionará a escolha do melhor equipamento para ser utilizado, visando ao melhor aproveitamento da radiação solar.

Para que haja sucesso na implantação de um sistema de aproveitamento energético da radiação solar, é importante que o projeto seja bem elaborado, respeitando as condições locais e a finalidade dos geradores solares. Etapas do projeto incluem: quantificação da radiação solar global que incide sobre o painel e identificação das possíveis sazonalidades; análise da demanda de energia; escolha da melhor configuração para o sistema (autônomo ou interconectado à rede, com ou sem bateria, entre outros); realização do dimensionamento do sistema de armazenamento

de energia; e finalmente, o dimensionamento dos painéis e demais componentes elétricos, levando em consideração os dados meteorológicos e de demanda.

Faça valer a pena

1. O Sol, estrela que ocupa o centro de nosso sistema solar, emite ondas eletromagnéticas que atravessam a atmosfera terrestre. No entanto, a radiação solar que incide sobre o planeta Terra sofre a influência de alguns fatores, que podem condicionar a quantidade de radiação passível de ser captada por painéis solares.

Sobre esses fatores, analise as assertivas I, II e III.

I. A latitude é um fator que influencia a incidência de radiação que atinge o planeta. Em latitudes maiores, os raios solares atingem a Terra de forma mais intensa e durante todo o ano e, portanto, são locais em que a energia solar pode ser melhor aproveitada para a geração de eletricidade.

II. O movimento de translação do planeta aliado à sua inclinação em relação ao plano da órbita, é responsável pelas estações do ano, que criam condições climáticas sazonais que devem ser avaliadas nos projetos de sistemas de geração de energia solar.

III. No verão, a altura do Sol é diferente se comparada ao inverno, por isso, os dias são mais longos e a radiação solar mais intensa.

Após a análise das assertivas, assinale a afirmativa correta:

- a) As assertivas I, II e III estão corretas.
- b) Apenas as assertivas I e II estão corretas.
- c) Apenas as assertivas I e III estão corretas.
- d) Apenas as assertivas II e III estão corretas.
- e) Apenas a assertiva I está correta.

2. A energia que é emitida pelo Sol e chega ao planeta na forma de ondas eletromagnéticas é atenuada pela atmosfera terrestre, formada por gases. De toda a radiação solar que incide na Terra, apenas uma pequena fração, denominada radiação direta, não sofre interferência da atmosfera. O restante poderá sofrer reflexão, espelhamento e absorção.

A respeito da radiação direta e difusa, marque a resposta correta:

- a) Graças ao fenômeno de absorção, a radiação solar difusa torna os dias mais claros, mesmo quando há muita nebulosidade.
- b) Albedo é o nome dado à parcela de radiação solar direta que sofreu absorção por superfícies, como o solo e os oceanos.
- c) Os gases são bons refletores de radiação e, por isso, a poluição atmosférica tem grande influência na dispersão da radiação de volta para o espaço.

- d) Absorção, diferente do que ocorre na reflexão e no espelhamento, apenas altera a direção dos raios solares, devolvendo-os para o espaço.
- e) Dizemos que a radiação solar global é a somatória da radiação solar direta que atinge o planeta e da radiação difusa.

3. O Brasil é um país que tem grande potencial para a exploração de energia solar como fonte de eletricidade, pois está situado em uma zona de latitude mais baixa, quase que completamente entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio. Nessa latitude, a incidência de radiação solar ocorre de forma vertical e, devido à proximidade com o Equador, existe pouca variação da incidência de radiação solar ao longo do ano, o que favorece a sua exploração como fonte energética mesmo durante o inverno.

Sobre os sistemas de aproveitamento energético da radiação solar, analise as afirmativas, julgando (V) para verdadeiro e (F) para falso nas sentenças a seguir:

I. () As células solares ou fotovoltaicas são capazes de fazer a conversão da energia solar em energia elétrica e, para isso, são confeccionadas com materiais semicondutores.

II. () Elementos químicos, como o boro e o fósforo, são adicionados às células fotovoltaicas para excitarem os elétrons presentes nos painéis solares.

III. () A radiação solar horária que incide no painel solar é um dos fatores que influencia a potência gerada em um sistema fotovoltaico.

IV. () Apesar de ser variável em função do material em que é produzido, a área do painel não é um fator que causa influência na energia que é gerada pelo sistema durante um dado tempo.

Com base na leitura e análise das afirmativas, assinale a alternativa correta:

- a) V – F – V – F.
b) F – F – V – V.
c) V – V – V – F.
d) V – F – F – V.
e) F – V – F – V.

Seção 2.2

Energia eólica

Diálogo aberto

Na Seção 2.1 desta unidade você conheceu algumas das características da energia solar. Agora, chegou a vez de explorar o universo de uma outra energia alternativa: a eólica, que aproveita a energia dos ventos para a geração de eletricidade.

No início desta unidade, você foi inserido em uma situação na qual deve prestar uma consultoria em uma propriedade rural, cujo dono deseja explorar algumas fontes de energia alternativa, entre elas a eólica.

A partir da consultoria prestada, você deve redigir um laudo informando alguns aspectos técnicos e informações importantes para o esclarecimento de algumas dúvidas relatadas pelo proprietário da fazenda.

Na primeira parte de seu laudo, concluída na seção anterior, você fez uma análise da viabilidade da instalação de células fotovoltaicas na residência da propriedade, relatou o funcionamento de células fotovoltaicas, além das vantagens e desvantagens da utilização de energia solar em comparação à utilização de energia exclusivamente hidrelétrica. Nesta segunda parte do laudo, você chegou à conclusão de que deverá analisar a viabilidade da utilização da energia eólica.

O proprietário informou conhecer alguns vizinhos que optaram pela instalação de geradores eólicos em suas propriedades e que gostaria de saber se ele também poderia explorar essa fonte de energia. Para informar em seu laudo a viabilidade técnica e econômica da implantação de geradores eólicos para o abastecimento de toda a propriedade, será preciso que você deixe claro em seu relatório as respostas das seguintes questões: o que é a energia eólica? Quais aspectos técnicos primordiais devem ser observados antes da concepção do projeto, para que ocorra o sucesso do empreendimento? Que fatores devem ser observados para atestar a viabilidade econômica da implantação do projeto?

Para responder às questões propostas e compor o seu laudo, você deverá fazer a leitura da Seção 2.2, focando aspectos como a estrutura dos geradores eólicos e as características dos ventos nas diferentes regiões brasileiras, principalmente em relação aos fatores locais, que podem influenciar a velocidade média dos ventos. Além disso, você pode buscar por informações adicionais para enriquecer o seu relatório.

Bom trabalho!

Não pode faltar

Você sabia que o início do uso da energia eólica pode ter 3.000 anos? Apesar de não existir dados muito concretos, acredita-se que os egípcios utilizavam moinhos de vento em suas atividades cotidianas. No entanto, existem dados históricos confiáveis de que há pelo menos 200 anos antes de Cristo, os povos da Pérsia utilizavam a energia eólica, por meio dos moinhos, para moer grãos e bombear água (FADIGAS, 2011).

O primeiro moinho de vento utilizado para produção de energia elétrica foi construído na Escócia em 1887, pelo professor James Blyth, que instalou uma torre de dez metros no jardim de sua casa, mas sua energia não foi utilizada por muito tempo, por não ser economicamente viável. A partir de então, outras experiências de geração de energia elétrica por meio de geradores eólicos foram realizadas pelo mundo e o primeiro aerogerador de grande potência conectado à rede foi construído em 1941, nos Estados Unidos, abastecendo cerca de 1000 residências com energia elétrica (NÚCLEO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS DE ENERGIA, 2014).

A energia eólica aproveita a energia cinética de translação dos ventos convertendo-a em energia cinética de rotação e, ao final, em energia elétrica. O vento pode ser definido como o ar atmosférico em movimento, devido, principalmente, ao aquecimento da superfície da Terra. Esse aquecimento do ar ocorre de forma mais intensa na região equatorial do planeta e, o ar quente, que se torna menos denso, movimenta-se em direção aos polos, cujo ar frio predomina. Para ocupar o espaço do ar quente que se deslocou, o ar frio dos polos se movimenta em direção ao Equador, gerando um padrão de circulação global dos ventos, influenciado pela

temperatura do ar e pela diferença de pressão entre as regiões mais frias e mais quentes do planeta.

A circulação global dos ventos também é afetada pelo movimento de rotação do planeta. O ar frio que se move dos polos para o Equador, perto da superfície terrestre, tende a ser desviado para o oeste e o ar quente que se movimenta em direção aos polos é desviado para o leste. Devido a esse padrão de circulação atmosférica e ao eixo de inclinação do planeta (que você conheceu na Seção 2.1), ocorrem as variações sazonais da intensidade e direção dos ventos. A Figura 2.2 ilustra a circulação global dos ventos.

Figura 2.2 | Esquema da circulação global da atmosfera



Fonte: <<https://goo.gl/TQ2sUc>>. Acesso em: 16 jul. 2017.

Além da movimentação global, existe também uma circulação local dos ventos. As brisas marítimas e terrestres ocorrem nas áreas costeiras devido ao aquecimento da superfície terrestre. A primeira sopra do mar para a areia durante o dia em consequência do maior aquecimento do ar sobre a areia, o que gera uma corrente de ar movendo-se em sua direção. No segundo caso, com a chegada da noite, a temperatura da areia cai mais rápido do que a temperatura do mar, gerando uma brisa que sopra da areia em direção ao mar.

Nas maiores altitudes, os ventos apresentam um padrão de circulação diferente do observado próximo à superfície, por não sofrerem influência de fatores, como vegetação, massas de água, absorção da radiação solar e topografia local.

As características dos ventos podem ser medidas em torres meteorológicas, com o uso de aparelhos como o anemômetro, que mede a velocidade dos ventos, podendo também indicar a sua direção; o leme, equipamento utilizado para indicar a direção dos ventos; o termômetro, para medir a temperatura do ar; o barômetro, para medir a pressão atmosférica; e um software para a aquisição e o armazenamento de dados.

A partir do valor das medições obtidas com os equipamentos, são gerados gráficos que fornecem o percentual das velocidades dos ventos de acordo com cada período do dia, bem como os períodos de calmaria, ventos fortes, velocidade máxima e potência média bruta (energia disponível - em Wh/m^2 - passível de aproveitamento pelos geradores eólicos. Esses dados são apresentados em mapas cartográficos, dentre eles, os atlas de energia eólica, construídos por meio de informações climatológicas e topográficas obtidas por satélites (REIS; SANTOS, 2014).

O conhecimento dessas informações e do comportamento dos ventos é fundamental para a concepção de projetos eficientes de geradores eólicos, uma vez que permitem estimar a energia que pode ser gerada pelas centrais eólicas, cujo funcionamento será detalhado mais adiante, nesta seção. Os dados sobre os ventos precisam partir de fontes confiáveis, pois as variações na velocidade dos ventos, por menores que sejam, podem causar grandes variações na potência mecânica que será convertida em energia elétrica nos geradores.

Na concepção dos projetos, após o primeiro passo, que seria o estudo das condições dos ventos locais, as próximas etapas envolvem a escolha do modelo de turbina, da altura da instalação e de outros requisitos técnicos.

Você sabe como funciona uma turbina eólica? Para responder a essa pergunta, precisamos compreender inicialmente alguns aspectos.

Conforme você já estudou, as turbinas eólicas convertem a energia cinética dos ventos em energia elétrica. Para que isso ocorra, a turbina é formada por algumas partes essenciais, embora existam diversos tipos de turbinas disponíveis no mercado, principalmente quando a exploração desse tipo de energia envolver o uso de máquinas de pequeno porte. Vejamos algumas partes componentes das turbinas eólicas:

- Torre: promove a sustentação do rotor a uma altura adequada para a movimentação das pás pelos ventos.
- Rotor: é o local onde estão afixadas as pás e, portanto, é o componente responsável pela transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica.
- Nacele: é o compartimento em que está todo o aparato responsável pela geração, incluindo a caixa de transmissão, o gerador e o mecanismo de controle.
- Caixa de transmissão: é responsável pela transmissão da energia mecânica do rotor para o gerador.
- Gerador: converte a energia mecânica em energia elétrica.
- Mecanismo de controle: responsável pela orientação do rotor.
- Anemômetro: faz medição da intensidade e velocidade dos ventos.
- Pás: são responsáveis por captar a energia dos ventos.
- Sensor de direção: indicam a direção dos ventos para a obtenção de um maior rendimento.



Exemplificando

Vamos compreender um pouco mais sobre o funcionamento das usinas eólicas? Vejamos um exemplo de como elas funcionam.

As turbinas são instaladas em locais em que os ventos são regulares e podem produzir energia de forma constante. A força dos ventos gira as pás das turbinas e acionam um gerador que é capaz de gerar energia elétrica. Um cabo instalado no interior da torre envia energia elétrica até a subestação, responsável por aumentar a tensão e transmitir energia a grandes distâncias. Por meio das linhas de transmissão, a energia chega à distribuidora, que reduz a tensão para que a energia possa ser utilizada nas residências.

PORTAL BRASIL. Brasil é o quarto país em que energia eólica mais cresce no mundo. **Exame**. São Paulo, v. 1. n. 1, p. 1-2, jan. 2016. (inserir espaços) Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/01/brasil-e-um-dos-principais-geradores-de-energia-eolica-do-mundo>>. Acesso em: 17 jul. 2017.



Com relação às aplicações dos sistemas eólicos com o intuito de geração de energia elétrica, eles podem ser interligados à rede elétrica, como é o caso das usinas eólicas, cuja energia gerada é inserida na rede elétrica convencional; também podem ser sistemas isolados, que são autônomos e de pequeno porte, podendo ser utilizados para o abastecimento de residências rurais, pequenas comunidades ou indústrias; e sistemas híbridos, em que as turbinas eólicas são utilizadas em conjunto com outras formas de obtenção de energia, como os sistemas fotovoltaicos.

Geralmente, a utilização da energia eólica em larga escala, envolvendo geradores de grande porte, requer uma velocidade média de vento de 6,5 m/s a 7,5 m/s. Já os sistemas isolados podem funcionar com ventos que tenham a velocidade média variando entre 3,5 m/s a 4,5 m/s.

O Brasil apresenta potencial para a exploração de energia eólica, que pode variar de acordo com as características locais, além da sazonalidade do clima regional. O mapa da Figura 2.3 apresenta a velocidade média anual do Brasil e o fluxo de potência eólica anual, a uma altura de 50 m.

Figura 2.3 | Velocidade média anual do Brasil e o fluxo de potência eólica anual, a uma altura de 50 m



Fonte: <<https://goo.gl/4n2r6J>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

De maneira geral, a distribuição dos ventos no Brasil é controlada pela circulação atmosférica global, com destaque para os sistemas de alta pressão anticiclone subtropical do Atlântico Sul e Atlântico Norte e as faixas de baixas pressões da depressão equatorial.

Para compreendermos como essa circulação atmosférica influencia os ventos do Brasil, vamos inicialmente relembrar que na região equatorial ocorre um maior aquecimento do ar em função do ângulo de incidência do Sol. O ar aquecido sobe e a cerca de 10 km de altura (na camada denominada troposfera) desloca-se em direção aos polos dos Hemisférios Norte e Sul. Ao longo desse deslocamento o ar resfria e torna-se mais denso, aumentando o peso da coluna de ar atmosférico e criando cinturões de alta pressão, conhecidos como alta subtropical. Como o ar, agora mais denso, tende a descer, suprimindo os ventos ascendentes, ele é

denominado anticiclone e por estar na região subtropical (latitude entre 20° e 30°) é quente.

O ar que consegue circular nas zonas de alta pressão, ao atingir a superfície, forma ramos que se deslocam em direção ao polo e ramos que se deslocam para o Equador, formando os ventos alísios. Devido ao movimento de rotação do planeta, os ventos alísios são desviados para a esquerda no Hemisfério Sul (ventos alísios de sudeste) e para a direita no Hemisfério Norte (ventos alísios de nordeste).

Os ventos alísios que se direcionam para o Equador dão origem à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que tem influência no clima brasileiro, incluindo as abundantes chuvas na região Amazônica.

A Depressão Equatorial é geralmente uma zona de ventos fracos, no entanto, ao sul de sua localização os ventos são persistentes. Esse perfil geral de circulação atmosférica induz à atuação de ventos de leste ou nordeste, ao norte da Bacia Amazônica e no litoral nordeste.

De acordo com as características de ventos de cada localidade do território brasileiro, ele foi subdividido em regiões, que você conhecerá a seguir.

- Bacia Amazônica Ocidental e Central: localiza-se entre as latitudes 10° S e 5° N, apresenta ventos fracos com velocidades médias anuais inferiores a 3,5 m/s. Parte dessa baixa velocidade dos ventos deve-se à presença de grandes extensões de florestas na região, que criam uma zona de atrito próxima à superfície.

- Bacia Amazônica Oriental: abrange uma área continental que vai de Santarém, no Pará, até 100 km da costa entre o Amapá e o Maranhão. Predominam na região os ventos alísios de leste a nordeste, ao norte, e leste a sudeste, em sua porção sul. No entanto, os ventos são fracos (velocidade média de 3,5 m/s) devido à rugosidade gerada pela vegetação densa.

- Zona Litorânea Norte-Nordeste: faixa da costa com 100 km, estendendo-se da costa do Amapá ao Cabo de São Roque, no Rio Grande do Norte. Nessa região predominam os ventos alísios de leste e brisas marítimas e terrestres, resultando em ventos com velocidades médias anuais entre 5 m/s e 7,5 m/s no norte (litorais do Amapá e Pará) e entre 6 m/s a 9 m/s ao sul (litorais do Maranhão,

Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte).

- Zona Litorânea Nordeste-Sudeste: região de 100 km de largura, estendendo-se de Cabo de São Roque (RN) até o estado do Rio de Janeiro. Os ventos apresentam velocidades médias anuais de cerca de 9 m/s ao norte (Rio Grande do Norte) e de 3,5 m/s a 6 m/s ao longo do restante da costa. No entanto, entre o sul do Espírito Santo e o nordeste do Rio de Janeiro as velocidades são próximas de 7,5 m/s.

- Elevações Nordeste-Sudeste: são áreas de serras e chapadas localizadas ao longo da costa brasileira (do Rio Grande do Norte até o Rio de Janeiro). Os ventos têm velocidades médias anuais de 6,5 m/s a 8 m/s nas maiores elevações.

- Planalto Central: estende-se do sul da Bacia Amazônica até as fronteiras com Bolívia e Paraguai. A velocidade média anual dos ventos varia entre 4 m/s e 6 m/s. Em algumas regiões mais elevadas, as velocidades médias anuais podem chegar a 7 m/s.

- Planaltos do Sul: estende-se de São Paulo ao sul do Rio Grande do Sul, com velocidades médias anuais de 5,5 m/s a 6,5 m/s, podendo apresentar ventos mais intensos (entre 7 m/s e 8 m/s) nos locais de maiores elevações e ao longo do litoral sul.



Pesquise mais

O potencial eólico brasileiro está descrito em um atlas, com uma série de informações sobre os fatores locais que influenciam a velocidade média dos ventos e as características da energia eólica no Brasil.

Para conhecer o **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**, consulte a referência a seguir.

AMARANTE, Odilon A. Camargo do et al. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Cresesb, 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2017.

A partir das informações apresentadas, é possível ter uma noção da potencialidade do Brasil para o aproveitamento da energia eólica, principalmente nas áreas litorâneas e regiões de maiores altitudes.

No entanto, o espaço da energia eólica tem sido conquistado gradativamente e o cenário tem se alterado, principalmente em decorrência dos programas de incentivo.

De acordo com o Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia (2014), vinculado ao Ministério de Minas e Energia, o ponto de partida para o desenvolvimento do setor eólico no Brasil foi o surgimento do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (Proinfa) que viabilizou o contrato de 54 usinas, com a geração de cerca de 1,4 GW de potência. No entanto, tratava-se de uma energia cara e pouco competitiva (R\$ 366,00/MWh), quadro que começou a mudar a partir de 2009, quando ocorreu o primeiro leilão exclusivo para energia eólica. A partir de então, os custos da geração de energia eólica caíram, chegando a R\$ 136,00/MWh em 2014.

O Brasil conta atualmente com empresas que fabricam turbinas e torres eólicas, o que reduz os custos da produção de energia, já que diminui a necessidade de importação de equipamentos. Entretanto, existem alguns entraves que durante algum tempo trouxeram dificuldades para que essa fonte de energia fosse melhor explorada, entre eles, destacam-se a logística de transporte das peças de grande porte, escassez de mão de obra qualificada e a demora no licenciamento ambiental. Para solucionar tais problemas, novos materiais e procedimentos de construção das torres têm sido testados; cursos de capacitação têm sido oferecidos por algumas instituições de ensino e foi aprovada em 2014, a resolução CONAMA nº 462 (BRASIL, 2014), que uniformiza as regras para licenciamento das usinas e permite o licenciamento prévio de todo o complexo eólico, ao invés de cada parque separadamente, como era feito até então.

A utilização da energia eólica para o fornecimento de energia elétrica tem vantagens socioeconômicas e ambientais, dentre elas, a redução da emissão de gases do efeito estufa e o desenvolvimento econômico das áreas em que os parques eólicos são instalados, com a possibilidade de qualificação profissional da população e o aumento na geração de empregos, melhorias na infraestrutura das cidades e estímulo ao desenvolvimento tecnológico dos equipamentos para produção e comercialização interna. Além disso, por possibilitar a sua exploração de forma autônoma e isolada, pode chegar às localidades onde torna-se

inviável a instalação de rede elétrica ou representar uma redução da conta de energia elétrica em relação ao que é cobrado quando essa energia é fornecida apenas pelas concessionárias.



Refleta

Refleta sobre o motivo pelo qual a energia eólica ainda é tão pouco explorada no Brasil, apesar de todas as vantagens que ela representa. É possível viabilizar ainda mais a exploração de energia eólica? O que você teria como proposta caso tivesse o poder de decidir o futuro da energia eólica no Brasil?

Sem medo de errar

Na situação-problema desta seção, você deve redigir a segunda parte de seu laudo, fruto de uma consultoria em uma propriedade rural, cujo dono deseja instalar equipamentos para a exploração de energia alternativa, dentre elas, a eólica. Para compor essa parte de seu laudo, foi solicitado a você que analisasse os aspectos primordiais que devem ser observados antes da concepção do projeto, para que o empreendimento tenha sucesso.

Para redigir o aspecto proposto em seu laudo, é preciso, inicialmente, lembrar que a energia eólica explora a velocidade dos ventos que, por serem uma fonte intermitente, podem sofrer variações em escala global e regional. Conhecer as características dos ventos é um fator primordial para a concepção de projetos eficientes de exploração de energia eólica.

Globalmente, a intensidade dos ventos sofre influência da latitude e da rotação do planeta. Nas latitudes próximas ao Equador ocorre um maior aquecimento do ar, que se torna menos denso, ascende e movimenta-se em direção aos polos. Localmente, fatores como a presença de vegetação, a topografia do terreno, a proximidade com corpos hídricos e a presença de barreiras físicas artificiais podem influenciar a velocidade dos ventos, aumentando ou diminuindo a sua intensidade.

As condições gerais dos ventos de cada região podem ser consultadas no Atlas de potencial eólico, que apresenta características

dos ventos, como as velocidades de acordo com cada período do dia, os períodos de calmaria, ventos fortes e potência média bruta (energia disponível - em Wh/m^2 - passível de aproveitamento pelos geradores eólicos). Mesmo dispondo dos mapas, é sempre preferível que sejam utilizados instrumentos de medição para a realização de curvas para cada localidade em que se pretende implantar um gerador eólico. Tais instrumentos são o anemômetro (que mede a velocidade dos ventos), a biruta (que indica a direção dos ventos) e o barômetro (que mede a pressão atmosférica).

Tendo em mãos as características dos ventos da região, incluindo a variação temporal, é possível propor o tipo de equipamento que será utilizado, lembrando que no caso em questão, será utilizado um gerador de pequeno porte, visando atender à demanda apenas da propriedade rural. Nesse caso, existem diversos modelos disponíveis, cuja escolha deve levar em conta as características do vento e seu potencial para a geração de energia, das condições físicas do local e disponibilidade de recurso financeiro.

A viabilidade econômica de um projeto de energia eólica pode ser contabilizada pela economia de energia fornecida unicamente pela concessionária, além do atendimento às necessidades de energia elétrica de uma propriedade que, por ser rural, pode estar longe das redes de abastecimento.

Essas informações constituem a base de seu laudo e poderão ser complementadas com informações adicionais adquiridas durante os seus estudos desta seção.

Avançando na prática

O melhor local para uma usina eólica

Descrição da situação-problema

Você foi procurado por uma empresa para analisar o melhor local para a implantação de um grande empreendimento: uma usina eólica. Para isso, deram-lhe duas opções de localização: o sul do Amazonas e o litoral do Maranhão. Que aspectos importantes devem ser levados em consideração para a escolha da localidade? Como podem ser obtidas as informações necessárias para a escolha? Pensando apenas nos aspectos técnicos, qual estado você escolheria?

Resolução da situação-problema

Para resolver essa situação, é necessário lembrar que os dois estados, apesar de estarem em latitudes aproximadas, apresentam condições locais de ventos diferentes, influenciadas por fatores como a rugosidade do terreno, a presença de vegetação e a proximidade com o oceano.

As condições locais dos ventos e suas variações sazonais são fatores que devem ser levados em consideração para analisar a viabilidade técnica de implantação de usinas eólicas. No caso em questão, tais informações podem ser obtidas em atlas de potencial eólico.

O Brasil pode ser dividido em regiões, de acordo com as características dos ventos. O estado do Amazonas está inserido na Bacia Amazônica, uma região, predominantemente, de ventos fracos com velocidades médias anuais inferiores a 3,5 m/s. Esse fato deve-se à presença de grandes extensões de florestas na região, que criam uma zona de atrito próxima à superfície.

O litoral do Maranhão está inserido na Zona Litorânea Norte-Nordeste, onde predominam os ventos alísios de leste e brisas marítimas e terrestres, resultando em ventos com velocidades médias anuais entre 6 m/s e 9 m/s.

Conforme você estudou nesta seção, os empreendimentos de grande porte requerem uma velocidade média de vento de 6,5 m/s a 7,5 m/s, portanto, a melhor escolha para essa situação, levando em conta apenas aspectos técnicos, seria o litoral do Maranhão.

Faça valer a pena

1. Leia o trecho a seguir:

O vento é o ar atmosférico em movimento, devido à diferença de pressão e ao _____, que ocorre de forma mais intensa _____ do planeta e, o _____, que se torna _____ denso, movimenta-se em direção _____, cujo ar frio predomina.

A alternativa que contém os termos que completam na sequência e corretamente as lacunas é:

- a) Aquecimento da superfície da Terra, na região equatorial, ar quente, menos, aos polos.
- b) Aquecimento da superfície da Terra, nos polos, ar frio, mais, ao Equador.

- c) Aquecimento da superfície da Terra, na região equatorial, ar quente, mais, aos polos.
- d) Resfriamento da superfície da Terra, na região equatorial, ar frio, mais, aos polos.
- e) Resfriamento da superfície da Terra, nos polos, ar frio, menos, ao Equador.

2. As turbinas eólicas funcionam convertendo a energia cinética dos ventos em energia elétrica. Para tanto, ela é formada por algumas partes essenciais, que possibilitam que essa conversão ocorra de forma eficiente. A respeito de alguns dos componentes básicos das turbinas eólicas e suas respectivas funções, associe os componentes, que estão na COLUNA A, com as suas respectivas funções, que estão na COLUNA B.

COLUNA A

- 1. Torre.
- 2. Rotor.
- 3. Gerador.
- 4. Pá.

COLUNA B

- A. Converte a energia mecânica em energia elétrica.
- B. Capta a energia dos ventos.
- C. Promove a sustentação do equipamento a uma altura adequada para a movimentação das pás pelos ventos.
- D. Transforma a energia cinética de translação dos ventos em energia cinética de rotação.

A alternativa que contém a associação correta entre os componentes da turbina e suas respectivas funções é:

- a) 1 – C; 2 – A; 3 – D; 4 – B.
- b) 1 – A; 2 – B; 3 – C; 4 – D.
- c) 1 – B; 2 – C; 3 – D; 4 – A.
- d) 1 – D; 2 – C; 3 – A; 4 – B.
- e) 1 – C; 2 – D; 3 – A; 4 – B.

3. No ano passado [2016], o Brasil adicionou mais 2 gigawatts (GW) de energia eólica em 81 novos parques, fazendo com que o setor atingisse 10,75 GW de capacidade acumulada. Ao todo, o país já conta com 430 parques eólicos, representando 7% da matriz elétrica nacional.

Os dados constam no relatório anual sobre o setor divulgado nesta semana pela Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica).

Os bons ventos, associados a investimentos vultosos que somaram US\$ 5,4 bilhões, refletiram na geração de mais de 30 mil postos de trabalho em 2016.

Em termos de geração, a energia eólica cresceu 55% em relação a 2015, de acordo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), gerando o equivalente ao abastecimento mensal de uma média de 17,27 milhões de residências por mês.

No mercado internacional, o Brasil ultrapassou a Itália e ocupa agora a nona posição no ranking mundial de capacidade instalada de energia eólica, de acordo com dados do GWEC (Global Wind Energy Council).

Fonte: <<http://exame.abril.com.br/economia/o-vento-soprou-forte-para-eolica-no-brasil-em-2016/>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

O trecho da reportagem aponta para o crescimento da energia eólica no Brasil. A respeito dessa energia, analise as afirmativas a seguir:

I. Os sistemas eólicos podem ser aplicados interligados à rede elétrica, em sistemas isolados e em sistemas híbridos. Nesse último caso, as turbinas eólicas são utilizadas em conjunto com outras formas de obtenção de energia.

II. As turbinas eólicas exploram a energia cinética dos ventos alísios, que são formados pela diferença de aquecimento da água do mar e da areia das praias.

III. Entre as vantagens ambientais da utilização de energia eólica, pode-se destacar a redução da emissão de gases do efeito estufa, em relação ao uso de outras tecnologias, tais como aquelas baseadas em fontes fósseis.

Enunciado: Após a análise das afirmativas apresentadas, marque a resposta correta:

- a) Apenas as afirmativas II e III estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas I e II estão corretas.
- d) Apenas a afirmativa I está correta.
- e) As afirmativas I, II e III estão corretas.

Seção 2.3

Energia de biomassa

Diálogo aberto

Na Unidade 1, você estudou as características da matriz energética brasileira, em que observamos a contribuição da energia de biomassa como uma das mais significativas entre as fontes renováveis de energia.

A utilização da biomassa como fonte de energia não é um acontecimento recente. A queima da lenha para aquecimento e cocção de alimentos foi amplamente empregada por muitas sociedades e, de forma mais restrita, pode ser observada até os dias atuais. No entanto, essa prática sempre foi associada ao desmatamento, já que a extração de madeira para a queima não se apoiava em uma produção sustentável.

Esse panorama começou a mudar a partir da crise do petróleo, na década de 1970, já que a biomassa passou a ser vista como matéria-prima para a produção de energia. Em 1975, o governo brasileiro criou o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), que ofereceu incentivos fiscais ao setor sucroalcooleiro e às indústrias automobilísticas, para que a produção de carros movidos a álcool aumentasse. Esse foi o impulso inicial para que os biocombustíveis se tornassem atrativos e competitivos no mercado de combustíveis.

Vários impasses econômicos e políticos permeiam a ampliação da exploração da biomassa como fonte de energia. No entanto, existem questões socioambientais que fornecem subsídio para que a participação da biomassa na matriz energética brasileira seja maior.

No início desta unidade, você foi contratado para prestar consultoria em uma propriedade rural, cujo proprietário manifestou interesse em explorar fontes alternativas de energia. A partir da consultoria será gerado um laudo com informações para esclarecer algumas das dúvidas do agricultor quanto às fontes escolhidas por ele. Até o momento você analisou aspectos da exploração de energia solar e eólica.

Nesta seção, o produtor rural manifestou interesse em construir um biodigestor, já que em sua propriedade há criação de suínos e bovinos, o que resulta numa produção de grande quantidade de dejetos diariamente. No entanto, sem conhecimento técnico para avaliar se essa seria uma boa ideia, você foi questionado sobre a viabilidade da construção do equipamento. Portanto, você concluiu que terá de ressaltar no laudo a ser entregue ao proprietário da fazenda os seguintes pontos: que aspectos técnicos precisam ser considerados para a concepção do projeto de um biodigestor na propriedade? Quais são as vantagens que o produtor rural teria ao adotar a utilização de um biodigestor?

Ao longo dos estudos desta seção, você terá a oportunidade de compreender o que é a biomassa e como ela é formada, além de conhecer as características dessa fonte de energia que contribui para o seu aproveitamento energético. Discutiremos também sobre alguns aspectos econômicos e socioambientais envolvendo o tema. Não deixe de buscar outras fontes de informação para complementar os seus estudos.

Não pode faltar

Você sabe o que é a biomassa e como ela é convertida em energia?

De acordo com a Agência de Energia Elétrica (ANEEL, 2005), a biomassa é um recurso renovável oriundo de matéria orgânica de origem animal ou vegetal, utilizada para a produção de energia. A formação da biomassa e a obtenção de energia pelos seres vivos só é possível graças à presença de energia solar, participante indispensável do processo de fotossíntese.

Para que você compreenda como a energia da biomassa é aproveitada, é preciso que saiba o que é a fotossíntese. Portanto, vamos lembrar como ocorre esse processo biológico.

A fotossíntese, de forma simplificada, acontece em nível celular nos seres clorofilados (plantas e algas) que absorvem seiva bruta (água e sais minerais) obtidos por absorção do solo e a envia por meio de vasos condutores até as folhas, que têm estruturas denominadas estômatos, pelo qual entra o gás carbônico e os cloroplastos que estão dentro das células e contêm em seu interior

um pigmento denominado clorofila. A combinação entre o gás carbônico e a seiva bruta na presença de radiação solar (absorvida pela clorofila) gera glicose, água e oxigênio.

A glicose é um carboidrato utilizado como fonte imediata de energia para que a planta realize seus processos vitais e pode ainda ser convertida em outras moléculas orgânicas energéticas que ficarão armazenadas em algumas partes da planta e poderão ser disponibilizadas na cadeia alimentar.



Assimile

Podemos dizer que a fotossíntese é um processo em que a energia luminosa é transformada em energia química. Essa energia química acumulada nas plantas pode ser aproveitada pelo homem como fonte de combustível e geração de energia elétrica.

A biomassa pode ser aproveitada diretamente por meio de combustão em fornos e caldeiras, por processos termoquímicos (gaseificação e pirólise, por exemplo) ou por processos biológicos (fermentação anaeróbia).

Gaseificação e pirólise são processos de conversão termoquímica da biomassa, ou seja, utiliza-se a combustão para converter a energia química armazenada na biomassa em calor. Na gaseificação, ocorre a combustão incompleta dos biocombustíveis e matérias-primas oriundas da biomassa, devido ao baixo fornecimento de comburente no processo. Como resultado dessa combustão parcial é produzido um gás que apresenta componentes, como metano, hidrogênio e monóxido de carbono.

Na pirólise, fornece-se pouco ou nenhum oxigênio (comburente) para o processo de combustão e como resultado, formam-se produtos líquidos (óleo pirolítico), sólidos (carvão vegetal) e gasosos (gás pirolítico).



Exemplificando

O processo de pirólise também pode ser empregado para o tratamento e a destinação final de resíduos sólidos urbanos, por exemplo.

Nesse caso, o processo de pirólise envolve a inserção do resíduo em tambores rotativos que, lentamente, realizam a combustão do material, tendo como resultado, a produção de biogás, que pode ser utilizado como fonte energética.

A fermentação anaeróbia consiste em utilizar microrganismos fermentadores, na ausência de oxigênio, para gerar biogás e biofertilizantes. Um dos empregos mais difundidos desse processo ocorre com os biodigestores anaeróbios, que detalharemos um pouco mais adiante, ainda nesta seção.

De acordo com as características dos biocombustíveis que gera, a biomassa pode ser classificada em florestal, da agricultura ou de resíduos urbanos.

A biomassa florestal gera os biocombustíveis lenhosos, que podem ser sólidos, líquidos ou gasosos. Os sólidos utilizam lenha e carvão vegetal para combustão direta, destinada à geração de calor em fogões à lenha e caldeiras. Os combustíveis lenhosos líquidos, entre eles o licor negro, o etanol e o óleo pirolítico são utilizados no funcionamento de motores de veículos e os combustíveis lenhosos gasosos, a exemplo do gás pirolítico, empregados em fornos industriais e incineradores.

Os agrocombustíveis são originados da biomassa de cultivos e subprodutos agrícolas e agroindustriais, destinados à produção de biocombustíveis, como é o caso do bagaço da cana-de-açúcar, casca de arroz, palha de milho, soja, semente de girassol, entre outros.

A cana-de-açúcar é uma das principais fontes de energia renovável utilizada no Brasil. Dela origina-se o etanol, combustível para motores do ciclo Otto; além do bagaço e da palha, aproveitados na cogeração de energia elétrica. Destaca-se também que o advento da mecanização da lavoura tem contribuído para uma maior disponibilização da palha para aproveitamento energético, visto que anteriormente, esse material era queimado antes da colheita manual (VILLELA; FREITAS; ROSA, 2015).

O Brasil se destaca entre os países produtores de agrocombustíveis, especialmente em função de ser o líder na produção de cana-de-

açúcar, matéria-prima para a fabricação do etanol, e em decorrência da produção de diesel a partir de óleos vegetais.

Os óleos vegetais são utilizados nos motores a diesel, após a sua conversão em biodiesel, que tem como objetivo reduzir a viscosidade do fluido para não danificar o motor. No entanto, o óleo in natura também pode ser utilizado como energético, especialmente na queima em usinas termelétricas, em substituição aos combustíveis fósseis empregados para essa finalidade (VILLELA; FREITAS; ROSA, 2015).

Os biocombustíveis de resíduos urbanos incluem os resíduos sólidos gerados nas cidades, os gases de aterros sanitários (em especial o metano) e os lodos das estações de tratamento de esgoto.

Uma das aplicações da biomassa como fonte para a geração de energia é a produção de vapores em caldeiras. O mecanismo consiste na queima de biocombustíveis ou diretamente da biomassa, com o objetivo de fornecer calor para o aquecimento da água até que ela entre em ebulição.

A utilização do vapor de água em processos industriais não é recente. No século XVIII, o mundo experimentou o início de uma Revolução Industrial, que teve a Inglaterra como berço. Nesse período, houve a substituição em grande escala do trabalho artesanal pelo uso de máquinas e o desenvolvimento da locomotiva a vapor.

O princípio de utilização das caldeiras não sofreu grandes alterações desde seu desenvolvimento para os dias atuais, no entanto, houve uma modernização dos equipamentos. De acordo com a forma como são construídas, as caldeiras podem ser classificadas em aquatubular e flamotubulares.

Nas caldeiras aquatubulares ocorre a passagem de água no interior de tubulações, que estão envoltas por gases quentes. A ebulição da água e conseqüente geração de vapor ocorre pela transferência de calor dos gases para a água.

Nessa caldeira, podemos encontrar os seguintes componentes:

- Câmara de combustão: local em que ocorre a queima de combustíveis e a geração dos gases quentes.
- Tubos: local de circulação da água que será aquecida pelos gases.
- Coletores: local de coleta de água ou vapor.

- Tubulão: tambor horizontal que fica no topo do corpo da caldeira no qual se conectam os tubos coletores.
- Superaquecedor: conjunto de serpentinas que aquecem o vapor de água saturado.
- Pré-aquecedor de ar: aquece o ar de alimentação das chamas.
- Economizador: aproveita os gases residuais da combustão para um pré-aquecimento da água (antes de passar pelo tubulão), visando economia de energia.
- Alvenaria (refratário): revestimento interno da parede das caldeiras, com material resistente a altas temperaturas.
- Ventiladores: forçam a saída do ar de combustão até as câmaras de combustão e o ar das câmaras de combustão até a chaminé.
- Chaminé: conduz os gases de combustão para a atmosfera.
- Válvulas de segurança: permitem a saída do vapor em casos de aumento da pressão dentro do equipamento, ultrapassando o limite permitido.

As caldeiras flamotubulares são formadas por uma série de tubulações, dentro das quais passam gases quentes. O entorno das tubulações é preenchido pela água que será aquecida pelo calor dos gases e, conseqüentemente, sofrerá ebulição, passando para o estado gasoso.

Existem diversos tipos de caldeiras tubulares: tubos verticais, tubos horizontais (podendo ser do tipo cornuália, Lancaster), multitubulares de fornalha interna, multitubulares de fornalha externa, locomóvel e escocesas.

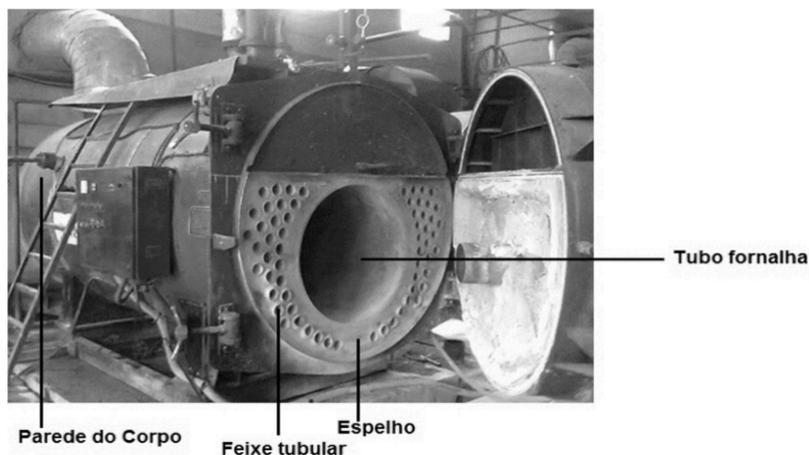
Nos limitaremos, nesta seção, a descrever a estrutura de uma caldeira típica, que apresenta basicamente as seguintes partes:

- Corpo: é feito de aço carbono e consiste na estrutura na qual estão organizadas as demais partes.
- Espelho: estrutura que se encaixa no corpo da caldeira e possui perfurações por onde passam os feixes tubulares.
- Feixes tubulares (ou tubos de fogos): tubos que absorvem os calores dos gases para o aquecimento da água.
- Caixa de fumaça: local de reversão dos gases para passarem novamente pelos feixes tubulares.

- Tubo fornalha: local em que o combustível será queimado.

Comparadas às caldeiras aquatubulares, as caldeiras flamotubulares apresentam custo de aquisição mais baixos, porém, têm capacidade limitada, com baixo rendimento térmico, limitação de pressão de operação, partida lenta e baixa taxa de vaporização, sendo mais recomendadas para pequenas capacidades ou quando não se exige que o vapor saturado tenha alta pressão.

Figura 2.4 | Estrutura de uma caldeira típica



Fonte: Adaptada de: <<https://goo.gl/8YeEzu>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

Além da geração de energia para o aquecimento de água em caldeiras, a biomassa pode ser utilizada para a geração de biogás e biofertilizante, por meio do processo de biodigestão.

A biodigestão é um processo em que a biomassa de origem vegetal ou animal (como dejetos, por exemplo), sofre decomposição por bactérias anaeróbicas (que realizam esse processo vital na ausência de oxigênio), gerando biogás e biofertilizante.

Os biodigestores são os equipamentos nos quais ocorre a biodigestão da matéria orgânica. Existem diversos tipos disponíveis no mercado, dentre os quais destacam-se o modelo indiano, o chinês e a batelada, usualmente empregados nas propriedades rurais.

Basicamente, um biodigestor é uma câmara fechada, na qual o material orgânico a ser decomposto é inserido (diluído). Ele é formado por tubulações (para inserção da matéria orgânica e coleta do biogás), local de armazenamento do biogás, câmara para armazenamento e retirada do biofertilizante e gasômetro.

Para o dimensionamento de biodigestores, inicialmente deve-se levar em consideração se é uma das finalidades o aproveitamento ou não do biogás gerado. Um outro ponto a ser considerado é a produção diária (em litros) dos dejetos que abastecerão o biodigestor, além das características desse material, como os sólidos totais presentes, a quantidade de fósforo e de potássio.

É interessante levar em consideração que os dejetos de animais são matérias orgânicas ricas em nitrogênio e fósforo e quando despejados em grandes quantidades em corpos hídricos, podem desencadear danos ambientais, com mortandade de organismos aquáticos. Esse problema pode ser parcialmente evitado com o uso da biodigestão, que também pode fornecer biofertilizante, promovendo uma economia com custos de fertilização do solo e o aproveitamento do biogás.

O biogás gerado, formado em sua maior parte por metano, pode ser utilizado nos fogões, para o preparo de alimentos e no abastecimento de veículos. O Brasil possui tecnologia para o aproveitamento do metano (biometano) em automóveis, que está regulamentado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), desde 2015, apesar de ainda não ser oferecido nos postos de combustíveis.



Pesquise mais

Interessou-se pela biodigestão anaeróbia? Esse processo, que ocorre de forma natural pela ação de microrganismos sobre a matéria orgânica, tem auxiliado o homem no melhor aproveitamento energético contido nos dejetos de animais que seriam simplesmente eliminados no ambiente.

Para saber mais informações sobre os biodigestores rurais nos modelos indiano, chinês e batelada, acesse o link a seguir e leia

o artigo *Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada* (DEGANUTTI et al., 2008).

Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzev02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2017.

Os benefícios econômicos, sociais e ambientais da utilização da energia de biomassa a torna uma alternativa viável para a substituição parcial dos combustíveis fósseis. Entre benefícios econômicos e sociais, destacam-se a criação de empregos para a população, a geração de receita para os municípios e a independência energética, já que a energia pode ser produzida regionalmente.

Também destaca-se que a parcialidade na substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis decorre do fato de que em algum momento na produção e transporte de biocombustíveis, poderá ser empregado um derivado de petróleo, por exemplo, e a sua vantagem reside principalmente na possibilidade de economia de combustível fóssil.

Quanto aos benefícios ambientais, é importante mencionar a redução da emissão para a atmosfera de óxido de enxofre, hidrocarbonetos, monóxido de carbono e dióxido de carbono, ocasionado pela queima de combustíveis fósseis; a possibilidade de reciclagem de resíduos orgânicos e o uso de biomassa florestal proveniente de reflorestamento.

A grande área territorial e as condições climáticas favoráveis tornam o Brasil um país com excelente potencial para o aproveitamento energético da biomassa em larga escala, seja na produção de álcool, nas caldeiras industriais ou no setor de geração de energia elétrica.

A energia de biomassa é a terceira fonte de energia mais explorada no Brasil, perdendo apenas para a hidroeletricidade e os combustíveis fósseis. Com relação à bioeletricidade, em 2016 o setor sucroenergético sozinho deteve 7% da potência outorgada no país, perdendo para as hidrelétricas e termelétricas (SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2016).

Segundo a União da indústria de cana-de-açúcar (2007), projeta-se que o Brasil colherá, em 2020, cerca de um bilhão de toneladas de cana-de-açúcar, o que representaria um aumento para 10% na participação da bioeletricidade na matriz energética brasileira.



Refleta

Você acredita ser possível que a participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira supere os combustíveis fósseis? Quando foi a última vez que você utilizou etanol como combustível em um veículo? Reflita sobre o assunto!

Sem medo de errar

Você está elaborando um laudo técnico para apresentar a um produtor rural interessado em explorar energias alternativas em sua propriedade, entre elas, a solar, a eólica e a biomassa.

No início desta seção, você foi inserido em uma situação em que um produtor rural manifestou interesse em construir um biodigestor em sua propriedade, aproveitando os dejetos de suínos e bovinos. Sem conhecimento técnico para avaliar se essa seria uma boa ideia, você foi questionado sobre a viabilidade da construção do equipamento.

Foi solicitado que você ressaltasse em seu laudo os aspectos técnicos que precisam ser considerados para a concepção do projeto de um biodigestor na propriedade e as vantagens que o produtor rural teria ao adotar a utilização de um biodigestor.

Para apresentar uma resposta ao agricultor, é importante, inicialmente, que ele compreenda que a biodigestão é um processo em que a biomassa de origem vegetal ou animal (como os dejetos que são produzidos na fazenda) sofre decomposição por bactérias anaeróbicas (que realizam esse processo vital na ausência de oxigênio), gerando biogás e biofertilizante.

Para que se realize o processo de biodigestão em sua propriedade, ele deverá, inicialmente, construir um biodigestor, que consiste em um equipamento no qual ocorrerá a biodigestão da matéria orgânica.

Genericamente, um biodigestor é uma câmara fechada na qual o material orgânico a ser decomposto é inserido (diluído). Ele é formado por tubulações (para inserção da matéria orgânica e coleta do biogás), local de armazenamento do biogás, câmara para armazenamento e retirada do biofertilizante e gasômetro.

Nem sempre é desejo de um agricultor que almeja a construção de um biodigestor o aproveitamento do biogás, já que, além dele, também é produzido um biofertilizante que, aplicado ao solo, atua na fertilização com nutrientes importantes para o desenvolvimento vegetal, como o nitrogênio, o fósforo e o potássio.

Por isso, antes da construção de um biodigestor, é importante que o agricultor informe na etapa do projeto se deseja aproveitar ou não o biogás, que pode ser utilizado, por exemplo, nos fogões, para a cocção de alimentos. Existe também a opção de abastecimento de veículos automotores, que comportam esse tipo de combustível. As informações sobre os usos do biogás produzido são de suma importância para o agricultor que deseja ter um biodigestor, visto que, por falta de conhecimento, poderá desperdiçar uma fonte energética.

Um outro ponto a ser considerado na concepção dos projetos de biodigestores é a produção diária (em litros) dos dejetos que abastecerão o biodigestor, além das características desse material, como os sólidos totais presentes, a quantidade de fósforo e potássio. Por isso, é importante orientar o produtor rural sobre a importância de realizar essas análises, já que essas características podem influir no biogás e biofertilizantes formados.

É interessante orientar o produtor rural de que os dejetos dos animais criados na fazenda são matérias orgânicas ricas em nitrogênio e fósforo, que quando despejados em grandes quantidades em corpos hídricos, podem desencadear danos ambientais, com mortandade de organismos aquáticos. Esse problema pode ser evitado em partes, com o uso da biodigestão, que também pode fornecer biofertilizante e biogás, promovendo uma economia com custos de fertilização do solo e gastos com energia.

Pensando em um projeto de caldeira

Descrição da situação-problema

As caldeiras são equipamentos utilizados para a ebulição da água e geração de vapor. Sua utilização se dá em indústrias de vários segmentos: alimentícias, de cosméticos, de construção civil, farmacêutica, entre outras.

Nesse contexto, você foi contratado para participar da elaboração de um projeto de instalação de uma caldeira utilizada para tingimento de tecido em uma indústria têxtil de grande porte. A sua atribuição na elaboração do projeto é escrever os seguintes itens:

- Entre a utilização de uma caldeira aquatubular e uma caldeira flamotubular, qual você recomendaria? Por quê?
- Qual é o princípio de funcionamento da caldeira indicada por você?
- Você recomendaria o uso de biomassa para a geração de energia na caldeira? Por quê?

Resolução da situação-problema

Para desenvolver a sua parte do projeto, inicialmente, deve-se levar em consideração as diferenças entre os dois tipos de caldeiras mencionadas como opção de instalação. As caldeiras aquatubulares são mais caras, no entanto, têm maior capacidade e rendimento térmico.

As caldeiras flamotubulares apresentam custo de aquisição mais baixos, porém, têm capacidade limitada, com baixo rendimento térmico, limitação de pressão de operação, partida lenta e baixa taxa de vaporização, sendo mais recomendadas para pequenas capacidades ou quando não se exige que o vapor saturado tenha alta pressão. Nesse caso, as caldeiras aquatubulares seriam as mais indicadas.

O mecanismo de funcionamento das caldeiras consiste na queima de biocombustíveis ou diretamente da biomassa, com o objetivo de fornecer calor para o aquecimento da água até que ela entre em ebulição.

No caso da caldeira indicada, ocorre a passagem de água no interior de tubulações, que estão envoltas por gases quentes. A ebulição da água e conseqüente geração de vapor ocorre pela transferência de calor dos gases para a água.

O uso de biomassa para a queima em caldeiras é indicado, visto que se comparado aos combustíveis fósseis, há uma redução da emissão de materiais particulados, óxido de enxofre, hidrocarbonetos, monóxido de carbono e dióxido de carbono para a atmosfera.

Esses são alguns pontos básicos que devem ser incluídos em sua parte do projeto, no entanto, é importante que outras informações complementares sejam inseridas para enriquecer o seu trabalho.

Faça valer a pena

1. A biomassa pode ser utilizada para a obtenção de energia por meio de processos termoquímicos, com uso de pouco ou nenhum oxigênio na combustão e, como resultado, formam-se produtos líquidos, sólidos e gasosos.

O texto menciona o processo de:

- a) Gaseificação.
- b) Pirólise.
- c) Decomposição.
- d) Biodigestão.
- e) Fermentação.

2. Um problema que afeta a maioria das propriedades rurais produtoras de suínos, aves e bovinos é a destinação de carcaças de animais que morrem por causas rotineiras ou catastróficas. A preocupação se deve especialmente à falta de uma regulamentação específica para a remoção e destinação que atenda os aspectos sanitários, ambientais e econômicos. Para auxiliar produtores e órgãos regulamentadores, a Embrapa Suínos e Aves (SC) tem atuado na avaliação de algumas práticas e tecnologias apontadas como rotas tecnológicas, como a compostagem acelerada, a biodigestão anaeróbia, a desidratação, a incineração e a reciclagem industrial de carcaças (rendering) para a produção de farinhas, gorduras, fertilizantes e outros coprodutos de valor agregado.

Fonte: <<http://sfagro.uol.com.br/projeto-definira-melhores-estrategias-para-destinacao-de-animais-mortos/>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

A biodigestão anaeróbia é citada na matéria como uma das alternativas

para auxiliar os produtores rurais na destinação da carcaça de animais mortos, confirmando a importância ambiental e sanitária do processo.

A respeito da biodigestão, analise as afirmativas a seguir:

I. Apesar de apresentar benefícios ambientais, como a redução da emissão de gases do efeito estufa, o biogás (biometano) proveniente da biodigestão ainda não é utilizado no Brasil.

II. A biodigestão anaeróbia ocorre no interior de um biodigestor, que consiste em uma câmara fechada na qual o material orgânico a ser decomposto é inserido diluído.

III. Para que a biodigestão ocorra, é necessário que o material orgânico a ser inserido esteja isento de qualquer tipo de microrganismo, ou seja, o meio precisa estar estéril.

Após a análise das afirmativas, marque a alternativa que apresenta a resposta correta:

- a) Apenas as afirmativas I e II estão corretas.
- b) Apenas a afirmativa I está correta.
- c) Apenas a afirmativa II está correta.
- d) Apenas as afirmativas II e III estão corretas.
- e) Apenas a afirmativa III está correta.

3. As caldeiras são utilizadas para o aquecimento de água a partir da queima de um combustível e, conseqüente formação de vapor, que é aproveitado em processos industriais. Existem alguns tipos de caldeiras disponíveis no mercado, entre elas as aquatubulares e as flamotubulares. A respeito desses dois tipos de caldeiras, marque (V) para verdadeiro e (F) para falso nas assertivas a seguir.

I. () Nas caldeiras flamotubulares, os gases quentes passam no interior de tubulações e o entorno das tubulações é preenchido pela água que será aquecida pelo calor dos gases.

II. () Comparadas às caldeiras aquotubulares, as caldeiras flamotubulares apresentam custo de aquisição mais baixos.

III. () Comparadas às caldeiras aquotubulares, as flamotubulares possuem capacidade limitada, com baixo rendimento térmico, sendo mais recomendadas para pequenas capacidades ou quando não se exige que o vapor saturado tenha alta pressão.

Após a análise das assertivas, marque a alternativa que apresenta a ordem correta de verdadeiro (V) ou falso (F):

- a) V – V – V.
- b) F – F – V.
- c) V – V – F.
- d) F – V – V.
- e) F – F – F.

Referências

ÁLVAREZ, Juan José Pérez. **Aproveitamento de energia termo solar**. 17. ed. Ilha Solteira: Unesp, 2015.

AMARANTE, Odilon A. Camargo do et al. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília: Cresesb, 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2017.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: Aneel, 2005.

_____. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

BARBOSA, Vanessa. O vento soprou forte para eólica no Brasil em 2016: país adicionou mais 2 GW de energia eólica em 81 novos parques, mas vigor do setor pode estar em risco. **Exame.com**, São Paulo, maio 2017. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/economia/o-vento-soprou-forte-para-eolica-no-brasil-em-2016/>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 462, de 24 de julho de 2014. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre, altera o art. 1º da Resolução CONAMA nº 279, de 27 de julho de 2001, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 25 jul. 2014. p. 96.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2004.

DEGANUTTI, Roberto et al. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. Bauru: Unesp, 2008.

DUTRA, Ricardo (Org.). **Energia eólica: princípios e tecnologia**. Rio de Janeiro: Cresesb, 2000. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2017.

FADIGAS, Elaine A. Faria Amaral. **Energia eólica**. Barueri: Manole, 2011.

NÚCLEO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS DE ENERGIA. **Energia eólica no Brasil e no mundo**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2014.

_____. **Energia solar no Brasil e no mundo: ano base 2015**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2016.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: Swera, 2006.

PHILIPPI JÚNIOR, Arlindo; REIS, Lineu Belico dos (Ed.). **Energia e sustentabilidade**. Barueri: Manole, 2016. 19 v. (Coleção ambiental).

PORTAL BRASIL. Brasil é o quarto país em que energia eólica mais cresce no mundo. **Exame**, São Paulo, v. 1, jan. 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/01/brasil-e-um-dos-principais-geradores-de-energia-eolica-do-mundo>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

PROJETO VAI DEFINIR ESTRATÉGIAS PARA DESTINAÇÃO DE ANIMAIS MORTOS. **SF Agro**, São Paulo, mar. 2017. Disponível em: <<http://sfagro.uol.com.br/projeto-definira-melhores-estrategias-para-destinacao-de-animais-mortos/>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

RASHID, Muhammad H. **Eletrônica de potência**: dispositivos, circuitos e aplicações. 4. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. 2. ed. Barueri: Manole, 2011.

REIS, Lineu Belico dos; SANTOS, Eldis Camargo. **Energia elétrica e sustentabilidade**: Aspectos tecnológicos, socioambientais e legais. 2. ed. Barueri: Manole, 2014.

SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Biomassa representa 8,8% da matriz elétrica do Brasil**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/2016/07/biomassa-representa-88-da-matriz-eletrica-do-brasil/>>. Acesso em: 16 maio 2017.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (Coord.). **Energia renovável**: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (Unica). **Perspectivas para o setor sucroalcooleiro no Brasil**. São Paulo: Unica, 2007.

VILLELA, Alberto A.; FREITAS, Marcos A. V.; ROSA, Luiz Pinguelli. **O uso de energia de biomassa no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

Energia hidráulica e gaseificação

Convite ao estudo

Nas Unidades 1 e 2, você teve a oportunidade de conhecer alguns aspectos da matriz energética brasileira e das fontes de energia que a compõem. Aprendeu sobre as características da exploração da energia solar, eólica e de biomassa e refletiu sobre os aspectos econômicos e socioambientais que permeiam as discussões sobre a viabilidade do uso dessas fontes alternativas de energia. Agora, chegou a vez de tratarmos sobre alguns dispositivos que exploram a energia hidráulica (carneiros hidráulicos e rodas d'água) e sobre o processo de gaseificação.

O Brasil é um país privilegiado com abundância de disponibilidade de recursos hídricos, mantendo-se em uma situação confortável em relação a outros países do mundo. No entanto, existe uma desigualdade na distribuição desse recurso pelo território nacional. De acordo com o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos "passam pelo território brasileiro, em média, cerca de 260.000 m³/s de água, dos quais 205.000 m³/s estão localizados na bacia do rio Amazonas, restando para as demais parcelas do território 55.000 m³/s de vazão média" (ANA, 2016, p. 23).



Quanto menor a qualidade da água disponível, mais oneroso o seu tratamento e distribuição para a população, já que além dos gastos com produtos químicos e pessoal, há também o gasto com energia elétrica que ocorre ao longo

das diversas etapas do tratamento e que é perdida ao longo do processo. Parte desse consumo de energia é atribuído ao funcionamento das bombas de água.

Nesse contexto, torna-se necessária a adoção de medidas que viabilizem a captação e o reúso de água de forma a atender aos requisitos de sustentabilidade, aliando os diferentes usos da água com medidas para minimizar os gastos com energia elétrica decorrente de sua captação. Os carneiros hidráulicos e as rodas d'água são alternativas atrativas nesse sentido.

Além disso, a força das águas é fonte para a geração de energia elétrica. Embora grande parte da energia hidráulica gerada no país seja atribuída às grandes hidrelétricas, as rodas d'água e as microcentrais hidroelétricas também podem ser utilizadas com essa finalidade e são alternativas promissoras em propriedades rurais e pequenas comunidades.

Quanto à gaseificação, você teve a oportunidade de conhecer alguns aspectos desse processo na Unidade 2, quando estudamos a exploração da energia de biomassa. Trata-se da conversão termoquímica de um sólido ou líquido em um produto gasoso. Nesta unidade, você poderá aprofundar os seus estudos sobre a gaseificação, conhecendo os processos e os equipamentos empregados para essa finalidade. Além disso, você também estudará nesta unidade: os princípios de funcionamento e aplicações do carneiro hidráulico e da roda d'água, além das características, funcionamento, projeto e aspectos ambientais das microcentrais hidroelétricas.

Com a finalidade de aplicar o conhecimento adquirido nesta unidade, apresentamos o seguinte contexto: você foi convidado para realizar o projeto de construção de equipamentos para a exploração de fontes de energias alternativas em outra grande propriedade rural, produtora de madeiras de reflorestamento e que também conta com uma fábrica de móveis. Nessa propriedade rural, que é margeada por um rio, residem algumas famílias de empregados em

casas espalhadas pela fazenda, além do seu proprietário. Em tempos de crise, o produtor rural manifesta bastante preocupação com relação à sua conta de energia, que tem ultrapassado o valor habitual e se tornado um obstáculo para a manutenção da propriedade e da fábrica de móveis. Visando minimizar os gastos, ele deseja obter informações sobre a viabilidade de aproveitamento dos recursos naturais de sua propriedade na redução da utilização da energia fornecida pela concessionária. Para a realização desse projeto, você deverá cumprir três etapas, que serão trabalhadas uma por seção, mediante as situações-problema apresentadas no decorrer desta unidade. Você deverá responder questões, tais como: o produtor rural poderia fazer o uso de roda d'água para reduzir o custo com energia elétrica? Que fatores devem ser observados para verificar a viabilidade do uso desse dispositivo? No caso das microcentrais hidroelétricas (MCH), que estudos prévios são necessários para atestar a viabilidade de sua construção na propriedade em questão? Quais são as etapas do projeto de uma MCH? Levando em consideração os recursos naturais disponíveis na fazenda, você poderia propor a construção de um gaseificador? Como você explicaria o processo de gaseificação e justificaria sua viabilidade ao proprietário?

Esperamos que esses assuntos despertem a sua curiosidade para buscar por outras fontes de informação para aprofundar o seu conhecimento sobre o tema.

Bons estudos!

Seção 3.1

Carneiro hidráulico e roda d'água

Diálogo aberto

Os benefícios econômicos e ambientais decorrentes da utilização de fontes de energia alternativas têm sido atrativos para alguns setores da economia, principalmente aqueles envolvidos na produção de bens.

Nesse sentido, temos a seguinte situação: você foi convidado para realizar um projeto de construção de equipamentos para a exploração de fontes de energia alternativas em outra grande propriedade rural, produtora de madeiras de reflorestamento e que também conta com uma fábrica de móveis. Nessa propriedade rural, que é margeada por um rio, residem algumas famílias de empregados em casas espalhadas pela fazenda, além do seu proprietário. Em tempos de crise, o produtor rural manifesta bastante preocupação com relação à sua conta de energia, que tem ultrapassado o valor habitual e se tornado um obstáculo para a manutenção da propriedade e da fábrica de móveis. Visando minimizar os gastos, ele deseja obter informações sobre a viabilidade de aproveitamento dos recursos naturais de sua propriedade na redução da utilização da energia fornecida pela concessionária. Para a realização desse projeto, você deverá dividi-lo em três etapas, que serão trabalhadas uma por seção, mediante as situações-problema apresentadas no decorrer desta unidade.

Para a realização da primeira parte de seu projeto, você deverá propor uma possível forma de reduzir os custos com energia elétrica na propriedade em questão por meio da utilização de rodas d'água. Para tanto, foi necessário obter algumas informações adicionais sobre a propriedade, como a disponibilidade de água na região. O proprietário lhe informou que o rio que corta a propriedade apresenta baixo desnível e que sua água está imprópria para consumo. Nessa situação, o proprietário poderia fazer uso desse dispositivo? Que fatores você deve analisar na fazenda para verificar a viabilidade da instalação de uma roda d'água?

Essas informações devem constar na primeira parte do projeto

que será apresentado ao produtor rural e para responder a essas questões, você deverá recorrer aos assuntos a serem abordados nesta seção, enfatizando o princípio de funcionamento e as aplicações das rodas d'água. É importante que você amplie o seu universo de pesquisas buscando informações adicionais que deem condições para melhor fundamentar o seu projeto.

Bom trabalho!

Não pode faltar

Você sabia que o carneiro hidráulico é um dispositivo de bombeamento de água inventado em 1796? Inicialmente, tratava-se de um equipamento com funcionamento manual, que posteriormente foi automatizado.

O seu nome é uma relação entre o barulho feito pelos golpes que o animal carneiro profere com a cabeça e o barulho da bomba em funcionamento, que também realiza um golpe quando o escoamento de água pela tubulação, devido à gravidade, sofre uma interrupção brusca, originando o chamado "golpe de aríete". Devido a esse fenômeno, o carneiro hidráulico também pode ser chamado de bomba de aríete.

Em síntese, o carneiro hidráulico ou bomba de aríete, é um dispositivo mecânico utilizado para o bombeamento de água utilizando o golpe de aríete e a própria força da gravidade para gerar uma pressão que eleva a água de um nível mais baixo a um nível mais alto, sem a necessidade do uso de eletricidade ou combustível.

O carneiro hidráulico pode ser fabricado industrialmente ou ser construído com diversos tipos de materiais, representando um equipamento simples e de baixo custo. Entre os seus componentes principais, destacam-se:

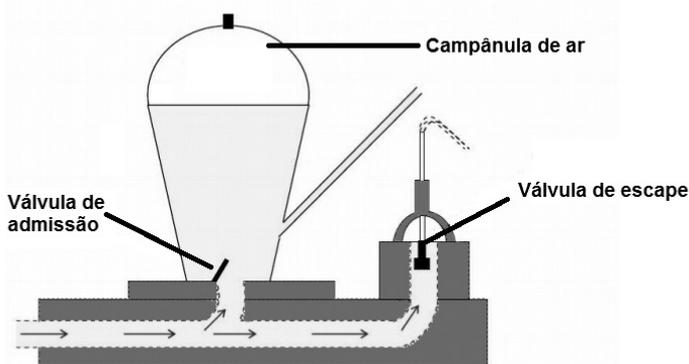
- **Tubo de impulso:** cano por onde a água do manancial é coletada.
- **Válvula de desperdício:** seu fechamento gera o "golpe de aríete", forçando a abertura da válvula de entrega.
- **Válvula de entrega:** local de passagem da água do tubo de impulso para a câmara de compressão do ar.

um fluxo de água dentro de uma tubulação é interrompido. Um exemplo prático para entender esse fenômeno ocorre quando interrompemos o fluxo de água em uma mangueira de jardim utilizando o dedo. Devido ao aumento de pressão, é possível, inclusive, perceber o movimento da mangueira.

À medida que a água avança contra a gravidade para chegar ao tubo de saída, ela desacelera em decorrência da atuação de uma força contrária ao seu movimento, fechando a válvula de entrada. Com a válvula de entrada fechada, a água que passa pelo tubo de impulso diminui a velocidade de seu fluxo e a válvula de desperdício reabre para aumentar a pressão da água. Assim, o ciclo se inicia novamente.

A estrutura de um carneiro hidráulico comercial pode ser um pouco diferente, apesar do princípio de funcionamento ser o mesmo. A seguir, será representado um esquema do carneiro hidráulico comercial (Figura 3.2).

Figura 3.2 | Esquema do carneiro hidráulico comercial e suas respectivas partes



Fonte: <<https://goo.gl/tMwBnS>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

Para a proposição de um projeto de instalação de carneiro hidráulico, é necessário saber se a vazão da queda d'água é suficiente para o funcionamento do equipamento; determinar o diâmetro do tubo de alimentação e do tubo de bombeamento; estimar o consumo de água que deverá ser bombeado e o rendimento do equipamento. Os carneiros hidráulicos fabricados têm os tamanhos definidos em função dos diâmetros de entrada e saída. Para saber

qual é o tamanho mais indicado para a finalidade que se deseja, deve-se pesquisá-lo nas tabelas fornecidas pelos fabricantes.

No que se refere à aplicação dos carneiros hidráulicos, eles podem ser utilizados em propriedades rurais para finalidades, como irrigação, dessedentação de animais e abastecimento das residências. Yamaushi et al. (2014) apresentam uma alternativa para a utilização dos carneiros hidráulicos na construção civil e destacam a viabilidade financeira e a eficácia da utilização do equipamento para conversão da água da chuva até os reservatórios de habitações.

É importante destacar que o uso do carneiro hidráulico apresenta vantagens e desvantagens, que precisam ser analisadas antes de sua instalação. Entre as vantagens, destacam-se o fácil manejo, a independência do uso de energia elétrica e combustíveis para o seu funcionamento; o baixo custo de aquisição do equipamento, podendo, inclusive, ser construído com materiais de fácil acesso; o seu funcionamento contínuo (uma vez instalado ele trabalha 24 h); apresenta rendimento relativamente elevado. Como desvantagens, pode-se citar o ruído produzido pelo golpe de aríete, a influência das condições locais na eficiência do equipamento, a necessidade de utilização de água limpa e apenas uma fração da vazão disponível é recalçada.



Pesquise mais

Você pode conhecer mais sobre o princípio de funcionamento da roda d'água e do carneiro hidráulico, bem como outros assuntos relacionados à hidráulica, lendo a obra "Série energias renováveis, hidráulica", organizada por Geraldo Lúcio Tiago Filho (2007).

Disponível em: <<http://cerpch.unifei.edu.br/wp-content/uploads/cartilhas/cartilhas-energias-renovaveis-hidraulica.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

Além do carneiro hidráulico, um outro dispositivo hidráulico de interesse é a roda d'água. Você sabia que o emprego das rodas d'água é ainda mais antigo do que o uso do carneiro hidráulico? Dados dão conta de que as rodas d'água são utilizadas há mais de 2000 anos, principalmente na agricultura, para a realização de irrigação

e outros trabalhos. Atualmente, elas têm ganhado destaque como uma alternativa para a geração de eletricidade.



Exemplificando

As rodas d'água produzem um trabalho a partir do fluxo de água, que pode ser uma pequena queda com pequena vazão de água. Isso é exemplificado pelo princípio básico de seu funcionamento, que consiste na transformação de energia hidráulica em energia mecânica, cuja potência pode ser influenciada por fatores, como a altura da queda e a vazão do curso de água que, por sua vez, irão determinar a velocidade de passagem da água pelo dispositivo.

Um aspecto interessante sobre as rodas d'água é que elas podem funcionar com o próprio peso da água, apenas com a velocidade do fluxo da água ou com ambos os processos combinados. O tipo de funcionamento dependerá do local de admissão de água, que pode ser por cima (funcionando com o próprio peso da água), nas chamadas rodas d'água sobreaxial; ou por baixo (giram com a velocidade de fluxo), e nesse caso são denominadas subaxial.

Nas rodas d'água do tipo sobreaxial (Figura 3.3) a água é conduzida por uma tubulação ou por um canal até a porção superior do equipamento. Ao ser derramada, a água preenche as cubas, fazendo com que um dos lados da roda fique mais pesado, promovendo a sua rotação. Nesse modelo, a energia potencial da água é aproveitada, já que ela se desloca de um ponto mais alto para o mais baixo. Ao passar pela roda, a água cai em pequenos reservatórios construídos em torno dela.

Figura 3.3 | Fotografia de uma roda d'água sobreaxial



Fonte: <<https://goo.gl/PvhfU2>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

As rodas d'água do tipo subaxial são acionadas quando recebem um fluxo de água por baixo de seu eixo, já que suas aletas estão em contato direto com a água, aproveitando a energia cinética do curso de água. A estrutura de uma roda d'água subaxial pode ser visualizada na Figura 3.4.

Figura 3.4 | Fotografia de uma roda d'água subaxial



Fonte: <<https://goo.gl/n7LXKq>>. Acesso em: 10 ago. 2017.



Assimile

Tal como os carneiros hidráulicos, as rodas d'água são empregadas nas propriedades rurais como um sistema de captação de água de fácil construção e manutenção e isentas da necessidade de uso de combustíveis para o seu funcionamento. As rodas apresentam ainda a vantagem de viabilidade de construção em locais com pequeno desnível e a independência de água de boa qualidade para o seu acionamento, podendo essa, inclusive, ser imprópria para consumo humano.

Outra aplicação das rodas d'água é o seu emprego em sistemas hidrocinéticos para a produção de energia elétrica. Esses sistemas baseiam-se na utilização da própria velocidade do curso de água para a movimentação da roda d'água, que está conectada a um gerador que produz energia elétrica.

Deve-se levar em consideração que em decorrência da energia gerada pelo dispositivo estar intimamente relacionada com a velocidade com que a água passa pela roda d'água, pode ser necessário o uso de um sistema multiplicador de velocidade para que a demanda de energia seja satisfeita ou a escolha de um local em que haja velocidade promissora para a implantação do sistema.



Pesquise mais

As rodas d'água são dispositivos muito bons e promissores na geração de energia elétrica. Se interessou pelo tema? Conheça mais sobre as turbinas hidrocinéticas acessando o vídeo "Turbina hidrocinética capítulo 1", indicado a seguir.

Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=jYJ9VWLS-x4>>. Acesso em: 10 ago. 2017.



Reflita

Ao longo desta seção, você conheceu o funcionamento básico e algumas utilizações do carneiro hidráulico e da roda d'água. Refletindo sobre os usos e as condições de funcionamento dos

dois dispositivos, você conseguiria propor a implantação deles em algum local de sua cidade ou arredores? Que benefícios o uso desses dispositivos poderia trazer para a população? Reflita sobre o assunto.

Estamos chegando ao final desta primeira seção da unidade. Não deixe de reler o material, anotando os pontos principais e suas dúvidas; é importante que você busque por fontes de dados complementares, para aprofundamento da construção de seu conhecimento.

Bons estudos!

Sem medo de errar

Na situação proposta para esta seção, você deve elaborar um projeto para uma propriedade rural que tem uma pequena fábrica de móveis, cujo proprietário manifestou interesse em aproveitar os recursos naturais da propriedade para a geração de energia, com o objetivo de conseguir uma possível economia financeira. Esse projeto foi dividido em três partes, sendo o objetivo da primeira parte a proposta de uma possível forma de reduzir os custos com energia elétrica na propriedade em questão por meio da utilização de rodas d'água. O proprietário lhe informou que o rio que corta a propriedade apresenta baixo desnível e que sua água está imprópria para consumo. Nessa situação, você deveria saber dizer se o proprietário poderia fazer uso desse dispositivo nessas condições, além de analisar os fatores que atestassem a viabilidade da instalação de uma roda d'água.

Para a instalação de rodas d'água, inicialmente, deve-se ter disponível um curso de água, seja ele natural ou artificial, e dados sobre a vazão do curso d'água e altura da queda, caso ela exista. Existem rodas d'água sobreaxial e subaxial. Nas rodas d'água tipo sobreaxial, a água é conduzida por uma tubulação ou por um canal até a porção superior do equipamento e ao ser derramada faz com que um dos lados da roda fique mais pesado, promovendo a sua rotação. Nesse caso, é necessário que haja um desnível para que a roda gire, aproveitando a energia potencial da água.

Já nas rodas d'água do tipo subaxial, a água flui por baixo de seu eixo, já que suas aletas estão em contato direto com a água, aproveitando a energia cinética do curso de água. Esse seria o tipo mais indicado para a fazenda descrita, pois conforme descrito pelo proprietário, o rio que corta a propriedade apresenta um baixo desnível.

As rodas d'água em propriedades rurais podem ser utilizadas na captação de água para irrigação e abastecimento das casas, além de poderem ser utilizadas em sistemas hidrocinéticos, em que são acopladas a geradores, para o fornecimento de energia elétrica. Esses sistemas baseiam-se na utilização da própria velocidade do curso de água para a movimentação da roda d'água e geração da energia.

Com relação ao fato da água ser imprópria para consumo humano, uma das vantagens da utilização das rodas d'água para a geração de energia é justamente a independência de água de boa qualidade para que seja empregada na geração de energia e, portanto, esse não seria um impedimento para a instalação do dispositivo.

É importante salientar que a eficiência das rodas d'água na geração de energia elétrica em modelos hidrocinéticos depende da velocidade de rotação da roda d'água, fato que está intimamente ligado ao fluxo de água que passa pelo dispositivo e, portanto, esse é um fator que necessita ser conhecido antes da instalação da roda d'água com o objetivo de geração de energia elétrica.

Esses são alguns dos pontos principais que devem fazer parte dessa primeira etapa de seu projeto.



Pesquise mais

Não se esqueça de ir além e buscar por informações adicionais que complementem o que foi proposto até o momento. Para isso, sugerimos a leitura do artigo *Geração de energia, paisagismo e sustentabilidade*, de Lucas Pletsch Lazzarin e Gilmar de Oliveira Veloso (2015).

Disponível em: <<http://eventos.ifc.edu.br/wp-content/uploads/sites/5/2015/10/GERA%C3%87%C3%83O-DE-ENERGIA-PAISAGISMO-E-SUSTENTABILIDADE-2.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

Instalando um carneiro hidráulico

Descrição da situação-problema

Os carneiros hidráulicos são equipamentos utilizados há tempos pelo homem com a finalidade de captação de água. Você é um projetista que foi procurado pelo dono de uma pequena propriedade rural, interessado em realizar a captação de água de um córrego que corta a propriedade. Ele informou-lhe apenas que a finalidade da captação é o abastecimento de uma caixa de água que distribui a água captada para outras localidades da propriedade. Nesse caso, o que deve ser verificado no local para propor a viabilidade de uso de um carneiro hidráulico? Como eles funcionam? Quais são as vantagens e as desvantagens que esses dispositivos apresentam?

Resolução da situação-problema

Tanto as rodas d'água quanto os carneiros hidráulicos podem ser utilizados com a finalidade de captação de água em propriedades rurais, no entanto, no caso em questão, como nenhuma informação adicional além da finalidade do uso foi informada, torna-se necessário estudar alguns aspectos do corpo de água do qual se fará a captação. Entre esses aspectos é importante destacar: a distância do córrego até o local de armazenamento de água, a vazão do córrego e se existe queda, que poderia influir no fluxo de água. Só assim é que poderíamos verificar a viabilidade de instalação dos dispositivos.

No carneiro hidráulico, a água do manancial entra pelo tubo de impulso até que por força da pressão feche a válvula de desperdício, gerando o golpe de aríete, o que faz com que a água force a sua entrada pela válvula de entrega. Passando pela válvula de entrega, a água segue contra a gravidade, entrando pela câmara de compressão de ar, que pressiona a saída da água pela válvula de saída. Da válvula de saída, a água pode ser direcionada a um reservatório elevado. A altura em que a água será elevada, dependerá da pressão no interior da câmara de compressão de ar. À medida que a água avança contra a gravidade para chegar ao tubo de saída, ela desacelera em decorrência da atuação de uma força contrária ao seu movimento, fechando a válvula de entrada.

Com a válvula de entrada fechada, a água que passa pelo tubo de impulso diminui a velocidade de seu fluxo e a válvula de desperdício reabre para aumentar a pressão da água. Assim, o ciclo inicia-se novamente. Entre as vantagens do carneiro hidráulico, lista-se o fácil manejo, a independência do uso de energia elétrica e combustíveis para o seu funcionamento; o baixo custo de aquisição do equipamento, podendo, inclusive, ser construído com materiais de fácil acesso; o seu funcionamento contínuo (uma vez instalado ele trabalha 24h); e o rendimento relativamente elevado. Como desvantagens, pode-se citar o ruído produzido pelo golpe de aríete, a influência das condições locais na eficiência do equipamento, a necessidade de utilização de água limpa e apenas uma fração da vazão disponível é recalçada.

Faça valer a pena

1. O carneiro hidráulico é um dispositivo mecânico utilizado em propriedades rurais para o bombeamento de água de um nível mais baixo a um nível mais alto. Para isso, é utilizado o golpe de aríete e a própria força da gravidade para gerar uma pressão que eleva a água.

Em que consiste o golpe de aríete empregado no funcionamento do carneiro hidráulico?

- a) Consiste na interrupção brusca do escoamento de água por uma tubulação.
- b) Consiste na redução de pressão na válvula de entrada.
- c) Consiste no aumento do nível de água do corpo d'água de onde é bombeada.
- d) Consiste no aumento do escoamento de água no interior da tubulação.
- e) Consiste no fechamento das válvulas de refluxo.

2. Os carneiros hidráulicos podem ser utilizados na captação de água em propriedades rurais, com a finalidade de irrigação e abastecimento de caixas de água das residências. Independente do uso, alguns fatores devem ser levados em consideração antes da proposição de um projeto de instalação de carneiros hidráulicos. A respeito desse assunto, analise as assertivas a seguir:

- I. Uma das vantagens do uso do carneiro hidráulico é que não é necessária a existência de queda d'água para o seu funcionamento.
- II. Conhecer a vazão do corpo hídrico de onde a água será bombeada

é uma importante fase inicial do projeto de instalação de carneiros hidráulicos.

III. Ao se optar pela instalação de um carneiro hidráulico fabricado comercialmente, não é necessário realizar um projeto.

Após a análise das assertivas, marque a alternativa que contém a resposta correta:

- a) As assertivas I, II e III estão corretas.
- b) Apenas as assertivas I e II estão corretas.
- c) Apenas a assertiva II está correta.
- d) Apenas a assertiva I está correta.
- e) Apenas as assertivas II e III estão corretas.

3. As rodas d'água podem ser utilizadas nas propriedades rurais para a captação de água e geração de energia elétrica. Elas podem ser do tipo sobreaxial e a subaxial. As rodas d'água do tipo _____ são acionadas quando recebem um fluxo de água _____, já que suas aletas estão em contato direto com a água, aproveitando a _____ do curso de água. Marque a alternativa com a sequência que preenche corretamente as lacunas:

- a) Subaxial; por baixo de seu eixo; energia potencial.
- b) Sobreaxial; por cima de seu eixo; energia cinética.
- c) Subaxial; por cima de seu eixo; energia cinética.
- d) Subaxial; por baixo de seu eixo; energia cinética.
- e) Sobreaxial; por baixo de seu eixo; energia potencial.

Seção 3.2

Microcentrais hidroelétricas

Diálogo aberto

Caro aluno, iniciamos agora a Seção 3.2 da disciplina Fontes alternativas de energia. Nela abordaremos a exploração da água como fonte para a geração de energia elétrica.

Já é de seu conhecimento que o Brasil é um país rico em recursos hídricos, embora não esteja distribuído de forma igualitária em todo o território. A riqueza desse recurso natural permite que ele seja o principal explorado no país como fonte para a geração de energia elétrica.

A primeira hidroelétrica do Brasil foi construída no reinado de D. Pedro II, no município de Diamantina (MG). Para o seu funcionamento, com apenas 0,5 megawatt de potência, utilizavam-se as águas do Ribeirão do Inferno, um afluente do rio Jequitinhonha e uma linha de transmissão de energia de apenas 2 km. Apenas cerca de 100 anos depois, a potência instalada nas hidroelétricas sofreu um significativo aumento e hoje o Brasil é um dos principais exploradores de energia hidroelétrica do mundo.

O aumento do consumo de energia elétrica no país, aliado ao desenvolvimento de novas tecnologias, fez crescer as discussões a respeito dos impactos ambientais gerados pelas grandes usinas hidroelétricas e a necessidade de diversificação da matriz energética brasileira. Nesse contexto, o uso das microcentrais hidroelétricas surge como opção de geração de energia descentralizada e de baixo impacto ambiental.

No início desta unidade, foi proposta uma situação em que você foi convidado para realizar o projeto de construção de equipamentos para a exploração de fontes de energia alternativas em uma grande propriedade rural, produtora de madeiras de reflorestamento e que também conta com uma fábrica de móveis. Você recebeu a informação de que essa propriedade rural é margeada por um rio e que nela residem algumas famílias de empregados em casas espalhadas pela fazenda, além do seu proprietário, que manifestou interesse em saber a viabilidade de aproveitamento dos recursos

naturais de sua propriedade para a redução da utilização da energia elétrica fornecida pela concessionária.

O projeto que você está desenvolvendo foi dividido em três etapas. Uma delas, que envolveu a proposição de uma possível forma de reduzir os custos com energia elétrica na propriedade em questão por meio da utilização de rodas d'água, já foi concluída anteriormente. Para a realização da segunda parte do projeto, você caminhou ao longo do rio que margeia a propriedade e analisou que ele poderia ser uma boa fonte de geração de energia. Que estudos prévios são necessários para atestar a viabilidade da implantação de uma microcentral hidroelétrica para abastecer essa propriedade? Quais são as etapas do projeto?

Os estudos preliminares, as etapas de projeto e outros aspectos sobre as microcentrais hidroelétricas serão o assunto de destaque desta seção.

Não pode faltar

As hidroelétricas são a principal fonte geradora de energia elétrica da matriz nacional, conforme visto na Unidade 1 desta disciplina. No entanto, grande parte dessa contribuição compete às grandes usinas hidroelétricas, geradoras de alguns impactos ambientais e fornecedora de uma energia centralizada, ambos assuntos que são objetos de críticas a essas instalações e que você também estudou em unidades anteriores.

No entanto, existe alternativa para a exploração descentralizada de energia hidroelétrica por meio da instalação das microcentrais hidroelétricas (MCH). Você conhece uma microcentral hidroelétrica? Sabe o que a define como microcentral? Entende os aspectos ambientais que permeiam as discussões sobre o seu uso? Tem noção das etapas de projeto de construção de uma microcentral hidroelétrica? Essas são questões que embasarão os estudos desta seção.

Entre os usos da água, um que merece atenção é a geração de energia elétrica. Embora a construção das grandes hidroelétricas gere controvérsias com relação aos possíveis impactos ambientais que podem causar (fato que tem, inclusive, tornado mais burocrático o seu licenciamento), a grande presença de corpos hídricos no Brasil

e a natureza renovável da água ainda são fatores que justificam a sua exploração.

Primeiro, vamos entender por que a hidroeletricidade é uma fonte de energia renovável. Tudo está relacionado ao ciclo da água na natureza, conhecido como ciclo hidrológico. Devido a esse ciclo pelo qual a água passa, a sua quantidade total no planeta é constante há milhares de anos. A água presente na superfície evapora devido ao calor do Sol e, paralelamente a isso, o vapor de água também é enviado para a atmosfera por meio da evapotranspiração de plantas e animais. A água evaporada (e transpirada) se condensa na forma de nuvens até que, ao atingir saturação, ocorre a precipitação líquida, na forma de chuva (que abastecerá os corpos hídricos superficiais e subterrâneos) ou sólida, na forma de neve e granizo.

A Figura 3.5 traz um esquema sobre o ciclo da água, enfocando os processos pelos quais a água passa de um estado a outro.

Figura 3.5 | Fotografia de uma roda d'água subaxial



Fonte: <<https://goo.gl/NNLst9>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

O conhecimento do ciclo hidrológico e da velocidade com que a água passa pelos seus estados físicos ao longo desse ciclo, em função do tempo e do espaço, é objeto de estudo da

hidrologia. Compreender os aspectos fundamentais da hidrologia é importante para a aquisição de dados que fundamentem os projetos de centrais hidroelétricas.

A energia hídrica é uma fonte de energia renovável que pode contribuir com aspectos socioambientais positivos quando as geradoras de energia são bem estruturadas. No entanto, para a geração de energia em hidroelétricas, aproveita-se o fluxo da água e, para isso, normalmente é feito o desvio do curso do rio e a formação de reservatórios. É importante salientar, portanto, que não se trata de uma energia “limpa”, uma vez que com a formação desses reservatórios de água, ocorre a decomposição vegetal, processo que emite gases para a atmosfera. O mesmo pode-se dizer dos equipamentos utilizados na construção e manutenção da infraestrutura das hidroelétricas (REIS, 2011).

Os problemas socioambientais associados à hidroeletricidade têm inviabilizado os projetos de usinas de grande porte. No entanto, tem-se verificado uma disseminação nos projetos de pequenas e microcentrais hidroelétricas, que têm como uma de suas principais vantagens, a possibilidade de descentralização no fornecimento de energia, tornando viável a sua instalação em locais onde a instalação de redes de energia é difícil, visto que, quanto maior a usina hidroelétrica, mais distante ela tende a ser dos centros consumidores e maior é a exigência da construção de grandes linhas de transmissão.

Além disso, oferece a oportunidade de empregos e possibilita os usos múltiplos da água, de tal forma que a água utilizada para o fornecimento de energia também pode ser aproveitada na irrigação, em unidades de moagem, entre outros.

Como saber se uma instalação é micro, pequena ou grande central hidroelétrica? Para isso, algumas variáveis são utilizadas para fazer a classificação das centrais hidroelétricas, entre elas, a localização da central, a vazão, a altura da queda d'água, a capacidade ou potência instalada, o tipo de barragem, turbina e reservatório. Todas essas variáveis citadas são interdependentes, ou seja, existe uma influência mútua entre os fatores: a altura da queda, por exemplo, depende do local em que a central será instalada, o que por sua vez influenciará nos aspectos técnicos, como os tipos de barragem, turbina e reservatório que serão construídos.

Todos os fatores citados influenciarão na potência instalada, que determinarão se trata-se de Usina Hidroelétrica (UHE), uma Pequena Central Hidroelétrica (PCH) ou Microcentral Hidroelétrica (MCH).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008), uma MCH gera valores inferiores a 1 megawatt (MW) e são adotadas para uso particular (como em indústrias e em propriedades rurais); as PCH têm entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada e apresentam área do reservatório de até 13 km²; as UHE geram mais de 30 MW e/ou têm reservatórios com mais de 13 km².

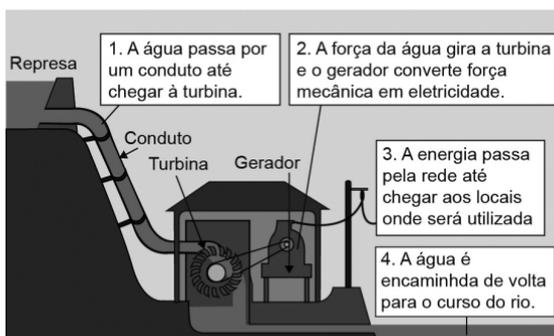


Assimile

As MCH podem ser instaladas junto a pequenas quedas d'água e não necessitam de reservatórios para armazenagem de água ou instalações sofisticadas para a transmissão da energia. Por isso, em comparação às UHE, são menos impactantes ambientalmente, contribuem para a diversificação da matriz energética e representam uma alternativa interessante para os locais em que as redes elétricas vindas das UHE não chegam, como propriedades rurais, pequenas comunidades e agroindústrias.

Basicamente, uma MCH é formada por uma tomada de água, barragem de desvio, câmara de carga, tubulações, casa de força e linhas de transmissão. A Figura 3.6 esquematiza de forma simplificada, como ocorre a geração de energia elétrica nas microcentrais hidroelétricas.

Figura 3.6 | Esquema simplificado sobre o processo de geração de energia elétrica em microcentrais hidroelétricas



Fonte: Adaptada de: <<http://engiobra.com/micro-usinas-hidreletricas/>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

Nas centrais hidroelétricas, a água que estava concentrada na “tomada de água”, passa pelo conduto e aciona uma turbina, responsável por movimentar o rotor de um gerador elétrico, para produzir energia.

As barragens são construções que permitem a criação de um desnível hidráulico, elevando o nível das águas do rio, enchendo a tomada de água. Existem vários tipos de barragens (que podem ou não serem necessárias), cuja escolha dependerá de parâmetros de projeto. Para as microcentrais, a altura da barragem é da ordem de três metros.

A tomada de água é um local de captação de água que apresenta como funções controlar a vazão da água que será enviada para o conduto e reter corpos flutuantes para que eles não cheguem até as turbinas. Nesse último caso, pode-se utilizar grades de proteção para reter os sólidos maiores e um desarenador para reter os materiais sedimentáveis. Além dos equipamentos para a retenção dos sólidos, a tomada de água também apresenta comportas de manutenção e comportas de limpeza.

Os condutos são canais por onde a água represada passa para chegar à turbina. Eles podem ser livres ou forçados. Um conduto livre pode ser construído na forma de aqueduto ou canais abertos, por onde a água passa livremente. Já os condutos forçados dependem de uma pressão da água para gerar uma queda. Segundo Reis (2011), a perda de carga nos condutos é um problema associado a fenômenos de escoamento de água, como o atrito, resultando em uma diminuição na queda útil de água. É importante que essa perda seja calculada na etapa de projeto e que se considere que o tipo de material utilizado na construção do conduto pode ter grande influência nesse processo.

A turbina, os geradores, os reguladores de tensão e outros equipamentos que participam da geração de energia elétrica são instalados dentro de uma casa de força, que podem ser construídas em arranjo de eixo horizontal ou de eixo vertical. Os parâmetros de construção dependerão de características do aproveitamento elétrico, como o porte da central, o tipo e o tamanho da turbina e dos geradores utilizados, entre outros. Portanto, determinar o tipo e o tamanho da turbina, que deve estar de acordo com o aproveitamento energético da água, é fundamental para definir a configuração da casa de força.

As turbinas são equipamentos utilizados para converter energia

hidráulica em energia mecânica. O funcionamento da turbina respeita o mesmo princípio da roda d'água, que você estudou na Seção 3.1 desta unidade: a água que passa pela turbina gira um eixo mecânico que está acoplado ao rotor de um gerador elétrico. O projeto das turbinas hidroelétricas deve respeitar as características do aproveitamento energético, para que uma maior eficiência em seu funcionamento seja alcançada.

Os geradores elétricos são utilizados na conversão da energia mecânica em energia elétrica. Normalmente, são utilizados os do tipo síncrono para operar com frequência fixa de potência. O controle da potência é feito por meio de reguladores de tensão e de velocidade (REIS, 2011).

Para a realização de projetos de microcentrais hidroelétricas, algumas fases precisam ser respeitadas. São elas: realização de estudos, detalhes da execução das obras civis, análise e escolha de equipamentos mecânicos e elétricos, definição de custos e avaliações. De acordo com o *Manual de micro centrais hidrelétricas da Eletrobrás* (1985), deve-se:

1. Estudar a topografia, hidrologia, geologia, geotecnia, ecologia, aspectos socioeconômicos e ambientais de toda a área que sofrerá influência da central hidroelétrica. Nos estudos hidrológicos destacam-se o cálculo das vazões normais de aproveitamento, vazões de cheia (visando dimensionamento das obras de desvio e dos extravasores), as características do curso d'água (queda, vazões máximas e mínimas, níveis máximos e mínimos, a montante e a jusante). Aqui, também é importante destacar a necessidade de calcular a potência requerida para os usos elétricos estabelecidos pelo proprietário.

2. Realizar uma estimativa de custo preliminar para subsidiar a decisão do proprietário quanto ao prosseguimento ou não do projeto. Nesta etapa, deve-se levar em consideração: a altura da queda, a potência necessária, a extensão da linha de transmissão, o comprimento das tubulações (conduto), o comprimento e a altura da barragem (caso seja necessária a sua construção) e custos com transporte de equipamentos.

3. Fazer um estudo aprofundado das configurações de barragens e dos tipos de equipamentos disponíveis no mercado, reconhecendo as especificações técnicas de cada um.

4. Realizar os dimensionamentos da tomada de água, bem como escolher a sua localização, o seu tipo (que dependerá da vazão da água), as características da comporta de água, das grades e do desarenador.

5. Fazer a escolha do tipo e realizar o dimensionamento da barragem, do vertedouro e das tubulações, que devem levar em consideração as características hidrológicas do corpo de água.

6. Selecionar o tipo e o tamanho da turbina hidráulica, considerando a altura da queda de água e a descarga (m^3/s).

7. Realizar a escolha dos reguladores (de tensão e velocidade) e do tipo de gerador que será utilizado, bem como dos demais equipamentos que servirão para proteger e auxiliar o funcionamento do gerador e a distribuição da energia gerada.

8. Determinar o custo final da obra.



Pesquise mais

A elaboração de um bom projeto para o aproveitamento energético em microcentrais hidroelétricas pode garantir uma maior eficiência na geração de energia, além de possibilitar a estimativa de custos com o empreendimento. Para saber mais sobre a metodologia de elaboração de projetos dessa natureza, acesse o documento a seguir:

ELETOBRÁS (Ed.). **Manual de micro centrais hidrelétricas**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 1985. Disponível em: <<http://eletobras.com/pt/Paginas/Manuais-e-Diretrizes-para-Estudos-e-Projetos.aspx>>. Acesso em: 11 ago. 2017.



Exemplificando

Almeida (2007) realizou um estudo de caso visando atestar a viabilidade técnica e econômica da implantação de uma microcentral hidroelétrica. Para tanto, foi necessário a avaliação de aspectos técnicos relacionados à construção, operação e manutenção de equipamentos. Para verificar um exemplo de como ocorreu toda a etapa de estudos envolvendo o projeto, leia o capítulo 4 "Estudo de caso: microcentral hidrelétrica do centro de energias renováveis". Para isso, acesse o link indicado a seguir:

ALMEIDA, José Leandro Casa Nova. **Análise da viabilidade técnica e econômica de implantação de uma microusinagem hidrelétrica.** 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99288/almeida_jlcn_me_guara.pdf?sequence=1>. Acesso em: 11 ago. 2017.

Para a instalação de uma microcentral hidroelétrica, é necessário que a Aneel seja informada, fornecendo alguns dados básicos, como informações sobre o proprietário, a localização que se pretende instalar a MCH e a potência. Já no caso das PCH e UHE, torna-se necessário realizar um inventariamento da bacia hidrográfica em que se pretende fazer a instalação, que deve ter autorização prévia da Aneel para ser feito e posteriormente ser submetido para avaliação e aprovação.

As informações de outorgas de geração de energia elétrica são fornecidas por meio de boletins trimestrais pela Aneel e, de acordo com o documento publicado em março de 2017, as pequenas centrais hidroelétricas novas, registradas, autorizadas e ampliadas no Brasil no primeiro trimestre de 2017, somaram 141 unidades com geração total de 221MW.



Refleta

As microcentrais hidroelétricas têm se tornado uma alternativa atrativa para a geração descentralizada de energia. Você conhece alguma microcentral hidroelétrica na cidade em que mora? Saberria sugerir algum local onde seria vantajosa a sua instalação? Reflita sobre o assunto.

Chegamos ao fim de mais uma seção da Unidade 3. Esperamos que as informações aqui adquiridas abram as portas para o aprofundamento do assunto, levando em consideração a diversidade de características que as microcentrais hidroelétricas podem apresentar.

Bons estudos!

Você está desenvolvendo a segunda parte de seu projeto que tem como objetivo apresentar algumas alternativas para a exploração de energia em uma propriedade rural, cujas características foram apresentadas no início desta seção.

A primeira parte de seu relatório envolveu a proposição da viabilidade da redução de custos com energia elétrica na propriedade em questão por meio da utilização de rodas d'água. Para a realização da segunda parte do projeto, objetivo desta seção, foi proposto a você que descrevesse os estudos prévios necessários para atestar a viabilidade da implantação de uma microcentral hidroelétrica para abastecer a propriedade e que indicasse quais são as etapas do projeto.

Inicialmente é necessário levar em consideração o primeiro pré-requisito para a realização de um projeto dessa natureza, que é a presença de um curso de água cuja hidrologia seja favorável à exploração energética. No caso das microcentrais hidroelétricas, não é necessária a presença de corpos hídricos com grandes vazões, já que a geração de energia tem potência máxima de 1 (MW).

Para a realização de projetos de MCH, deve-se obedecer às seguintes etapas: realização de estudos, detalhes da execução das obras civis, análise e escolha de equipamentos mecânicos e elétricos, definição de custos e avaliações.

A etapa de estudos envolve a obtenção de dados sobre a topografia, hidrologia, geologia, geotecnia, ecologia, aspectos socioeconômicos e ambientais de toda a área que sofrerá influência da central hidroelétrica. Entre os estudos hidrológicos, tem-se o cálculo das vazões normais de aproveitamento, vazões de cheia (visando dimensionamento das obras de desvio e dos extravasores), as características do curso d'água (queda, vazões máximas e mínimas, níveis máximos e mínimos a montante e a jusante) e o cálculo da potência requerida para os usos elétricos estabelecidos pelo proprietário.

Uma estimativa do custo preliminar é importante para subsidiar a decisão do proprietário quanto ao prosseguimento ou não do projeto. Nessa etapa, considera-se a altura da queda, a potência necessária, a extensão da linha de transmissão, o comprimento

das tubulações (conduto), o comprimento e a altura da barragem (caso seja necessária a sua construção), custos com transporte de equipamentos e os custos prévios com os geradores de eletricidade. É desejável também que seja realizado um estudo aprofundado das configurações de barragens e dos tipos de equipamentos disponíveis no mercado, reconhecendo as especificações técnicas de cada um.

Realizar os dimensionamentos da tomada de água, do vertedouro e da barragem, bem como escolher a sua localização, o seu tipo e as demais características desses equipamentos é importante para estimar o custo final da obra, assim como selecionar o tipo e o tamanho da turbina hidráulica, além de escolher os reguladores (de tensão e velocidade) e o tipo de gerador que será utilizado.

Essas são algumas das etapas de projeto que são importantes para atestar a viabilidade técnica e econômica para a instalação de uma microcentral hidroelétrica. Não deixe de aprofundar o seu conhecimento sobre o assunto, levantando outros aspectos sobre a etapa de projeto, por meio das leituras complementares indicadas na seção e buscando por outras fontes de informação.

Avançando na prática

Resolvendo um problema de projeto

Descrição da situação-problema

Um projeto bem feito de uma microcentral hidroelétrica é um requisito importante para garantir o sucesso de seu empreendimento. Suponha que você foi contratado para compor uma equipe que está desenvolvendo um projeto de uma microcentral hidroelétrica para abastecer a sede de uma pequena propriedade rural. Os primeiros estudos para o desenvolvimento do projeto já foram realizados, no entanto, uma característica não consta nos dados hidrológicos: as características da água em função da presença de sólidos suspensos e sedimentáveis. Assim, são feitos os seguintes questionamentos: por que essa informação é importante? Como a falta desse dado pode afetar o projeto da microcentral hidroelétrica? Que etapa do projeto deve ser revista para a inclusão do dado?

Resolução da situação-problema

As características hidrológicas do curso d'água em que a energia hidráulica será explorada é um aspecto fundamental para que o projeto seja bem-sucedido, pois nessa etapa não apenas a vazão poderá ser calculada, mas outras características da água poderão ser mensuradas. A presença de sólidos é uma delas.

Os sólidos suspensos e sedimentáveis deverão ser removidos para que não passem pelo conduto obstruindo-o ou interfira na rotação das turbinas. A ausência desses dados na etapa de projeto influencia nas características da tomada de água, que é um local de captação de água cujas funções são controlar a vazão da água a ser enviada para o conduto e reter corpos flutuantes para que não cheguem até as turbinas. Nesse último caso, pode-se utilizar grades de proteção para reter os sólidos maiores e um desarenador para reter os materiais sedimentáveis.

Devido à falta de um dado hidrológico, será necessário retornar à etapa de estudos do projeto e realizar atividades em campo (de preferência, em diferentes períodos do ano), a fim de complementar a informação sobre a característica da água, ausente no projeto.

Faça valer a pena

1. As microcentrais hidroelétricas (MCH) podem ser utilizadas para a geração de energia em propriedades rurais, muitas vezes longe dos centros de distribuição elétrica, em agroindústrias e em pequenas comunidades. Uma das vantagens atribuídas a elas é justamente a possibilidade de descentralização de energia, levando eletricidade para os locais em que é onerosa a instalação de redes. Sobre as características das MCH, analise as assertivas a seguir:

I. São instalações que apresentam entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada e uma área do reservatório de até 13 km².

II. A operação das MCH possibilita os usos múltiplos da água, de tal forma que a água utilizada para o fornecimento de energia também possa ser aproveitada na irrigação, por exemplo.

III. Se comparada às usinas hidroelétricas, as MCH têm baixo impacto ambiental e uma das referências é a redução da emissão de gases do efeito estufa, já que não é necessário realizar inundação de áreas com vegetação para a construção de reservatórios.

Após a análise das assertivas, marque a alternativa correta:

- a) Apenas as assertivas II e III estão corretas.
- b) Apenas as assertivas I e III estão corretas.
- c) Apenas as assertivas I e II estão corretas.
- d) As assertivas I, II e III estão corretas.
- e) Apenas a assertiva III está correta.

2. Basicamente, uma microcentral hidroelétrica (MCH) é formada por algumas estruturas, entre elas, a tomada de água, a barragem de desvio (que pode ou não estar presente), a câmara de carga, tubulações, casa de força e linhas de transmissão. O funcionamento em conjunto dessas estruturas possibilita a conversão de energia hidráulica em energia elétrica. Nas MCH, qual estrutura é responsável pela conversão de energia hidráulica em energia mecânica?

- a) O gerador.
- b) A turbina.
- c) A tomada de água.
- d) A barragem.
- e) O regulador de tensão.

3. A _____ é um local em que ocorre a captação de água. Tem como função controlar a _____ da água que será enviada para o _____ e reter corpos flutuantes para que eles não cheguem até _____.

Assinale a alternativa com a sequência que preenche corretamente as lacunas.

- a) Barragem; vazão; gerador; as turbinas.
- b) Barragem; queda d'água; conduto; as turbinas.
- c) Turbina; vazão; conduto; o gerador.
- d) Tomada de água; queda d'água; conduto; o gerador.
- e) Tomada de água; vazão; conduto; as turbinas.

Seção 3.3

Gaseificação

Diálogo aberto

Chegamos à última seção da terceira unidade da disciplina Fontes alternativas de energia. Nesta unidade, você conheceu os princípios e o funcionamento do carneiro hidráulico e roda d'água; foi apresentado ao universo das microcentrais hidroelétricas (MCH) e, nesta seção, compreenderá alguns aspectos relacionados à gaseificação, entre eles, como ocorre o processo, os combustíveis utilizados, os gases gerados e as principais aplicações.

No início desta unidade, você foi convidado para realizar o projeto de construção de equipamentos para a exploração de fontes de energias alternativas em uma propriedade rural, produtora de madeiras de reflorestamento e que também conta com uma fábrica de móveis. Para realizar o projeto, algumas informações adicionais foram fornecidas, como a presença de um rio margeando a propriedade e o fato de algumas famílias de empregados residirem em casas espalhadas pela fazenda, além do proprietário. Em contato com o produtor rural, foi visível a sua preocupação com relação à conta de energia, que tem ultrapassado o valor habitual e se tornado um obstáculo para a manutenção da propriedade e da fábrica de móveis. Com o objetivo de minimizar os gastos, ele solicitou informações sobre a viabilidade de aproveitamento dos recursos naturais de sua propriedade na redução da utilização da energia fornecida pela concessionária. Esse projeto deve ser realizado em três etapas. Duas delas você já concluiu (na primeira você analisou a viabilidade da instalação da roda d'água e na segunda você atestou a viabilidade da implantação de uma microcentral hidroelétrica para abastecer essa propriedade).

Para realizar a terceira e última parte de seu projeto, temos a seguinte situação: após dois dias percorrendo a propriedade e investigando os gastos com energia, você notou que boa parte do consumo elétrico ocorre na fábrica de móveis. Levando em consideração os recursos naturais disponíveis na fazenda, como as madeiras utilizadas para a fabricação dos móveis, você poderia

propor a construção de um gaseificador? Como você explicaria o processo de gaseificação e justificaria sua viabilidade ao proprietário?

Para finalizar o seu projeto, busque informações ao longo da leitura desta seção e não deixe de aprofundar os seus conhecimentos sobre o tema com leituras complementares.

Bom trabalho!

Não pode faltar

Nesta unidade de estudos, você tem conhecido algumas fontes de energia consideradas “limpas” se comparadas às fontes mais usualmente exploradas em nosso país para a geração de eletricidade. Compreendeu as características e o funcionamento dos carneiros hidráulicos e rodas d’água (Seção 3.1) e das microcentrais hidrelétricas (Seção 3.2). Esta última seção da unidade é dedicada ao aprofundamento do funcionamento e características da gaseificação, que você teve a oportunidade de conhecer brevemente na Seção 2.3, quando estudou o processo de produção de energia a partir de biomassa.

Após essa breve introdução do conteúdo, você provavelmente se lembrou de algumas informações sobre a gaseificação e a pirólise, dois processos de conversão termoquímica da biomassa, utilizados para a produção de biocombustíveis e eletricidade. A seguir, vamos relembrar alguns aspectos desses processos e ampliar os conhecimentos sobre a gaseificação.

A combustão da biomassa é geralmente utilizada para a geração de energia e calor em fornos e caldeiras. No entanto, a partir dela também é possível obter alguns hidrocarbonetos com características comparáveis aos combustíveis líquidos comerciais, como a gasolina e o diesel, e até eletricidade. Uma das rotas utilizadas para a conversão da biomassa em biocombustíveis e energia elétrica é denominada termoquímica, dentro das quais se incluem a gaseificação, objeto de estudo desta seção. Portanto, é nela que vamos nos ater.

A rota termoquímica é, de forma bastante singular, uma série de reações químicas que ocorrem em temperaturas elevadas e a determinadas pressões. Quando a biomassa é submetida ao aquecimento na ausência de oxigênio (pirólise) ou na presença

parcial dele (gaseificação), as ligações químicas de seus compostos (celulose e material mineral) são quebradas, originando inicialmente compostos orgânicos intermediários não voláteis e, após uma decomposição termal secundária, compostos voláteis. Caso sofram polimerização, os compostos intermediários orgânicos poderão também formar produtos com um alto peso molecular, como o carvão.

A partir de reações primárias e secundárias termais, observadas na gaseificação, também poderão ser formados gases, conhecidos como gás de síntese, gás de biomassa, gás pobre ou *producer gás*, cujas características estudaremos mais adiante, nesta seção.



Assimile

A gaseificação pode, portanto, ser definida como a conversão termoquímica de um material rico em carbono, em estado sólido ou líquido, a altas temperaturas, utilizando um gaseificador com a participação de um agente de gaseificação, tal como o ar, o vapor de água e o oxigênio (ou uma mistura deles). Esse processo, diferente da combustão, ocasiona a oxidação incompleta do carbono e do hidrogênio, componentes do combustível, originando gases combustíveis como CO , H_2 e CH_4 , além de compostos típicos da combustão, entre eles CO_2 , H_2O , O_2 , N_2 e hidrocarbonetos (eteno, etano, entre outros).

A escolha do agente de gaseificação deve levar em consideração as vantagens e as desvantagens de cada um. Vejamos algumas delas:

- **Ar:** apresenta baixo poder calorífero, mas, em contrapartida, há as vantagens de ter baixo custo e apresentar moderado teor de materiais particulados e alcatrão (depende do gaseificador utilizado).
- **Vapor:** requer a utilização de um gerador de vapor, há a necessidade de limpeza catalítica devido ao acréscimo do teor de alcatrão no gás. No entanto, sua vantagem é o fato de o gás produzido ter alto poder calorífero e teor de hidrogênio.
- **Oxigênio:** exige uma planta para separação de ar, e altas temperaturas de gaseificação, porém, apresenta a vantagem

de produzir um gás de síntese sem alcatrão e a gaseificação da biomassa pode ocorrer em estado líquido.

- **Dióxido de carbono:** precisa ser aquecido, o gás produzido precisa passar por limpeza catalítica e exige altas temperaturas para que o dióxido de carbono seja reativo. Entre as vantagens atribuídas à sua utilização como agente, estão o alto poder calorífero do gás produzido e altos teores de monóxido de carbono e hidrogênio.

O processo de gaseificação ocorre entre 800 e 1800 °C, sendo que a temperatura será responsável por influenciar os produtos formados. Vejamos a seguir, conforme destaca Oliveira (2010), algumas reações químicas que podem ocorrer na gaseificação, envolvendo produtos, como carbono, monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, hidrogênio e água.

- *Combustão:* reação de liberação de calor (exotérmica) que ocorre na presença de oxigênio e é primordial para que outras reações ocorram.

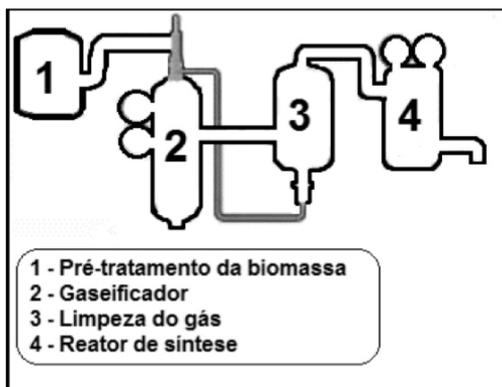
- *Reação de Boudouard:* reação heterogênea de oxirredução de dióxido e monóxido de carbono a uma determinada temperatura, que, quando alta, predomina-se a formação de monóxido de carbono e quando baixa, leva à formação de dióxido de carbono.

- *Reação de formação de metano:* reação heterogênea exotérmica em que ocorre a reação entre carbono e hidrogênio para formar metano.

- *Reação de carbono-vapor:* reação heterogênea endotérmica envolvendo a formação de monóxido de carbono e hidrogênio a partir da reação entre carbono e vapor de água.

O gás de síntese pode ser utilizado diretamente em motor alternativo de combustão interna (MACI), turbina a gás (TG), em células a combustível ou em caldeiras e fornos (queima direta). Também pode ser empregado na geração de eletricidade, podendo, nesse último caso, ser combinado com a síntese de combustível em uma única planta, num processo denominado poligeração (LORA; VENTURINI, 2012). A Figura 3.7 esquematiza de forma simplificada o processo de gaseificação da biomassa.

Figura 3.7 | Gaseificação da biomassa em esquema simplificado



Fonte: Adaptada de: <<https://goo.gl/HjjqGZ>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

O pré-tratamento da biomassa envolve, entre outros, o processo de secagem, já que a umidade da biomassa é um fator que pode alterar a eficiência da gaseificação. No gaseificador, a biomassa é submetida a altas temperatura e pressão e convertida em gás de síntese, que passa por um processo de limpeza para redução de impurezas e segue para um reator, que utiliza catalizadores para transformar os gases produzidos no gaseificador em combustíveis.

Vejamos agora alguns tipos de reatores existentes e as características de cada um deles.

Existem seis tipos principais de gaseificadores, que podem ser classificados de acordo com características, como a direção do fluxo da biomassa, a forma como ocorre o fornecimento de calor e o fluxo do agente de gaseificação. São eles: de leito fluidizado borbulhante (LFB), de leito fluidizado circulante (LFC), de leito fixo contracorrente, de leito fixo cocorrente, de leito fixo tipo fluxo cruzado e de leito arrastado.

Os gaseificadores em leito fixo podem também ser denominados gaseificadores em leito móvel devido ao fato de o leito se movimentar do topo para o fundo do reator, na medida em que ele é alimentado por combustível e as cinzas são retiradas. O movimento do fluxo de gases através do reator e o fluxo do combustível pode classificá-lo como reator em corrente ascendente (contracorrente) e reator em corrente descendente (cocorrente).

Nos gaseificadores contracorrentes ocorre a alimentação com biomassa na parte superior do reator e no sentido contrário à alimentação segue o fluxo do gás gerado. O agente da combustão é inserido na parte inferior do gaseificador. Nesse tipo de gaseificador, o combustível (biomassa) passa pelo processo de secagem, pirólise, redução e combustão e os gases gerados seguem para a saída, que fica na parte superior do reator. Esse tipo de gaseificação origina gases com alto teor de alcatrão e normalmente os gases gerados são oxidados para a geração de energia térmica.

Nos gaseificadores do tipo cocorrente, a biomassa é inserida na parte superior do reator e descende, passando pelo processo de secagem, pirólise, oxidação e redução. O agente de gaseificação é inserido nas laterais do gaseificador, na altura de onde ocorre a oxidação e os gases produzidos são retirados pela parte inferior. Nesse tipo de gaseificador, o gás produzido tem baixo teor de alcatrão, já que ocorre o seu craqueamento na zona de combustão (devido às altas temperaturas).

Os gaseificadores em leito fluidizado não apresentam zonas de reação diferenciadas, como observado nos reatores de leito fixo. Nesse tipo de reator, existe uma câmara de reação que apresenta placas distribuidoras com partículas inertes, que fica suspensa por um meio fluidizante que atravessa o reator em sentido ascendente. Quando se fala em gaseificação da biomassa, esse tipo de reator apresenta elevada eficiência energética, distribuindo uniformemente a temperatura no interior do reator e, por isso, alta taxa de conversão de carbono em combustível (LORA; VENTURINI, 2012).

Para que um gás de síntese seja utilizado é necessário que alguns requisitos de qualidade sejam atendidos, incluindo as suas características e a presença de impurezas, fatores influenciados pelo tipo de gaseificador, parâmetros de operação e os agentes envolvidos na gaseificação.

A Tabela 3.1 apresenta os requisitos do gás de síntese para utilização como biocombustível em motores alternativos de combustão interna (MACI), turbina a gás (TG) e células a combustível, quanto aos parâmetros: material particulado, álcalis, amônia, ácido clorídrico, sulfeto de hidrogênio, óxido de silício e alcatrão.

Tabela 3.1 | Requisitos do gás de síntese para utilização em MACI, em TG e em células a combustível

IMPUREZA	MACI	TG	CÉLULA A COMBUSTÍVEL
Material particulado (mg/Nm ³)	< 50	< 30	-
Álcalis (mg/Nm ³)	-	< 0,25	-
Amônia (mg/Nm ³)	< 55	-	< 0,1
Ácido clorídrico (ppm)	-	-	< 0,1
Sulfeto de hidrogênio (mg/Nm ³)	< 1150	-	< 1
Óxido de silício (mg/Nm ³)	-	-	< 1
Alcatrão (mg/Nm ³)	< 100	-	< 1

Fonte: Adaptada de: Lora e Venturini (2012, p. 414).

Desafios relativos à gaseificação envolvem a formação de impurezas, como materiais particulados, sulfeto de hidrogênio, metais alcalinos e vapores condensáveis denominados alcatrão, cuja formação tem relação com as condições de operação do gaseificador e a umidade da biomassa. O alcatrão representa um problema, pois polimeriza-se em motores e turbinas em decorrência de sofrer condensação quando as temperaturas são reduzidas.

Existem tecnologias disponíveis para remover o alcatrão antes que ocorra a condensação nas superfícies. Um método primário envolve a otimização do gaseificador para que o gás produzido tenha baixa concentração de alcatrão. Havendo a formação, utiliza-se o método secundário em que se realiza a limpeza do gás.

A necessidade de utilização de equipamentos secundários para a obtenção de gases de boa qualidade é um fator a ser considerado para a utilização da gaseificação como fonte de obtenção de energia a partir de biomassa, já que tais equipamentos apresentam preço elevado, encarecendo o processo (OLIVEIRA, 2010).



Pesquise mais

Para saber mais sobre os equipamentos responsáveis por melhorar a qualidade dos gases gerados na gaseificação, leia o material intitulado "Capítulo 6: gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis", de Electo Eduardo Silva Lora et al., e conheça algumas das tecnologias aplicadas para a limpeza dos gases e remoção do material particulado.

Disponível em: <<http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/downloads/files/BiocombustiveisCap06.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

A presença de umidade em excesso na biomassa é um fator que influencia negativamente a qualidade do gás produzido e o desempenho do gaseificador, já que parte do calor utilizado no processo precisa ser gasto para a secagem da biomassa.

Além das aplicações já relatadas nesta seção, a gaseificação pode ser utilizada na geração de eletricidade em pequena escala. Para tanto, diferentes formas de tecnologia poderão ser utilizadas, tais como o gaseificador de leito fixo ou leito fluidizado acoplados a motores alternativos de combustão interna, microturbina a gás, turbina a gás, células a combustível, ciclo a vapor, ciclo orgânico Rankine e Sistema Integrado de Gaseificação de biomassa com turbina a gás.

Para que você compreenda como funciona a gaseificação na produção de eletricidade, veja o exemplo no quadro *Exemplificando*.



Exemplificando

Figueiredo et al. (2012), investigaram a produção de energia elétrica através da biomassa em sistema de gaseificação concorrente. Para tanto, foi utilizado um motor de combustão interna MWM adaptado a ciclo Otto, acoplado ao gerador de eletricidade com capacidade de 50 kVA, alimentado exclusivamente com o gás de síntese proveniente do gaseificador, que utilizou lenha de eucalipto como combustível. Os resultados da pesquisa mostraram que foi consumido em média 49,6 kg/h de biomassa, com um teor de umidade de 16,42%. O gás de síntese produzido apresentava a seguinte composição: 16,9% de

H₂, 0,1% de O₂, 50,1% de N₂, 20,0% de CO, 10,9% de CO₂ e 2,0% de CH₄. A quantidade de gás produzida foi suficiente para suprir a demanda do grupo gerador em potência máxima de 26,4 kW, com tensão variando entre 222 e 223 V. Para saber detalhes sobre como esse teste foi realizado, leia o artigo indicado a seguir.

FIGUEIREDO, F. L. et al. Produção de energia elétrica através da biomassa em sistema de gaseificação concorrente e grupo gerador com capacidade de 50 kVA. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 165-174, jul./dez. 2012. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/viewFile/10186/11652>>. Acesso em: 11 ago. 2017.



Refleta

Nesta seção, tivemos a oportunidade de conhecer alguns detalhes sobre a gaseificação da biomassa, que pode ser utilizada na conversão de compostos ricos em carbono (incluindo os resíduos sólidos urbanos) em gases que podem ser utilizados, entre outros, para a geração de eletricidade. Até que ponto você acredita ser vantajoso aos proprietários de fazendas e indústrias, a geração de eletricidade por meio de gaseificação? Você acha que essa prática deveria receber algum tipo de incentivo fiscal? Reflita sobre estes assuntos.

Estamos finalizando mais uma unidade de estudos. Não deixe de revisar os conteúdos apresentados e anotar as suas dúvidas e considerações mais importantes. Esperamos que as leituras realizadas o tenham motivado a buscar informações complementares.

Sem medo de errar

Para finalizar o projeto que você está desenvolvendo na propriedade rural que, entre outros aspectos, tem uma indústria de madeira, foi solicitado a você que respondesse aos seguintes questionamentos: você poderia propor a construção de um

gaseificador? Como você explicaria o processo de gaseificação e justificaria sua viabilidade ao proprietário?

Para responder a essas questões e finalizar o seu projeto, é necessário, inicialmente, levar em consideração que o processo de gaseificação é uma conversão termoquímica de um material rico em carbono, com a finalidade de produzir gases que possam ser utilizados para o aquecimento de caldeiras e fornalhas, para o funcionamento de motores e para a geração de energia elétrica em pequena escala.

Analisando as características da fazenda, observa-se que a propriedade conta com algumas casas, incluindo a do próprio proprietário, além da fábrica de móveis de madeira. O funcionamento de uma pequena fábrica de madeiras obedece às seguintes etapas: o projeto do móvel, é desenvolvido a partir do desejo do cliente e, ao ser aprovado, é enviado ao setor responsável pelo corte e laminagem da madeira. Após essa etapa, o marceneiro recebe o material para realizar a montagem do móvel a fim de verificar algum problema na confecção do objeto e, em seguida, ocorre a desmontagem e, se necessário, pintura do móvel.

Durante o processo de corte da madeira, resíduos são gerados e podem ser aproveitados em reatores para realizar o processo de gaseificação. Ao longo do processo produtivo da indústria, não se faz necessário o uso de caldeiras ou outros equipamentos que justificassem, por exemplo, o uso dos gases produzidos na gaseificação para o aquecimento de equipamentos. Portanto, a justificativa para o uso dos gases da gaseificação poderia se pautar em sua aplicação para o funcionamento de veículos e geração de eletricidade, visto que conforme mencionado, o fazendeiro demonstrou desejo em reduzir a sua conta de energia.

Existem alguns tipos de gaseificadores no mercado, entre eles, os gaseificadores em leito fixo, em que o leito se movimenta do topo para o fundo do reator, na medida em que ele é alimentado por combustível e as cinzas são retiradas; e os gaseificadores em leito fluidizado, que não apresentam zonas de reação diferenciadas, como o observado nos reatores de leito fixo. Independentemente do tipo de reator que será escolhido, o seu funcionamento é feito por meio da alimentação com biomassa, que no caso em questão, seriam os restos de madeira da indústria de móveis, utilização de

um agente gaseificante, que poderia ser ar, oxigênio ou vapor, por exemplo, e a conversão da biomassa faz-se por meio de secagem, pirólise, redução e combustão e os gases gerados seguem para a saída do reator para serem utilizados.

No caso do uso de gaseificadores para a geração de eletricidade, que seria o mais indicado para a propriedade em estudo, é necessário que o gaseificador seja acoplado a um gerador, cuja escolha dependerá de estudos aprofundados sobre a potência que será necessária, as características do gás gerado na gaseificação e a disponibilidade de recursos financeiros.

Devido à formação de impurezas, entre elas o alcatrão, que podem se depositar sobre os equipamentos e causar danos, é necessário que um tratamento dos gases gerados seja realizado. Esse tratamento pode encarecer o processo, inviabilizando o uso da gaseificação em pequenas propriedades.

Portanto, antes de finalizar o projeto, é necessário fazer um estudo da composição da madeira que será utilizada para alimentar o reator, realizar adequadamente a escolha do reator que será utilizado, bem como o agente gaseificante, pois conforme apresentado ao longo desta seção, essas variáveis influenciam a característica do gás gerado e poderá determinar que tipo de tratamento posterior deverá ser aplicado para que ele tenha a quantidade de impurezas aceitáveis para seu uso.

Não deixe de aprofundar os seus estudos sobre o assunto para complementar o seu projeto com mais informações que poderiam subsidiar a decisão do proprietário sobre a utilização do gaseificador em sua propriedade.

Avançando na prática

Um problema chamado alcatrão

Descrição da situação-problema

A gaseificação é um processo que tem ganhado destaque devido à possibilidade da utilização dos gases gerados em várias finalidades, entre elas, o aquecimento em caldeiras, o uso em motores de veículos e a geração de eletricidade. Você, profissional de uma indústria que utiliza a gaseificação para a geração de gases para o aquecimento de caldeiras e geração de eletricidade, foi solicitado

para fazer uma análise da composição química do gás gerado na gaseificação de uma nova biomassa que está sendo utilizada. Um dos fatores que lhe chamou a atenção foi a grande quantidade de alcatrão detectado na análise. De que forma você explicaria, para os responsáveis legais da indústria, a formação desse composto? Que medidas você indicaria para minimizar o problema?

Resolução da situação-problema

O alcatrão é uma das impurezas que pode ser formada nos gases gerados a partir da gaseificação da biomassa e que pode causar problemas, entre eles, a polimerização em motores e turbinas em decorrência de sofrer condensação quando as temperaturas são reduzidas. Nesse caso, podem causar danos aos equipamentos.

Se uma nova biomassa está sendo utilizada e se após isso foi constatado o aumento da geração de alcatrão, é provável que exista uma relação entre a composição da biomassa e a impureza presente no gás. Seria recomendável a análise da composição química da nova biomassa e uma proposta de substituição. Caso não seja possível, existem tecnologias disponíveis para remover o alcatrão antes que ocorra a condensação nas superfícies. Um método primário envolve a otimização do gaseificador para que o gás produzido tenha baixa concentração de alcatrão. Havendo a formação, utiliza-se o método secundário em que se realiza a limpeza do gás.

A decisão a ser tomada dependerá da finalidade da utilização do gás, já que pode haver a necessidade de características específicas que são desejáveis, da disponibilização de biomassa e da viabilidade econômica para a realização de substituição de reatores, otimização da operação e uso de equipamento de limpeza de gases.

Faça valer a pena

1. A gaseificação pode ser definida como _____ de um material rico em _____ em estado _____, a _____ temperaturas, utilizando um gaseificador com a participação de um agente de gaseificação, tal como o ar, o vapor de água e o oxigênio.

Assinale a alternativa com a sequência de termos que preenchem corretamente as lacunas do texto:

- a) A conversão bioquímica; carbono; sólido; altas.
- b) A conversão bioquímica; nitrogênio; sólido ou líquido; altas.
- c) A conversão termoquímica; nitrogênio; sólido; altas.
- d) A conversão termoquímica; carbono; sólido ou líquido; altas.
- e) A conversão termoquímica; carbono; líquido; baixas.

2. Neste tipo de gaseificador, o leito se movimenta na medida em que ele é alimentado por combustível e as cinzas são retiradas. A biomassa que é inserida na parte superior do reator desce, passando pelo processo de secagem, pirólise, oxidação e redução. Nas laterais do reator é inserido o agente de gaseificação e os gases produzidos são retirados pela parte inferior. Assinale a alternativa que contém o tipo de reator que é descrito no texto:

- a) Reator de leito fixo do tipo cocorrente.
- b) Reator de leito fixo do tipo contracorrente.
- c) Reator de leito fixo tipo fluxo cruzado.
- d) Reator de leito fluidizado borbulhante.
- e) Reator de leito fluidizado circulante.

3. A gaseificação é um processo de conversão de biomassa em gases que podem ser utilizados para diferentes finalidades e tem ganhado destaque, principalmente, no que se refere à possibilidade de geração de eletricidade. A respeito do processo de gaseificação e sua utilização, analise as assertivas a seguir:

I. Existem requisitos de qualidade que devem ser atendidos pelos gases gerados na gaseificação, dependendo do uso a que se destina. Por exemplo: um gás com teor de alcatrão superior a 100 mg/Nm^3 , poderá ser utilizado apenas em motores alternativos de combustão interna.

II. A formação de impurezas nos gases gerados a partir da gaseificação é um desafio, no entanto, existem tecnologias disponíveis para removê-las, além da possibilidade de otimização do gaseificador para que o gás produzido tenha baixa concentração dessas impurezas.

III. A presença de umidade em excesso na biomassa é um fator que influencia negativamente a qualidade do gás produzido e o desempenho do gaseificador, já que parte do calor utilizado no processo precisa ser gasto para a secagem da biomassa.

Após realizar a análise das assertivas, marque a alternativa correta:

- a) Apenas as assertivas I e II estão corretas.
- b) Apenas as assertivas II e III estão corretas.
- c) Apenas as assertivas I e III estão corretas.
- d) As assertivas I, II e III estão corretas.
- e) Apenas a assertiva III está correta.

Referências

ALMEIDA, José Leandro Casa Nova. **Análise da viabilidade técnica e econômica de implantação de uma microssina hidrelétrica**. 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99288/almeida_jlcn_me_guara.pdf?sequence=1>. Acesso em: 11 ago. 2017.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de conjuntura dos recursos hídricos**. 3. ed. Brasília, 2016.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008.

ELETROBRÁS (Ed.). **Manual de microcentrais hidrelétricas**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 1985. Disponível em: <<http://eletrobras.com/pt/Paginas/Manuais-e-Diretrizes-para-Estudios-e-Projetos.aspx>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

FIGUEIREDO, Fabrício L. et al. Produção de energia elétrica através da biomassa em sistema de gaseificação concorrente e grupo gerador com capacidade de 50 kVA. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 165-174, jul./dez. 2012. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/viewFile/10186/11652>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

LORA, Electo Eduardo Silva; VENTURINI, Osvaldo José (Org.). **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

OLIVEIRA, Jofran Luiz de. **Potencial energético da gaseificação de resíduos da produção de café e eucalipto**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3559/textocompleto.pdf?sequence=8&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 set. 2017.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2011.

YAMAUSHI, Vander et al. Aplicabilidade do carneiro hidráulico na construção civil. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 3., 2014, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Faculdade Meridional IMED, 2014.

Biocombustíveis, célula a combustível e aproveitamento de resíduos

Convite ao estudo

Nas Unidades 1, 2 e 3, você conheceu alguns aspectos da matriz energética brasileira e das fontes de energia que a compõem. Aprendeu sobre as características da exploração da energia solar, eólica e de biomassa e refletiu sobre os aspectos econômicos e socioambientais que permeiam as discussões sobre a viabilidade do uso dessas fontes alternativas de energia. Além disso, conheceu as características de alguns dispositivos que exploram a energia hidráulica (carneiros hidráulicos e rodas d'águas) e sobre o processo de gaseificação. Esta quarta e última unidade será dedicada aos biocombustíveis à célula a combustível e ao aproveitamento de resíduos e, neste contexto, você conhecerá também a funcionalidade básica dos motores do ciclo Otto e Diesel.

O século XVIII marca o início do desenvolvimento dos motores a combustão externa, cuja queima do combustível ocorre fora dos cilindros. Tratavam-se de motores a vapor, movidos por meio da queima de lenha, um combustível de baixo custo, que propiciaram o apogeu da Revolução Industrial.

Com a evolução do desenvolvimento de motores, o vapor foi substituído pelo ar quente, o que provocou um rendimento melhor já que operavam com pressões superiores. Destaca-se, nesse quesito, os modelos desenvolvidos por Robert Stirling, no ano de 1816 e o de John Ericson, elaborado em 1826.

O primeiro motor com pistão foi desenvolvido por Jean Joseph Etienne Lenoir em 1860. Tal motor apresentava um controle de entrada e saída de gases por meio de válvulas de

admissão e exaustão, sendo que a combustão ocorria dos dois lados do pistão de forma que o motor trabalhava com duas fases de deslocamento: na primeira fase, o ar era injetado no pistão e queimado por uma faísca, aumentando a pressão e fazendo com que os gases de combustão empurrassem o pistão até o fim do curso. Na segunda batida do pistão, acontecia a saída dos gases de exaustão enquanto uma nova combustão ocorria do outro lado do pistão.

Em 1867, Nicolaus Otto e Eugen Langen apresentavam o seu motor de pistão livre, cujos rendimentos eram melhores do que o motor movido a ar quente, que era de cerca de 5%, apenas. Esse motor, que estava ligado a um volante, era impulsionado pela explosão de gases no interior do cilindro e era capaz de produzir trabalho mecânico.

Com o passar do tempo, motores mais leves e mais eficientes foram criados, passando a trabalhar com novos tipos de combustíveis. No final da década de 1890, motivado pela exploração do petróleo, foram disponibilizados os primeiros motores à gasolina, já que a exploração do petróleo impulsionou o uso de combustíveis líquidos, contribuindo para o desenvolvimento de motores a combustão. O motor a diesel foi registrado em 1892 e, diferentemente da centelha produzida pelos motores Otto, nesse caso o funcionamento do motor ocorre pela compressão, gerando combustão espontânea devido à combinação de pressão e temperaturas elevadas.

É importante destacar que os combustíveis explorados têm impacto no desenvolvimento dos motores de combustão interna, uma vez que a indústria mecânica está constantemente em busca de aprimorar a qualidade e a eficiência dos motores existentes, buscando o desenvolvimento de motores que utilizem combustíveis alternativos, com atenção especial aos biocombustíveis, provenientes da biomassa e decomposição da matéria orgânica e, mais recentemente, ao hidrogênio, utilizado

nas células a combustível. Os biocombustíveis, as células a combustível e o aproveitamento energético dos resíduos serão o tema de destaque desta unidade.

Para que você consiga colocar em prática os conhecimentos adquiridos com os temas propostos, vamos situá-lo no seguinte contexto: os aterros sanitários poderiam ser comparados a grandes usinas devido à possibilidade de aproveitamento energético dos resíduos que recebem diariamente. Essa energia acumulada nos resíduos pode ser “liberada” e aproveitada a partir da aplicação de alguns métodos de tratamento do lixo. Uma cidade de 300 mil habitantes deseja modernizar as instalações de seu aterro sanitário, que recebe cerca de 240 toneladas de resíduos por dia e recobre uma área total de 45 hectares, dentro das quais estão localizados a área para disposição dos resíduos, dois escritórios administrativos, área de paisagem e galpão para segregação do lixo. Inserido no projeto de modernização está a possibilidade de produção e utilização do biogás e futura instalação de células a combustível. Como isso poderá ser feito? Você, na posição de um consultor técnico, foi procurado para estudar a possibilidade de aproveitamento energético nesse aterro e esse estudo será realizado em três etapas.

Esperamos que o estudo dessa unidade o motive a explorar de forma mais aprofundada o universo dos biocombustíveis, da célula a combustível e do aproveitamento de resíduos.

Bons estudos!

Seção 4.1

Biocombustíveis

Diálogo aberto

A primeira seção de estudos será dedicada ao desenvolvimento da primeira parte de sua consultoria. Nessa primeira etapa, você deverá refletir sobre quais são as vantagens da utilização do biogás como combustível no contexto mencionado e de que forma esse biogás poderia ser produzido dentro do próprio aterro. Para isso, imagine que estudando a dinâmica de funcionamento do aterro, você notou que uma das possibilidades para o aproveitamento energético seria a utilização do biogás. Dessa forma, quais são as vantagens da utilização do biogás como combustível no contexto apresentado anteriormente? De que forma esse biogás poderia ser produzido dentro do próprio aterro?

Para a conclusão dessa primeira parte, você deverá atentar-se ao processo de formação do biogás, ao seu uso como fonte energética e às principais vantagens que a sua utilização poderia representar ao aterro. Esses e outros assuntos relacionados serão abordados ao longo desta seção.

Vamos lá?

Não pode faltar

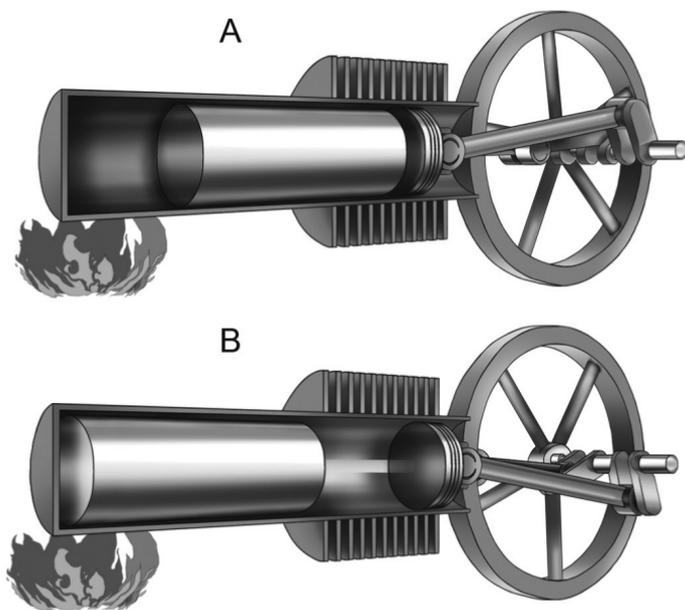
Você sabe o que é um motor a combustão? Conseguiria diferenciar um motor a combustão interna de um motor de combustão externa? Sabe que tipo de combustíveis podem ser utilizados nesses motores? A resposta a essas questões, bem como a utilização do biogás como combustível e maneiras de substituir o diesel na agricultura serão os assuntos de destaque desta primeira seção da Unidade 4.

Inicialmente, é importante que você compreenda que os motores são equipamentos que convertem um tipo de energia, que pode ser térmica, hidráulica, elétrica, entre outras, em energia mecânica, para realizar o movimento de um veículo ou de uma máquina, por exemplo. Os motores a combustão realizam

movimento mecânico por meio da queima de um combustível, que pode ser sólido (lenha), líquido (gasolina, diesel e biocombustíveis) ou gasoso (ar e biogás), ou seja, transformam energia térmica (calorífera) em trabalho mecânico.

Quanto ao tipo de combustão, os motores podem apresentar combustão externa ou interna. Na combustão externa o combustível é queimado fora do motor, já que o fluido de trabalho fica completamente separado da mistura ar/combustível. O calor dos produtos da combustão é transferido através das paredes de um reservatório ou caldeira para os motores a vapor, fazendo com que o pistão se movimente (TILLMANN, 2013). Como exemplo desse tipo de motores, pode-se citar o Stirling (Figura 4.1), um motor que utiliza ar quente como fluido de trabalho e funciona em quatro fases e dois tempos do pistão: o ar que está dentro de uma câmara é aquecido por uma fonte externa e, com o aumento da pressão, faz com que o pistão se movimente (A), movendo a manivela. Ao mesmo tempo, o ar anteriormente aquecido se arrefece, fazendo com que o pistão se movimente no sentido contrário (B).

Figura 4.1 | Esquema de um motor de combustão externa em funcionamento



Fonte: adaptada de: <<https://goo.gl/ngYKBm>>. Acesso em: 12 set. 2017.

Nos motores de combustão interna, diferentemente do que ocorre nos motores movidos a combustão externa, o combustível é queimado internamente, por meio de um mecanismo formado por pistão, biela e virabrequim, que, em conjunto possibilitam a transformação da energia térmica em energia mecânica.

Quanto à sua utilização, esse tipo de motor pode ser estacionário, destinado ao funcionamento de geradores elétricos, motobombas ou outras máquinas que operam em rotação constante, por exemplo; industriais, quando utilizados para o acionamento de máquinas; ou veiculares, quando usadas em veículos de transporte em geral (TILLMANN, 2013).

Os motores de combustão interna podem ter como componente um pistão, como é o caso dos motores do ciclo Otto e do ciclo Diesel ou apresentarem um êmbolo rotativo, cujo exemplo são os motores Wankel. Nos limitaremos, nesse material, a apresentar as características dos motores Otto e Diesel, mas antes, conheça as partes componentes e complementares de um motor de combustão interna.

Os motores de combustão interna são formados pelos seguintes componentes:

- Bloco: é responsável por dar sustentação a todas as outras partes e, por isso, forma a maior parte do motor.
 - Cabeçote: sua função é fechar a parte superior do bloco e tal ação é feita com o uso de parafusos e uma junta de vedação.
 - Cáter: faz o fechamento da parte inferior do bloco e atua também como depósito para o óleo lubrificante do motor.
 - Pistão: Também chamado de êmbolo, é a parte do motor que recebe o movimento de expansão dos gases que são "queimados na câmara de combustão. Normalmente, é feito de ligas de alumínio e tem um formato aproximadamente cilíndrico. No pistão encontram-se dois tipos de anéis:
 - a) anéis de vedação – estão mais próximos da parte superior (cabeça) do pistão;
 - b) anéis de lubrificação – estão localizados na parte inferior do pistão e têm a finalidade de lubrificar as paredes do cilindro.
- O pistão liga-se à biela através de um pino. O pino é

normalmente fabricado de aço cementado.

Câmara de Combustão: é o espaço livre depois da cabeça do pistão quando este atinge o PMS, ou seja, a câmara de combustão é delimitada entre os cursos PMI e PMS no tempo de compressão. O volume inicial ocupado pelo ar é somente o da câmara de combustão.

A relação (ou taxa) de compressão é a relação entre o volume inicial e o volume final.

- **Bielas:** fazem a ligação entre o pistão e o virabrequim. São elas que recebem o impulso dos pistões e o transfere ao virabrequim.
- **Virabrequim:** responsável por transformar a energia gerada pela combustão em torque (força que age em um objeto fazendo com que ele gire).
- **Volante:** fica fixado no virabrequim e tem como função absorver e acumular a energia cinética do pistão, liberando-a nos tempos em que ele não está no tempo de potência.
- **Válvulas:** existem em dois tipos (admissão e escape) e sua abertura e fechamento possibilitam o funcionamento adequado do motor, já que estão relacionadas com o movimento do pistão e com o ponto de injeção (alimentação do motor com combustível).

Além dos componentes citados, existem sistemas auxiliares que são essenciais para o bom funcionamento dos motores. São eles: sistema de alimentação de ar, sistema de alimentação de combustível, sistema de lubrificação, sistema de arrefecimento e sistema elétrico.

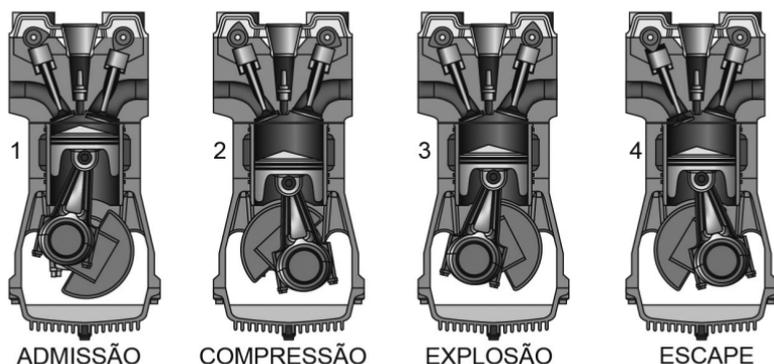
Agora que você conhece os componentes básicos de um motor e suas respectivas funções, voltaremos a nossa atenção para os motores do ciclo Otto e ciclo Diesel.

Os motores de combustão interna, independentemente de seu tipo, funcionam em ciclos que compreendem dois tempos ou quatro tempos. Nos ciclos de quatro tempos, ocorrem as fases de admissão, compressão, explosão (expansão) e escape. No caso dos ciclos de dois tempos, admissão e escape ocorrem simultaneamente à compressão e à expansão.

Os motores do ciclo Otto utilizam comumente como combustível a gasolina e o etanol. Em seu funcionamento de quatro tempos, inicialmente o pistão desce e aspira uma mistura de ar e combustível para o interior do cilindro (fase de admissão);

na segunda fase (compressão), a mistura sofre compressão pelo pistão; na fase de explosão, uma centelha é liberada pela vela de ignição e a mistura sofre combustão. No quarto e último tempo, chamado de escape ou exaustão, os gases produzidos pela combustão são empurrados pelo pistão, saem do cilindro e vão para o coletor de escape. A Figura 4.2 representa esquematicamente os quatro tempos dos motores do ciclo Otto.

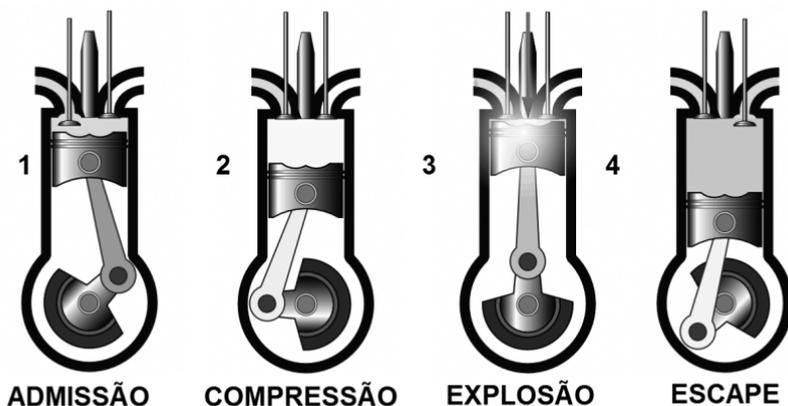
Figura 4.2 | Funcionamento dos motores de quatro tempos do ciclo Otto



Fonte: adaptada de: <<https://goo.gl/K2bx3w>>. Acesso em: 12 set. 2017.

Os motores do ciclo Diesel, como indica o próprio nome, utilizam o óleo diesel como combustível, assim como o biodiesel e o etanol. Tais motores podem ser de dois tempos ou quatro tempos. Nos motores de quatro tempos, na fase de admissão, ocorre apenas a admissão de ar no interior do cilindro. Na fase de compressão, o pistão comprime o ar na câmara de combustão promovendo a elevação da temperatura, de tal forma que, no final dessa fase, o combustível é injetado na câmara de combustão e em contato com o ar quente se inflama. Durante a expansão, ocorre a mistura ar/combustível e, conforme ocorre a combustão do diesel, os gases se aquecem e o pistão é acionado, transformando a energia térmica em mecânica. Na fase de escape, ocorre a descarga dos resíduos da combustão por meio do movimento do pistão que envia esses resíduos através da válvula de descarga (VARELLA; SANTOS, 2010). A Figura 4.3 traz um esquema de como ocorre o funcionamento dos motores do ciclo Diesel de quatro tempos.

Figura 4.3 | Esquema do funcionamento dos motores do ciclo Diesel



Fonte: adaptada de: <<https://goo.gl/opx7Qt>>. Acesso em: 12 set. 2017.



Assimile

A potência pode ser definida como uma quantidade de trabalho realizado por unidade de tempo. O motor é a fonte de potência dos veículos, pois é ele quem lhe dá movimentação (capacidade de realizar trabalho). Quanto maior é a potência do motor, maior é a sua capacidade de carga e maior é a velocidade do veículo. No entanto, é importante destacar que, baseando-nos no conceito de potência, não apenas os motores a combustão são considerados fontes de potência. Se pensarmos na área agrícola, por exemplo, a força animal, as quedas d'água, as energias eólica e elétrica podem exemplificar fontes de potência.

Com relação aos combustíveis utilizados nos motores de combustão interna, nos limitaremos a abordar os biocombustíveis, como o etanol, o biodiesel e o biogás.

O etanol ou álcool etílico é uma substância orgânica formada por carbono, hidrogênio e oxigênio, cuja fórmula química é C_2H_5OH . Os postos de combustíveis comercializam o etanol hidratado, que possui cerca de 5% de água; em contrapartida, o etanol anidro apresenta apenas 0,5% de umidade. Em veículos movidos à gasolina, é admitido que um teor de álcool seja misturado, desde que o motor sofra modificações que impeçam que a mistura álcool/

gasolina cause danos ao seu funcionamento. Em comparação à gasolina, o álcool etílico apresenta um menor poder calorífero, o que aumenta o seu consumo (LORA; VENTURINI, 2012).

Produtos de origem agrícola são as principais matérias-primas para a produção do etanol. Entre eles destacam-se a cana-de-açúcar e a beterraba, no grupo dos vegetais açucarados; cereais e tubérculos, que fazem parte do grupo das amiláceas; resíduos da agricultura (palhas e bagaço) e madeiras, que pertencem ao grupo dos vegetais celulósicos. Tais matérias-primas passam por todo um processo que envolve algumas etapas. No caso do etanol, as principais etapas são: lavagem da cana-de-açúcar, moagem ou difusão para a extração do caldo, tratamento do caldo, fermentação alcoólica (conversão da glicose em etanol pela ação de microrganismos), destilação (que produz o etanol hidratado – 96% v/v) e desidratação (para produção do álcool anidro – 99,5% v/v).

O biodiesel é um combustível biodegradável que pode ser obtido a partir de diversas matérias-primas, incluindo óleos vegetais, óleos residuais e até gorduras animais. Ele pode ser utilizado puro ou misturado em diversas proporções ao diesel de petróleo em motores do ciclo Diesel. Quando misturado, recebe denominação de acordo com a porcentagem em que se encontra na mistura. Por exemplo: a mistura de 5% de biodiesel ao diesel de petróleo é chamada B5.

O processo de obtenção mais comum do biodiesel ocorre por meio da transesterificação, que consiste em uma reação química de óleos vegetais ou de gorduras animais com etanol ou metanol, estimulada por um catalisador. Por meio desse processo também é extraída a glicerina, destinada à fabricação de sabonetes e outros cosméticos. As características do biodiesel podem alterar dependendo do tipo de álcool utilizado na transesterificação; o metanol é o mais utilizado devido ao baixo custo e por suas características físico-químicas que representam vantagem no processo.

Nos últimos anos, o mercado mundial de biodiesel experimentou um incremento devido ao aumento nos preços do petróleo e à busca por combustíveis de fontes renováveis, o que provocou o aumento da participação de biocombustíveis nas matrizes energéticas (LORA; VENTURINI, 2012).

O biogás é um gás combustível, composto em sua maior parte por metano, originado a partir da decomposição anaeróbia de matéria orgânica. Esse gás pode ser utilizado no funcionamento de motores de combustão interna, assim como na geração de energia elétrica. Apesar de representar uma opção para a diversificação da matriz energética brasileira, a geração e o aproveitamento do biogás representam uma interessante opção para o tratamento de resíduos do setor agroindustrial e dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), podendo também ser obtido a partir do tratamento de efluentes domésticos. Entre os benefícios atribuídos ao uso do biogás estão a preservação de águas subterrâneas e superficiais pela redução da carga orgânica de poluentes e o aproveitamento energético dos resíduos, além da geração de empregos e estímulos ao desenvolvimento tecnológico.

O processo de digestão anaeróbia da matéria, realizada por grupos de microrganismos simbioses, envolve as etapas de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. A hidrólise e a acidogênese envolvem a "quebra" inicial da matéria orgânica em moléculas acessíveis à ação dos microrganismos e são formadas nos processos ácidos orgânicos voláteis, ácido láctico, álcoois, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio. Na etapa de acetogênese, os produtos formados na acidogênese são oxidados a acetatos, hidrogênio e dióxido de carbono, sendo os dois primeiros assimiláveis pelas bactérias metanogênicas, que transformam esses produtos em metano e dióxido de carbono.

Alguns fatores, como temperatura, pH, disponibilidade de nutrientes e presença de compostos tóxicos, podem alterar a atividade microbiológica, influenciando na qualidade e na quantidade do biogás gerado.

Na Unidade 2, você estudou que a energia de biomassa pode ser aproveitada em reatores, para a geração de fertilizante e biogás. Os aterros sanitários podem ser comparados a reatores gigantes, pois são locais de deposição dos resíduos sólidos urbanos e entrada de água. Tratam-se de grandes instalações que contam com sistema de impermeabilização do solo para evitar a sua contaminação; canaletas para coleta do chorume (líquido produzido a partir da decomposição da matéria orgânica) e sistema de coleta do biogás gerado. São construções com custo de implantação e manutenção

relativamente elevados e, portanto, torna-se desejável que sua vida útil seja prolongada ao máximo. Nesse contexto, a segregação e a destinação correta dos materiais recicláveis e a compostagem dos resíduos orgânicos visam minimizar a carga de resíduos que é depositada nos aterros e, no último caso, geram adubo orgânico para a agricultura e o biogás.



Pesquise mais

Se interessou pelo uso do biodiesel? Quer saber mais sobre o panorama do biodiesel no Brasil? Então não deixe de acessar o artigo indicado a seguir.

LIMA, Paulo César Ribeiro. **Biodiesel**: um novo combustível para o Brasil. Brasília: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2005. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1141/biodiesel_combustivel_lima.pdf?sequence=1>. Acesso em: 13 set. 2017.

O biogás gerado nos aterros é composto por metano (55% a 65%), dióxido de carbono (35% a 45%), nitrogênio (0% a 1%), hidrogênio (0% a 1%) e gás sulfídrico (0% a 1%) (ABREU, 2014). O seu aproveitamento pode ocorrer em motores de combustão interna do ciclo Otto ou Diesel e turbinas a gás. Com relação às vantagens e às desvantagens de cada um deles, Abreu (2014) apresenta as seguintes considerações:

- Motores de combustão interna: apresentam baixo custo de manutenção, pequeno tamanho, rápida instalação e eficiência em carga total e parcial, porém, apresentam limitação de potência como desvantagem.
- Turbina a gás: não há formação de condensados, maior confiabilidade mecânica e combustão mais completa se comparadas aos motores de combustão interna. Como desvantagens, pode-se citar o investimento inicial elevado e a sua maior sensibilidade a partículas e a impurezas.



Exemplificando

A quantidade de biogás gerado em aterros sanitários pode ser estimada a partir de um modelo matemático do *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) - Waste Model*. Para saber mais sobre os cálculos que são realizados para estimar a quantidade de gases gerados em um aterro, leia o Capítulo 3 – Modelos numéricos para o cálculo da geração de biogás, da obra indicada a seguir.

BORBA, Sílvia Mary Pereira. **Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários**: estudo de caso. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/27/2014/01/borba.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

Assim como os aterros sanitários, o meio rural é subsidiado por fontes diversas de matéria orgânica que podem servir como matéria-prima para a geração de adubo e biogás. Tratam-se de resíduos vegetais e dejetos de animais que são passíveis de sofrer degradação por microrganismos fermentadores, conforme você estudou na Unidade 2, na seção dedicada à energia de biomassa. O biogás que pode ser gerado dentro da propriedade rural com o biodiesel, extraído de vegetais amplamente cultivados no Brasil, e o Etanol, são alternativas viáveis à substituição do uso do diesel na agricultura, se levarmos em consideração a ampla oferta de matéria-prima e a crescente evolução dos motores de combustão interna.



Refleta

Em abril de 2017, a Comissão de Minas e Energia da Câmara dos Deputados aprovou o Projeto de Lei nº 1.291, de 2015, que visa criar uma Política Nacional de Biocombustíveis. Que benefícios ambientais a promulgação desta lei traria? Você acredita que esta lei é suficiente para incentivar o aumento da participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira? Para conhecer o projeto de lei e refletir sobre as questões propostas, acesse o link indicado a seguir.

Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/1332785.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

Estamos chegando ao final de primeira seção da Unidade 4. Esperamos que os temas aqui abordados sejam apenas a porta de entrada para que você aprofunde o seu conhecimento nesses assuntos.

Sem medo de errar

No início desta seção, foi proposto que você realizasse a primeira parte de sua consultoria que está sendo desenvolvida em um aterro sanitário. Essa consultoria está dividida em três partes e na primeira delas você foi inserido na seguinte situação: imagine que, estudando a dinâmica de funcionamento do aterro, você notou que uma das possibilidades para o aproveitamento energético seria a utilização do biogás. Quais são as vantagens da utilização do biogás como combustível no contexto mencionado? De que forma esse biogás poderia ser produzido dentro do próprio aterro?

Para iniciar a sua consultoria, é importante que você tenha em mente que o processo de produção de biogás ocorre a partir da decomposição da matéria orgânica, realizada por grupo de microrganismos, em sua maior parte fermentadores, por ser essencialmente um processo anaeróbio. Como resultado dessa degradação microbiológica anaeróbia ocorre a produção do biogás e de material fertilizante, tal como ocorre nos biodigestores.

Tal como os biodigestores, os aterros sanitários podem ser considerados reatores gigantes em que ocorre a deposição de matéria orgânica e água, ambas matérias-primas para a fermentação anaeróbia. Portanto, a produção do biogás ocorre de forma natural, tanto que os coletores de gases fazem parte da estrutura de um aterro sanitário.

O biogás gerado nos aterros é composto por metano (55% a 65%), dióxido de carbono (35% a 45%), nitrogênio (0% a 1%), hidrogênio (0% a 1%) e gás sulfídrico (0% a 1%) e alguns fatores, como temperatura, pH, disponibilidade de nutrientes e presença de compostos tóxicos, podem alterar a atividade microbiológica, influenciando na qualidade e na quantidade do biogás gerado.

No caso dos aterros sanitários, é importante partir do princípio de que por se tratarem de empreendimentos grandes (ocupam uma área geográfica expressiva) e onerosos, é interessante que sua vida

útil seja prolongada ao máximo e esse fato pode ser alcançado, em parte, pela compostagem da matéria orgânica que seria inserida nas células do aterro. Essa decomposição também é fonte de fertilizante que, tomando-se as devidas precauções com relação a contaminações microbiológicas, pode ser comercializado a baixo custo com agricultores, gerando fonte de renda para o aterro e o biogás que, assim como aquele gerado nas próprias células do aterro, podem ser utilizados para a geração de eletricidade e para a movimentação de veículos e maquinários.

Além dos benefícios elencados, pode-se citar outros, como a preservação de águas subterrâneas e superficiais pela redução da carga orgânica de poluentes que, no caso dos aterros, é originada na forma de chorume, e a geração de empregos e estímulos ao desenvolvimento tecnológico, que podem trazer benefícios não só para o funcionamento dos aterros, mas também para a sociedade como um todo.

Avançando na prática

Substituindo o Diesel no meio rural

Descrição da situação-problema

Você foi procurado por um produtor rural que deseja substituir a utilização do Diesel por outro(s) combustível(is) em sua propriedade. No entanto, ele está encontrando dificuldades em convencer os seus sócios a aceitarem e ideia e, por isso, você foi contratado para, utilizando os seus conhecimentos na área de energia, ajudá-lo a convencer os sócios a aceitarem a substituição do combustível. Que argumentos favoráveis você poderia utilizar para auxiliar na aceitação dos novos combustíveis?

Resolução da situação-problema

Inicialmente, por se tratar de uma questão que envolve a zona rural, é interessante que seja esclarecido que alguns combustíveis, como o biogás, podem ser produzidos a partir de resíduos originados na própria propriedade, com a utilização de biodigestão, e serem utilizados em motores a combustão, maquinário e na geração de eletricidade. Além disso, é importante frisar que o diesel,

por ser um combustível derivado de petróleo, está ameaçado por questões de cunho ambiental e, portanto, pode sofrer variações de preço no mercado, experimentando altas, já que investimentos governamentais têm sido direcionados às tecnologias de obtenção de biodiesel e etanol de variadas culturas vegetais. Vale lembrar também que o biogás, que pode ser gerado dentro da propriedade rural com o biodiesel, extraído de vegetais amplamente cultivados no Brasil, e o Etanol, são alternativas viáveis à substituição do uso do diesel na agricultura, se levarmos em consideração a ampla oferta de matéria-prima e a crescente evolução dos motores de combustão interna.

Faça valer a pena

1. Os motores são equipamentos que convertem um tipo de energia, que pode ser térmica, hidráulica, elétrica, entre outras, em energia mecânica, para realizar o movimento de um veículo ou uma máquina, por exemplo. Os motores a combustão realizam trabalho por meio da queima de um combustível, transformando energia térmica (calorífera) em trabalho mecânico. A respeito dos motores, analise as assertivas a seguir:

I. Na combustão externa, o combustível é queimado fora do motor e o calor dos produtos da combustão é transferido através das paredes de um reservatório ou caldeira, para os motores, fazendo com que o pistão se movimente.

II. Os motores a combustão interna podem ser estacionários, quando destinados ao funcionamento de máquinas que operam em rotação constante, por exemplo; industriais, quando utilizados para o acionamento de máquinas; ou veiculares, quando usadas em veículos de transporte em geral.

III. Os motores do ciclo Otto e do ciclo Diesel, devido às características de seu funcionamento, são exemplos de motores de combustão externa. Após análise das assertivas, marque a alternativa que contém a resposta correta:

- a) As assertivas I, II e III estão corretas.
- b) Apenas as assertivas I e II estão corretas.
- c) Apenas as assertivas II e III estão corretas.
- d) Apenas a assertiva I está correta.
- e) Apenas a assertiva II está correta.

2. Os motores de combustão interna apresentam, para o seu bom funcionamento, um conjunto de equipamentos que fazem parte do sistema de componentes que são essenciais e de sistemas complementares, que são auxiliares, pois são importantes para o funcionamento do motor, mas que não agem diretamente na transformação energética.

Dos itens citados a seguir, assinale a alternativa que contém apenas os equipamentos que fazem parte dos componentes responsáveis pela transformação energética no motor:

- a) Pistão, biela e virabrequim.
- b) Virabrequim, pistão e sistema de lubrificação.
- c) Biela, virabrequim e sistema de alimentação de ar.
- d) Sistema de alimentação de ar, sistema de lubrificação e pistão.
- e) Pistão, sistema de arrefecimento e sistema de lubrificação.

Biocombustíveis são derivados de biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia. [...] Cerca de 45% da energia e 18% dos combustíveis consumidos no Brasil já são renováveis. No resto do mundo, 86% da energia vem de fontes energéticas não renováveis. Pioneiro mundial no uso de biocombustíveis, o Brasil alcançou uma posição almejada por muitos países que buscam desenvolver fontes renováveis de energia como alternativas estratégicas ao petróleo. (BRASIL, 2017, [s.p.])

3. A respeito dos biocombustíveis, analise as afirmativas e marque a resposta correta:

- a) O biogás é um gás combustível, composto, em sua maior parte, por gás carbônico, originado a partir da decomposição anaeróbia de matéria orgânica.
- b) Os produtos de origem animal são considerados as melhores matérias-primas para a produção do etanol.
- c) O processo de obtenção mais comum do biodiesel ocorre por meio da transesterificação, que consiste em uma reação química de óleos vegetais ou de gorduras animais com etanol ou metanol.
- d) Apesar de apresentar uma boa visibilidade quando se trata de questões ambientais, o uso de biodiesel não recebe estímulos governamentais.
- e) Para que o uso do biodiesel seja efetivo no Brasil, é necessário o desenvolvimento de motores que são capazes de funcionar de forma eficiente com esse tipo de combustível.

Seção 4.2

Célula a combustível

Diálogo aberto

Na primeira seção desta unidade, você estudou alguns aspectos dos biocombustíveis, dentre eles as suas características básicas e aplicações, além de conhecer o funcionamento de motores de combustão interna. Esta seção será dedicada ao estudo de um dispositivo gerador de eletricidade cujo funcionamento ocorre na presença do gás hidrogênio como combustível: as células a combustível.

Tal tecnologia, que começou a ser utilizada em 1960, foi descoberta em 1839 por William Grove e, desde então, tem mostrado avanços que possibilitaram o seu uso nos mais diversos setores da economia.

Antes de adentrarmos no universo das células a combustível, é importante lembrarmos que, no início desta unidade, você foi inserido em um contexto em que foi contratado como consultor técnico para estudar a possibilidade de aproveitamento energético em um aterro.

O aterro em questão atende a uma cidade de 300 mil habitantes e pretende-se modernizar as suas instalações, uma vez que ele recebe cerca de 240 toneladas de resíduos por dia e recobre uma área total de 45 hectares, dentro das quais está a área para disposição dos resíduos, dois escritórios administrativos, área de pesagem e galpão para segregação do lixo. Inserido no projeto de modernização, está a possibilidade de produção e utilização do biogás e futura instalação de células a combustível.

O seu estudo foi dividido em três partes, sendo que a primeira, que envolvia a possibilidade da utilização do biogás produzido pelo próprio aterro como combustível dentro das instalações, foi concluída na primeira seção. Nesta segunda seção, imagine que, curioso sobre um artigo que leu recentemente, o responsável pelo aterro lhe questionou sobre o funcionamento das células a combustível e sobre a viabilidade da utilização desse dispositivo, futuramente, no aterro. Você indicaria o uso de células a

combustível em alguma etapa de operação do aterro sanitário? Quais são as vantagens e as desvantagens da utilização desse modelo de conversão energética?

Para responder a essas questões e concluir a segunda etapa da consultoria, direcione a sua atenção para a leitura dos assuntos relacionados ao funcionamento, à aplicabilidade, às vantagens e às desvantagens do uso das células a combustível, que serão detalhados ao longo desta seção.

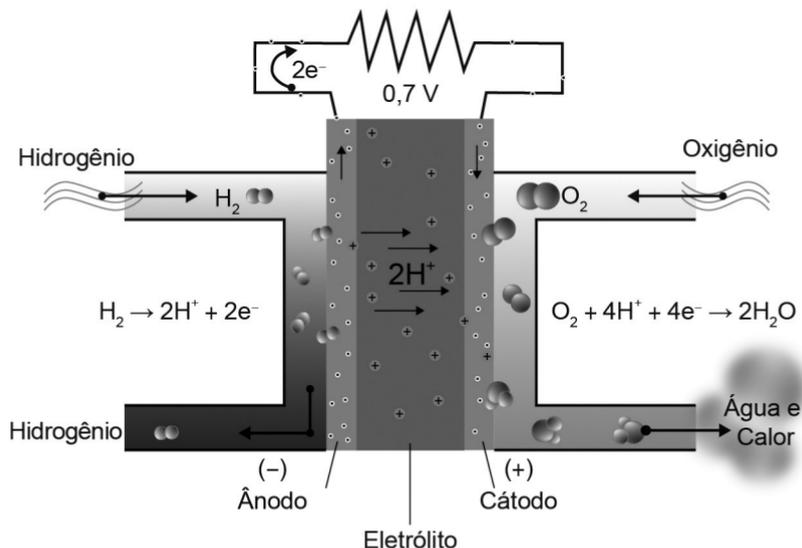
Bom trabalho!

Não pode faltar

Ao longo de sua vida você esteve em contato com inúmeros dispositivos capazes de gerar energia elétrica, entre eles, as pilhas e as baterias. Se algum dia teve a curiosidade de pesquisar como esses dispositivos funcionam, certamente descobriu que se trata de reações eletrolíticas, que envolvem transporte de elétrons, capazes de transformar a energia química em energia elétrica. Saiba que essa também é a ideia básica de uma célula a combustível (FC, sigla para Fuel Cell), que possui algumas diferenças em comparação às baterias que conhecemos. Nesta seção, você compreenderá o princípio básico de funcionamento das células a combustível, bem como a sua aplicação e os aspectos socioeconômicos e ambientais envolvidos.

As células a combustível são dispositivos eletroquímicos que produzem energia elétrica a partir do uso de um combustível, o hidrogênio puro ou um gás rico em hidrogênio. Estruturalmente, elas são formadas por dois eletrodos: um ânodo e um cátodo, conforme pode ser visualizado na Figura 4.4. Entre os eletrodos, existe o eletrólito, cujo material permite que íons sejam transportados entre os eletrodos, mas forçando os elétrons a percorrerem um circuito externo, gerando uma corrente elétrica. Para que a reação eletrolítica ocorra e a energia seja produzida, a célula a combustível precisa ser constantemente suprida por um combustível (hidrogênio), inserido no ânodo, reagindo com um oxidante (oxigênio), que é inserido pelo cátodo. A partir dessa reação, além da geração de eletricidade, ocorre a liberação de calor e formação de água.

Figura 4.4 | Esquema do funcionamento de uma célula a combustível: os íons de hidrogênio inserido na região do ânodo reagem com os íons de oxigênio inserido pelo cátodo, por meio do eletrólito e, a partir dessa reação, ocorre a liberação de calor e água. Os elétrons que se movimentam externamente ao eletrólito formam uma corrente elétrica que gera energia



Fonte: adaptada de: <<https://goo.gl/hS3XML>>. Acesso em: 13 set. 2017.

No início desta seção, foi mencionado que baterias e células a combustível apresentam o mesmo princípio básico de funcionamento, respeitando algumas diferenças. Após ler sobre o funcionamento das células a combustível, você saberia listar uma delas? Diferentemente do ocorrido em baterias, que são capazes de armazenar energia em seu interior, as células a combustível necessitam de um suprimento constante de combustível e oxidante para funcionarem, ou seja, a energia elétrica é gerada enquanto houver fornecimento de hidrogênio e oxigênio para que a reação eletrolítica ocorra. Nesse caso, as células a combustível não precisam ser recarregadas, tal como ocorre com as baterias.

Por outro lado, outra característica compartilhada entre as células a combustível e as baterias, além do princípio de funcionamento, é a possibilidade de empilhar os dispositivos, formando “pilhas de células” e permitindo a elevação da tensão de saída de uma unidade a qualquer valor (REIS, 2011).

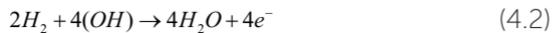


Diferente do que ocorre no processo de gaseificação, que você estudou na Unidade 3 e nos motores a combustão interna, estudados na primeira seção desta unidade, a conversão da energia química em energia elétrica nas células a combustível ocorre de forma direta, sem que haja a necessidade de combustão. Uma vantagem disto é que a produção de eletricidade é mais eficiente, silenciosa e sem emissão de poluentes (REIS, 2011).

Se você observou atentamente a Figura 4.4, provavelmente notou a presença de duas equações. Tratam-se de reações eletrolíticas de oxidação e redução que ocorrem no interior de uma célula a combustível. Vejamos, agora, como isso ocorre.

As reações de oxidação são aquelas que envolvem perda de elétrons e, inversamente, nas reações de redução ocorre ganho de elétrons. Nas células a combustível, ocorrem duas meias reações: uma de oxidação e uma de redução. Tais reações ocorrem nos eletrodos que estão interconectados um ao outro pelo eletrólito. Os elétrons que são liberados pela reação de oxidação saem da célula pelo ânodo e migram por meio de um circuito externo para o cátodo (local em que ocorre a reação de redução). O sentido da corrente elétrica é inverso ao sentido de migração dos elétrons, ou seja, a corrente elétrica sai do cátodo (polo positivo) em direção ao ânodo (polo negativo).

Na reação global de uma célula a combustível, o hidrogênio e o oxigênio reagem formando água, conforme Equação 4.1. Essa equação global é resultado da combinação da meia reação de oxidação que ocorre no ânodo (Equação 4.2) com a meia reação de redução que ocorre no cátodo (Equação 4.3).



Conforme visualizado nas equações, o hidrogênio é utilizado como combustível para o funcionamento das células a combustível. Você deve estar se perguntando: por que o hidrogênio? E de onde ele vem? As respostas a essas perguntas serão discutidas a seguir.

O hidrogênio é um elemento químico simples, mas que, do

ponto de vista energético, representa toda a fonte de energia que recebemos do Sol, já que a estrela que aquece o nosso planeta é formada basicamente por hidrogênio e hélio, que juntos, transformam o Sol em um grande reator nuclear, em que, por meio da fissão ocorre a transformação de hidrogênio em hélio, liberando uma grande quantidade de energia.

Se comparado a outros combustíveis, o hidrogênio apresenta o mais alto conteúdo de energia por unidade de massa, além de ser o elemento mais leve existente. Para que você tenha uma noção, a combustão de uma unidade de massa de hidrogênio libera 2,5 vezes o calor liberado na combustão de hidrocarbonetos, como a gasolina, o metano, os óleos, entre outros (LORA; VENTURINI, 2012).

O hidrogênio utilizado pelas células a combustível é proveniente de uma fonte primária que pode ser um combustível fóssil ou uma fonte renovável, obtido por diferentes tecnologias, cuja escolha depende da quantidade e grau de pureza que se necessita. Vejamos algumas dessas tecnologias:

- **Eletrólise da água:** uso de energia elétrica para separar hidrogênio e oxigênio que formam a molécula de água utilizando uma célula eletrolítica, formada por dois eletrodos e um eletrólito, que pode ser uma solução aquosa de *KOH*, *NaOH*, *NaCl* ou um eletrólito imobilizado em matrizes poliméricas. Uma desvantagem do método é a grande quantidade de energia consumida, no entanto, existe a possibilidade do uso de fontes renováveis, como energia eólica e solar.

- **Oxidação parcial:** utiliza-se um agente oxidante (oxigênio) reagindo com um hidrocarboneto pesado, a altas temperaturas (entre 1000 °C e 1200 °C) com a formação de hidrogênio e monóxido de carbono. Devido à alta temperatura, não é necessário o uso de catalisador.

- **Reforma a vapor:** reação entre um hidrocarboneto (metano, etano, propano, butano etc.) e o vapor de água, a altas temperaturas (600 °C a 1000 °C) e na presença de um catalisador, que resulta na formação de dióxido de carbono e hidrogênio. É um processo eficiente e econômico e, por isso, tem se destacado como o método mais utilizado. No entanto, apresenta como desvantagens só se aplicar a combustíveis fósseis e não a combustíveis renováveis e a alta emissão de dióxido de carbono.

- **Hidrogênio fotobiológico:** utilização de algumas espécies

de algas verdes para produzir hidrogênio de forma natural a partir da realização da fotossíntese, com a combinação de técnica de purificação do hidrogênio presente na molécula de glicose gerada.

- Reforma autotérmica: combina a reforma a vapor com a oxidação parcial em um reator.

- Pirólise rápida da biomassa: utilização de uma atmosfera inerte e altas temperaturas para converter a biomassa em produtos sólidos, líquidos e gasosos. Devido à formação de gases com baixo teor de hidrogênio, essa técnica é combinada com o processo de reforma a vapor para a obtenção de uma mistura gasosa com alto teor de hidrogênio.

- Gaseificação de biomassa: o processo consiste em utilizar a gaseificação, que você estudou na Unidade 3, combinada com reator de reforma de vapor e reator *shift*, que têm como objetivo aumentar a concentração de hidrogênio para, finalmente, fazer a purificação do hidrogênio. O carvão formado a partir da pirólise também pode ser submetido à gaseificação, com a formação de hidrogênio.

- Reforma do bioetanol: é um combustível obtido a partir da fermentação da biomassa e que apresenta alto conteúdo de hidrogênio. O processo de obtenção do hidrogênio pode ocorrer por meio de reforma com vapor de água e reforma autotérmica.

De acordo com Lora e Venturini (2012), a produção do hidrogênio a partir da biomassa só é viável economicamente se for em grande escala. No entanto, a produção em menor quantidade reduz problemas relacionados ao transporte do hidrogênio e é favorável quando ocorre no local em que o combustível será utilizado. Segundo os autores, grande parte do hidrogênio é produzido de forma descentralizada no próprio local de consumo, mas também pode ser distribuído por meio de gasodutos.

Independentemente da forma de produção, em algumas situações é desejável que o hidrogênio obtido seja armazenado e tal processo necessita ser feito de forma cuidadosa, uma vez que o hidrogênio é inflamável e explosivo. Entre os métodos de armazenamento, o hidrogênio pode estar: na forma de gás comprimido; convertido para o estado líquido (gás liquefeito); absorvido em carbono no estado sólido; armazenado no interior de microesferas; combinado com elementos químicos metálicos ou

combustíveis, como metanol, gasolina e outros hidrocarbonetos, para posteriormente ser retirado.

As células a combustível podem ser de diferentes tipos, conforme pode ser visualizado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 | Diferentes tipos de células a combustível, suas características principais e os usos a que se destinam

Tipo de célula	Eficiência (%)	Temperatura (°C)	Potência kW	Eletrólito	Vantagens	Desvantagens	Aplicação
Alcalina (AFC)	50	60 – 100	10 – 100	KOH	Alta eficiência	Sensível a CO_2	Naves espaciais
Membrana (PEMFC)	45	80 – 120	1 – 1000	Polímero	Operação flexível	Custo da membrana e contaminação do catalisador com CO .	Transporte portátil e veículos automotores.
Ácido Fosfórico (PAFC)	45	200	100 – 5000	H_3PO_3	Maior desenvolvimento tecnológico	Sensibilidade a CO e eficiência limitada pelo calor(1).	Geração estacionária e cogeração elétrica/calor.
Carbonatos fundidos (MCFC)	50	650	100 – 10000	Carbonatos fundidos	Tolerância a CO/CO_2	Necessidade da reciclagem de CO_2 e interface trifásica de difícil controle.	Geração estacionária e cogeração elétrica/calor.
Cerâmicas (SOFC)	50	800 - 1000	1000 - 100000	ZrO_2	Alta eficiência e a reforma do combustível pode ser feita na célula.	Expansão térmica e necessidade de pré-reforma.	Geração estacionária e cogeração elétrica/calor.

(1) O monóxido de carbono pode provocar danos ao catalisador quando há sensibilidade a esse gás.

Fonte: adaptada de: Wendt, Götz e Linardi (2000 p. 539); e Lora e Venturini (2012, p. 607).



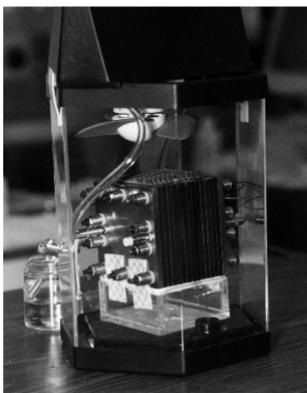
Pesquise mais

Quer saber mais sobre as características de cada tipo de célula a combustível? Então não deixe de acessar o artigo a seguir.

WENDT, Hartmut; GÖTZ, Michael; LINARDI, Marcelo. Tecnologias de células a combustível. **Química Nova**, v. 23, n. 4, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n4/2655.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

Quando se trata dos usos das FC, a Tabela 4.1 ilustra alguns exemplos, como aplicação em sistemas móveis, entre eles espaçonaves (Figura 4.5) e veículos automotores (Figura 4.6), além de sistemas estacionários, caracterizando-se, principalmente, na geração de energia elétrica, que pode ocorrer próximo ao consumidor, garantindo redução ou mesmo eliminação de investimentos em redes de distribuição e ainda possibilitando o uso térmico para o aquecimento de água ou produção de vapor, no caso de indústrias.

Figura 4.5 | Célula a combustível utilizada pela NASA



Fonte: <<https://goo.gl/fByuLM>>. Acesso em: 13 set. 2017.

Figura 4.6 | Célula a combustível em carro



Fonte: <<https://goo.gl/LWFPfV>>. Acesso em: 13 set. 2017.



Exemplificando

Quanto à operação das células a combustível com biocombustíveis, quando ele é gasoso, como o biogás proveniente da gaseificação ou gases de aterro, a produção da eletricidade ocorre no local em que está a biomassa e, para que eles sejam utilizados nas células a combustível, requerem limpeza e tratamento, dependendo do tipo de célula a ser utilizada. Nas MCFC e SOFC, é possível a utilização dos gases de aterro após o processo de metanização (degradação anaeróbia de matéria orgânica por microrganismos, gerando o biogás), apenas. Já no caso da utilização em PEMFC e PAFC, além da metanização, é necessário que os gases passem por um reformador (sistema de purificação que retira compostos indesejáveis, como enxofre), por um reator de shift (equipamento que converte monóxido de carbono do gás de síntese a dióxido de carbono e hidrogênio) e por um sistema de esfriamento antes de ser utilizado. Devido à complexidade das instalações, os custos para a utilização de biocombustíveis no funcionamento das FC são elevados, entretanto, os gases de aterro sanitário são mais atrativos economicamente (até mesmo que o gás natural), já que se obtêm como subprodutos de outro processo.

Chegamos ao fim de mais uma seção. Não deixe de reler os assuntos aqui apresentados, anotando as suas dúvidas e os pontos de destaque.



Refleta

O que falta para que as células a combustível se tornem efetivamente viáveis? De que forma o poder público poderia contribuir para a difusão delas?

Sem medo de errar

No início desta unidade, você foi inserido em um contexto em que foi contratado como consultor técnico para estudar a possibilidade de aproveitamento energético em um aterro, que atende a uma cidade de 300 mil habitantes e que recebe cerca de 240 toneladas de resíduos por dia, recobrando uma área total de 45

hectares. Nessa área, estão: a área para disposição dos resíduos, dois escritórios administrativos, área de pesagem e galpão para segregação do lixo. Os responsáveis pelo aterro mostraram interesse em realizar um projeto de modernização das instalações, visando realizar aproveitamento energético dentro do próprio aterro. Inserida nesse projeto de modernização, está a possibilidade de produção e utilização do biogás e futura instalação de células a combustível.

O seu estudo foi dividido em três partes, sendo que a primeira, que envolvia a possibilidade da utilização do biogás produzido pelo próprio aterro como combustível dentro das instalações, foi concluída na primeira seção. Nesta segunda seção, correspondente à segunda parte de sua consultoria, você deverá esclarecer ao responsável pelo aterro algumas de suas dúvidas relacionadas ao funcionamento das células a combustível (FC) e sobre a viabilidade da utilização desse dispositivo futuramente no aterro. Para tanto, foi proposto que você respondesse às seguintes questões: você indicaria o uso de células a combustível em alguma etapa de operação do aterro sanitário? Quais são as vantagens e as desvantagens da utilização desse modelo de conversão energética?

Para responder às questões e concluir a segunda parte de sua consultoria, é preciso lembrar o que são as células a combustível e o seu princípio de funcionamento. As células a combustível são dispositivos eletroquímicos que produzem energia elétrica a partir do uso de um combustível, o hidrogênio puro ou um gás rico em hidrogênio. Estruturalmente, ela é formada por dois eletrodos: um ânodo e um cátodo e, entre os eletrodos, existe o eletrólito, cujo material permite que íons sejam transportados entre os eletrodos, mas forçando os elétrons a percorrerem um circuito externo, gerando uma corrente elétrica. Para que a reação eletrolítica ocorra e a energia seja produzida, a célula a combustível precisa ser constantemente suprida por um combustível (hidrogênio), inserido no ânodo, reagindo com um oxidante (oxigênio), que é inserido pelo cátodo. A partir dessa reação, além da geração de eletricidade, ocorre a liberação de calor e formação de água.

É importante lembrar que existem diferentes tipos de células, cada qual com suas particularidades. Para o aterro em questão, poderia ser indicado o uso de célula a combustível na movimentação

de veículos e maquinários, dentro do próprio aterro e geração de eletricidade. O combustível a ser utilizado poderia ser o próprio gás, rico em metano, gerado a partir da biodigestão anaeróbia da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos depositados nas células do aterro.

No entanto, destaca-se que, quanto à operação das células a combustível com biocombustíveis, quando ele é gasoso, como os gases de aterro, a produção da eletricidade ocorre no local em que está a biomassa e, para que eles sejam utilizados nas células a combustível, requerem limpeza e tratamento dependendo do tipo de célula a ser utilizada. Nas MCFC e SOFC, é possível a utilização dos gases de aterro após processo de metanização, apenas. Já no caso da utilização em PEMFC e PAFC, além da metanização, é necessário que os gases passem por um reformador, por um reator de *shift* e por um sistema de esfriamento antes de ser utilizado.

Uma desvantagem do uso das FC em aterros é que, devido à complexidade das instalações, os custos para a utilização de biocombustíveis em seu funcionamento podem ser elevados. Entretanto, os gases de aterro sanitário são mais atrativos economicamente (até mesmo que o gás natural), já que são obtidos como subprodutos de outro processo.

A utilização das células a combustível representa um ganho ambiental, visto que, se funcionando adequadamente, não geram gases do efeito estufa, liberando como subproduto apenas água.

Avançando na prática

Célula a combustível em automóveis

Descrição da situação-problema

O hidrogênio é considerado o combustível do futuro devido à sua presença abundante no planeta, ao alto conteúdo de energia por unidade de massa e à possibilidade de sua utilização para a geração de energia elétrica e funcionamento de veículos automotores sem emissão de poluentes. Pensando no funcionamento das células a combustível (FC), imagine que você foi contratado para elaborar um projeto de uma célula a combustível para ser utilizada em um veículo automotor. Para a elaboração desse projeto, você deverá propor uma forma de obtenção de hidrogênio que seja mais

economicamente viável. Assim, reflita sobre as seguintes questões: como descrever que tipo de célula a combustível poderia ser utilizada? Quais serão os componentes básicos utilizados para a construção da célula?

Resolução da situação-problema

Para a elaboração do projeto de uma célula a combustível para automóvel, inicialmente, deve-se levar em consideração que será necessário obter o hidrogênio, combustível necessário ao funcionamento da FC e suprir o sistema com uma fonte de oxigênio, que reagirá com o hidrogênio, gerando energia. No caso em questão, o hidrogênio poderia ser obtido a partir da eletrólise da água, que consiste no uso de energia elétrica para separar hidrogênio e oxigênio, que formam a molécula de água, utilizando uma célula eletrolítica, formada por dois eletrodos e um eletrólito, que pode ser uma solução aquosa de *KOH*, *NaOH*, *NaCl* ou um eletrólito imobilizado em matrizes poliméricas. Uma desvantagem do método é a grande quantidade de energia consumida. No entanto, existe a possibilidade do uso de fontes renováveis, como o uso de painéis solares.

Para o projeto, poderia ser utilizada uma célula a combustível do tipo Membrana (PEMFC), cuja estrutura básica é formada por dois eletrodos, um em que será inserido o hidrogênio (ânodo) e outro por onde ocorrerá a entrada de oxigênio (cátodo). Entre os eletrodos, deverá haver um eletrólito que permitirá a passagem de íons, mas que forçará os elétrons a serem transportados externamente, gerando uma corrente elétrica em sentido contrário ao transporte dos elétrons.

Faça valer a pena

1. As células a combustível (FC) são dispositivos eletroquímicos que produzem energia elétrica a partir do uso de um combustível, o hidrogênio puro ou um gás rico em hidrogênio. A respeito do funcionamento dessas células, analise as assertivas a seguir:

I. As FC são formadas por dois eletrodos: um ânodo e um cátodo e, entre eles, existe o eletrólito, cujo material permite que os elétrons sejam transportados, gerando uma corrente elétrica.

II. Para que uma FC funcione, é necessária a ocorrência de uma reação eletrolítica e, para isso, a célula a combustível precisa ser constantemente suprida por um combustível (hidrogênio), inserido no ânodo, reagindo com um oxidante (oxigênio), que é inserido pelo cátodo.

III. Uma característica interessante das FC é a possibilidade de empilhar os dispositivos, formando “pilhas de células” e permitindo a elevação da tensão de saída de uma unidade a qualquer valor.

Após a análise das assertivas, marque a alternativa que contém a resposta correta:

- a) As assertivas I, II e III estão corretas.
- b) Apenas as assertivas I e II estão corretas.
- c) Apenas as assertivas II e III estão corretas.
- d) Apenas as assertivas I e III estão corretas.
- e) Apenas a assertiva III está correta.

2. O hidrogênio utilizado pelas células a combustível é proveniente de uma fonte primária, que pode ser um combustível fóssil, ou uma fonte renovável, obtido por diferentes tecnologias, cuja escolha depende da quantidade e grau de pureza que se necessita. Uma determinada tecnologia de obtenção de hidrogênio utiliza energia elétrica para separar hidrogênio e oxigênio, que formam a molécula de água, utilizando uma célula eletrolítica, formada por dois eletrodos e um eletrólito, que pode ser uma solução aquosa de *KOH*, *NaOH*, ou um eletrólito imobilizado em matrizes poliméricas.

Assinale a alternativa que apresenta a tecnologia de obtenção de hidrogênio descrita no texto-base:

- a) Eletrólise da água.
- b) Oxidação parcial.
- c) Reforma a vapor.
- d) Pirólise rápida da biomassa.
- e) Reforma do bioetanol

3. Existem diferentes tipos de células a combustível (FC), cada qual com suas particularidades. Imagine que você necessite instalar em uma indústria uma FC. Essa instalação tem como objetivo a cogeração de eletricidade e calor e deverá apresentar alta eficiência, com capacidade de realizar reforma do combustível no interior da própria célula e utilizar como eletrólito o óxido de zircônio.

Dos tipos de células a seguir, qual é a opção que melhor se encaixa na descrição do texto-base?

- a) Alcalina.
- b) Membrana.
- c) Ácido fosfórico.
- d) Carbonatos fundidos.
- e) Cerâmica.

Seção 4.3

Aproveitamento energético do lixo urbano e resíduos industriais

Diálogo aberto

A Unidade 4 da disciplina Fontes alternativas de energia dedica-se ao estudo de tecnologias que visam fazer o aproveitamento energético de combustíveis obtidos a partir de fontes renováveis. Até o momento você conheceu características dos biocombustíveis e motores nos quais eles são empregados; aprendeu sobre o funcionamento das células a combustível e, agora, para finalizar esta unidade, conhecerá alguns aspectos sobre os resíduos sólidos urbanos e industriais e o seu respectivo tratamento e aproveitamento energético.

A realização de atividades cotidianas culmina com a geração de resíduos sólidos que precisam receber a destinação correta para a preservação da saúde e do meio ambiente. Ao longo da história da humanidade, epidemias assolaram o mundo, muitas das quais tiveram o seu início na falta de saneamento básico. O advento da industrialização contribuiu para que o quadro se agravasse, uma vez que levou à geração de uma maior quantidade de resíduos sólidos descartados de forma incorreta no meio ambiente.

No Brasil, após 21 anos de discussões no congresso, foi aprovada, em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010, Lei nº 12.305/10) que estabelece princípios, objetivos, diretrizes, metas e ações para a gestão de resíduos sólidos, entre elas, a obrigatoriedade de implantação de aterros sanitários e a importância do tratamento de resíduos para o aproveitamento energético antes de sua destinação final.

Lembre-se de que, no início desta unidade, você foi inserido em um contexto em que foi contratado como consultor técnico para estudar a possibilidade de aproveitamento energético em um aterro que atende a uma cidade de 300 mil habitantes e do qual se pretende modernizar as instalações. Esse aterro recebe cerca de 240 toneladas de resíduos por dia e recobre uma área total

de 45 hectares, dentro das quais estão a área para disposição dos resíduos, dois escritórios administrativos, área de pesagem e galpão para segregação do lixo. Inserido no projeto de modernização, está a possibilidade de produção e utilização do biogás e futura instalação de células a combustível.

O seu estudo foi dividido em três partes, sendo que a primeira e a segunda delas, que envolveram, respectivamente, um estudo sobre a possibilidade da utilização do biogás produzido pelo próprio aterro como combustível dentro das instalações e o uso de células a combustível na operação do aterro sanitário, já foram concluídas nas seções anteriores.

Na terceira e última parte de sua consultoria, analisando a quantidade de resíduo disposto no aterro diariamente, você chegou à conclusão de que é possível gerar uma boa quantidade de energia utilizando técnicas de tratamento dos resíduos. Visando esse aproveitamento energético dos resíduos, que métodos de tratamento poderiam ser empregados?

Para responder às questões e finalizar a sua consultoria, atente-se principalmente à leitura do conteúdo sobre os tratamentos de resíduos sólidos visando o aproveitamento energético, abordado ao longo desta terceira seção.

Bom trabalho!

Não pode faltar

Para iniciar esta seção, vamos a algumas questões norteadoras: você conhece os tipos de resíduos e sua classificação? Sabe como ocorre a destinação final dos resíduos gerados nos centros urbanos e nos processos industriais? Tem noção dos métodos de tratamento que são empregados visando ao aproveitamento energético dos resíduos gerados? Se você não conseguiu responder a essas questões, não se preocupe, pois elas serão discutidas ao longo desta seção.

A geração e a destinação adequada dos resíduos sólidos gerados sempre foram questões que levantaram muitos debates, devido à preocupação com a poluição do solo e dos recursos hídricos, além da necessidade de ocupação de área relativamente

ampla para a deposição do resíduo gerado que, por muito tempo, foi feita de forma incorreta, inclusive acarretando riscos à saúde e ao bem-estar da população.

Pensando na emergência do gerenciamento e gestão dos resíduos sólidos, no dia 2 de agosto de 2010 foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), que dispõe sobre diretrizes, princípios, objetivos e instrumentos relativos à gestão integrada e gerenciamento de resíduos sólidos.

De acordo com a Lei nº 12.305/2010 e a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com sua origem e periculosidade. Com relação à origem, segundo o art. 13 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), os resíduos podem ser classificados em:

a) Domiciliares: são originados em residências urbanas a partir de atividades domésticas.

b) Limpeza urbana: são provenientes de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, além de outros serviços de limpeza urbana.

c) Estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: são resíduos gerados no comércio e em atividades de prestação de serviço, com exceção dos provenientes de limpeza urbana, resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, resíduos de serviços de saúde, resíduos da construção civil e resíduos de serviços de transportes.

d) Serviços públicos de saneamento básico: são resíduos gerados a partir dos serviços de saneamento básico, com exceção dos resíduos domiciliares e de limpeza urbana.

e) Industriais: são resíduos gerados a partir de processos produtivos e instalações industriais.

f) Serviços de saúde: resíduos originados nos serviços de saúde.

g) Construção civil: são resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos nesse caso, os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.

h) Agrossilvopastoris: são os resíduos gerados em atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os insumos que são utilizados nessas atividades.

i) Serviços de transportes: são resíduos originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários ferroviários e passagens de fronteira.

j) Mineração: resíduos gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Os resíduos domiciliares e de limpeza urbana, em conjunto, são denominados resíduos sólidos urbanos (RSU) e a critério do poder público municipal, respeitando as características e a quantidade de resíduo gerada, podem ser incluídos dentro dessa mesma categoria os resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços.

Quanto à periculosidade, os resíduos podem ser classificados em:

- Perigosos: são aqueles que podem apresentar como característica inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, e, portanto, apresentam risco significativo à saúde pública ou podem interferir na qualidade ambiental.

- Não perigosos: são aqueles que não apresentam as características destacadas para os resíduos perigosos.



Pesquise mais

Quer saber mais sobre a classificação dos resíduos sólidos quanto à sua periculosidade? Então não deixe de acessar a ABNT NBR 10004:2004, disponível a seguir.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <<http://www.unaerp.br/documentos/2234-abnt-nbr-10004/file>>. Acesso em: 13 set. 2017.

A fim de facilitar o gerenciamento dos resíduos, eles podem ainda ser caracterizados de acordo com a sua natureza em: físicos, químicos e biológicos. Tal caracterização influenciará nos tipos de tratamentos disponíveis, conforme veremos mais adiante nesta seção. De acordo com a NBR 10004:2004 da ABNT, são características dos resíduos:

- Físicas: *geração per capita* (quantidade de resíduo gerada por habitante diariamente); *composição gravimétrica* (percentual de cada componente – papel, plástico, alumínio, vidro, metal, matéria orgânica, entre outros – em relação ao peso total da amostra de resíduo analisada); *peso específico aparente* (peso do resíduo sem compactação, solto em função do volume ocupado); *teor de umidade* (quantidade de água presente no resíduo) e *compressividade* (grau de redução de volume do resíduo após compactação).

- Químicas: *poder calorífico* (capacidade de liberação de calor quando incinerado); *pH* (teor de acidez ou alcalinidade do resíduo); *composição química* (teores de compostos químicos presentes no resíduo); *relação carbono/nitrogênio* (grau de decomposição da matéria orgânica presente no resíduo).

- Biológicas: presença de população microbiana e agentes patogênicos nos resíduos.

Por se tratar de um tema amplo, voltaremos a nossa atenção, nesta seção, aos resíduos sólidos urbanos (que, como mencionado anteriormente, incluem os resíduos domiciliares, de limpeza urbana e, em alguns casos, os resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços) e industriais.

De acordo com dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), no ano de 2015 a geração total de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil foi de 218.874 toneladas por dia, dado que representa um aumento de 1,7% em relação ao ano anterior. Com relação à geração per capita de resíduos sólidos, ou seja, a quantidade de resíduos que uma pessoa gera, em média, o número registrado no ano de 2015 foi de 1,071 Kg/hab/dia, um aumento de 0,8% em relação ao ano de 2014, dado que equivale ao crescimento populacional do país, que também foi de 0,8% em 2015 com relação a 2014 (ABRELPE, 2016).

Ainda, segundo dados da Abrelpe (2016), o índice de cobertura de coleta dos RSU gerados no Brasil é de 90,8%, sendo que 9,2%, que em 2015 representaria 7,3 milhões de toneladas de resíduos, não são coletados e, conseqüentemente, são destinados de forma incorreta.



Você conhece os dados do saneamento básico de sua cidade? Acredita que a população do local em que mora contribui para a redução e a reciclagem dos resíduos sólidos que geram? O que poderia ser feito para melhorar o panorama do saneamento na sua cidade? Reflita sobre essas questões!

Qual seria a forma correta de destinar esses resíduos? De acordo com a PNRS, os resíduos devem passar por segregação na fonte, coleta seletiva e, aquilo que não for passível de ser reaproveitado, reciclado ou tratado para aproveitamento energético, deve ser destinado aos aterros sanitários. Para que a destinação correta dos resíduos fosse atendida em sua totalidade, a política preconizou o fim dos lixões e sua substituição por aterros em quatro anos a partir da promulgação da Lei nº 12.605/10 (BRASIL, 2010). Isso quer dizer que, de acordo com a legislação em questão, todos os lixões deveriam passar por desativação até o dia 2 de agosto de 2014, estando o gestor que desobedecesse tal lei, sujeito a sofrer as sanções da lei de crimes ambientais.

No entanto, de acordo com dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil sob responsabilidade da Abrelpe, em 2015 (um ano após o prazo final para a desativação dos lixões), o Brasil ainda tinha 1552 municípios com lixões ativos, um número um pouco menor com relação a 2014, que era de 1559. Ao todo, cerca de 41,3% dos resíduos sólidos gerados em 2015 receberam destinação incorreta. A Tabela 4.2 apresenta a quantidade de municípios por tipo de disposição adotada em cada região brasileira no ano de 2015.

Tabela 4.2 | Quantidade de municípios por região, tipo de disposição final adotada em 2015 e comparação com o total em 2014

Disposição final	Regiões					Brasil	Brasil - 2014
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul		
Aterro Sanitário	97	456	165	820	706	2244	2236
Aterro Controlado	110	504	148	646	366	1774	1775
Lixão	243	834	154	202	119	1552	1559
BRASIL	450	1794	467	1668	1191	5570	5570

Fonte: adaptada de: Abrelpe (2016, p. 24).

Você notou que a Tabela 4.2 apresenta três formas de disposição final de resíduos: lixão, aterro controlado e aterro sanitário. Vamos compreender, neste momento, que diferenças existem entre cada um desses métodos de disposição.

Nos lixões, o resíduo sólido é depositado diretamente no solo e não recebe nenhum tipo de cobertura, ficando exposto a céu aberto. Esse método de disposição de resíduos atrai animais que se alimentam dos restos de alimentos e catadores de objetos recicláveis, representando um risco à saúde. Além disso, são fontes de odores e o chorume (líquido oriundo da decomposição da matéria orgânica) representa uma fonte de contaminação do solo e de águas subterrâneas.

Os aterros controlados surgiram como uma forma de reduzir os impactos à saúde, decorrentes da disposição de resíduos nos lixões. Diferem dos anteriores pela cobertura, com terra, depositada sobre os resíduos, visando impedir a chegada de animais e minimizar a ação dos catadores. No entanto, por não apresentar uma proteção no solo em que o resíduo é depositado, ainda há contaminação do solo e águas subterrâneas pelo chorume.

Nos aterros sanitários os resíduos, são depositados sobre o solo impermeabilizado com uma manta que impede que o chorume, que é coletado por tubulações e enviado para estação de tratamento, cause contaminações. Além disso, o resíduo recebe uma cobertura para impedir a atração de animais e catadores e os gases, gerados a partir da decomposição da matéria orgânica,

são coletados. Normalmente, os aterros sanitários são construídos em locais afastados das residências e são delimitados com cercas-vivas para reduzir o impacto estético provocado pela presença de um aterro.



Assimile

De acordo com a PNRS, os resíduos sólidos são quaisquer materiais, substâncias, objetos ou bens descartados, oriundos de atividades humanas, em que a destinação final deve ser realizada em estado sólido ou semissólido, incluindo gases contidos em recipientes. Os rejeitos são considerados a "sobra" dos resíduos sólidos, após terem passado por processo de reciclagem ou reutilização. A legislação prevê que os resíduos sólidos sejam submetidos a todas as possibilidades de tratamento e recuperação, usando a tecnologia disponível e economicamente viável, antes de ser enviado para a disposição final ambientalmente correta, em aterros sanitários. Tal medida visa evitar riscos à saúde pública e à segurança, bem como minimizar os impactos ambientais oriundos da geração de resíduos.

Com relação aos resíduos industriais, suas características e grau de periculosidade variam em função do processo produtivo empregado e da matéria-prima utilizada. Tal como nos RSU, existe a possibilidade de reciclagem desses resíduos e do tratamento visando recuperação energética. A resolução CONAMA nº 313/2002 (BRASIL, 2002) dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, que apresenta informação acerca da geração, características, transporte, armazenamento, reutilização, reciclagem, tratamento, recuperação e disposição final dos resíduos sólidos que são gerados no parque industrial brasileiro.

Tendo em vista que tanto os RSU quanto os resíduos industriais podem passar por processo de tratamento para recuperação energética, destacaremos os processos de tratamento térmico, que podem ser empregados para ambas as origens dos resíduos, respeitando as suas características.

Denominamos recuperação energética os métodos e os processos que permitem que parte da energia dos resíduos sólidos seja recuperada. Tais métodos, cuja escolha e eficiência

dependerão das características dos resíduos, podem ser divididos basicamente em dois grupos: incineração/mass burning, que envolvem a utilização de oxigênio em excesso e a gaseificação/pirólise, que utilizam pouco (ou nenhum) oxigênio para o seu funcionamento. Além disso, quando os resíduos orgânicos são separados dos resíduos inorgânicos, a biodigestão pode ser empregada como uma forma eficiente de tratamento.

Nesta seção, daremos enfoque principal aos processos de incineração e pirólise e apresentaremos outro método relacionado ao tratamento térmico dos resíduos com o objetivo de recuperação energética, a tecnologia de plasma. Os demais processos citados já foram estudados em unidades anteriores, portanto, para lembrar os conceitos sobre a biodigestão anaeróbia e sobre a gaseificação, releia a Seção 2.3 “Energia de biomassa”, da Unidade 2, “Energia solar, eólica e de biomassa”, e a Seção 3.3 “Gaseificação”, da Unidade 3, “Energia hidráulica e gaseificação”.

A incineração, indicada para os materiais que não podem ser reciclados ou reaproveitados, envolve a combustão total dos resíduos, com presença constante de oxigênio, com o objetivo de redução de peso e volume (e ocasionalmente a periculosidade, no caso de resíduos perigosos), possibilitando ainda a utilização do calor gerado no aquecimento de caldeiras e produção de vapor para a movimentação de turbinas geradoras de eletricidade. Os incineradores são formados por um dispositivo de alimentação, por onde o resíduo é inserido em uma câmara primária, que recebe injeção de ar e, se necessário, de combustível auxiliar. Uma segunda câmara (câmara secundária) acoplada à primeira, recebe os gases oriundos da incineração e mais ar é injetado. Os gases são então enviados para uma seção de tratamento e podem ser utilizados para a geração de eletricidade. As cinzas que restaram da incineração são retiradas. Entre as vantagens do uso da incineração destaca-se a redução da área do aterro, já que ela pode reduzir o volume do RSU de 80% a 90% (BARROS, 2013), sendo essa redução imediata, já que não depende da ação de microrganismos para a decomposição; também destaca-se que, com a utilização de tecnologias de recuperação de calor, é possível realizar a compensação dos custos da operação com a comercialização de energia; e o fato de que os efluentes gasosos que são gerados são passíveis de serem tratados. No entanto, é importante ressaltar

que a escolha pela incineração deve ser precedida de estudos sobre a composição dos resíduos, já que alguns materiais podem originar emissões nocivas quando queimados, entre eles aqueles que possuem metais pesados. As práticas operacionais devem ser executadas corretamente para não originar dioxinas e furanos, altamente tóxicos. Tudo isso exige que um capital elevado seja investido em equipamentos e treinamento de operadores.

Na pirólise, o RSU passa por um processo de degradação térmica em uma atmosfera com reduzida quantidade de oxigênio, resultando na formação de subprodutos líquidos, gasosos e sólidos, que podem ser utilizados como fonte energética. Tal processo ocorre no interior de reatores pirolíticos que são alimentados de forma descendente com resíduos triturados e da parte inferior saem as cinzas. O equipamento funciona em fases: na primeira, que envolve temperaturas de 100 °C a 200 °C e ocorre na parte superior do reator, os resíduos são secados; na segunda, que acontece nas regiões média e inferior do reator e é composta por três subetapas, ocorre a volatilização e fusão (na região média) e exclusão das cinzas (na região inferior), com temperaturas variando entre 300 °C e 1600 °C (região média). Assim como na incineração, existem vantagens e desvantagens do uso de pirólise para o tratamento térmico de resíduos sólidos.

Entre as vantagens estão a redução do volume de resíduos que conseqüentemente contribui para uma economia da área de aterros, a geração de gás combustível para a produção de energia e a possibilidade de descentralização do tratamento (JÚNIOR; SAIANI; DOURADO, 2014). Os riscos com a produção de gases tóxicos e em desacordo com a legislação ambiental e os altos custos com equipamentos e operadores qualificados são apontados como desvantagens do processo.

Na tecnologia de plasma, usa-se temperaturas muito elevadas em um ambiente com ausência de oxigênio, em que o resíduo é decomposto em moléculas simples gerando como subprodutos um gás combustível e um rejeito inerte. Para o processamento do resíduo, utiliza-se uma corrente elétrica que ioniza um gás inerte, originando a formação de um arco elétrico com temperaturas que podem ultrapassar 6000 °C. Nessa temperatura, ocorre a vaporização dos compostos voláteis e a fundição da matéria

inorgânica, formando um rejeito vitrificado. A tecnologia de plasma apresenta a vantagem de tratar uma variada gama de resíduos e o processo resulta em formação de gases, formados, principalmente, por monóxido de carbono e hidrogênio, que podem ser utilizados como fonte de combustível e para a geração de eletricidade. No entanto, há de se ressaltar que a elevada demanda energética do processo pode representar altos custos e uma desvantagem da utilização do processo.



Exemplificando

As Usinas de Recuperação Energética (URE) de RSU visam aproveitar o potencial energético dos resíduos que seriam destinados aos aterros sanitários para a geração de energia elétrica e térmica. Diferente das usinas hidrelétricas e termelétricas, nas usinas de recuperação energética o objetivo principal não é a geração de energia, mas o saneamento básico, tendo como subproduto a possibilidade de aproveitamento energético. A primeira usina de recuperação energética do Brasil está sendo implantada em Barueri (SP) e terá capacidade para tratar 825 toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos, com a geração de 20 MWh de energia elétrica, suficiente para abastecer 80 mil residências.

Para saber mais sobre o funcionamento da URE de Barueri, acesse os vídeos a seguir.

URE Barueri. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=m7CXFujTN0c>>. Acesso em: 13 set. 2017.

Unidade de Recuperação Energética Barueri. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=BiL2cbRECSA>>. Acesso em: 13 set. 2017.

Chegamos ao final de nossa última unidade e para finalizar a sua jornada, não deixe de retomar a leitura e realizar anotações sobre os conteúdos que mais lhe chamaram a atenção ou aqueles em que sentiu maiores dificuldades de compreensão. É sempre importante buscar a complementação de seus estudos em fontes de pesquisa diversificadas e manter-se atualizado sobre as fontes alternativas de energia disponíveis no mercado.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU), formados pelos resíduos domiciliares, de limpeza urbana e, em alguns casos, os resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, são compostos principalmente por material orgânico e materiais inorgânicos. É possível o aproveitamento energético do RSU, no entanto, é desejável que o material passível de ser reciclado seja separado, já que constituem uma fonte de renda que não deve ser desperdiçada. A matéria orgânica, caso seja separada do material inorgânico, pode passar pelo processo de biodigestão (assunto tratado na Unidade 3), gerando um gás rico em metano, que pode ser utilizado para acender chama de fogão ou abastecer veículos. O material inorgânico resultante (que não pode ser reciclado) pode passar pela incineração, pirólise ou tecnologia de plasma.

A incineração consiste na combustão total dos resíduos, com presença constante de oxigênio, com o objetivo de redução de peso e volume (e ocasionalmente, da periculosidade, no caso de resíduos perigosos), possibilitando ainda a utilização do calor gerado no aquecimento de caldeiras e produção de vapor para a movimentação de turbinas geradoras de eletricidade. Os incineradores são formados por um dispositivo de alimentação, por onde o resíduo é inserido em uma câmara primária, que recebe injeção de ar e, se necessário, de combustível auxiliar. Uma segunda câmara (câmara secundária) acoplada à primeira, recebe os gases oriundos da incineração e mais ar é injetado. Os gases são então enviados para uma seção de tratamento e podem ser utilizados para a geração de eletricidade.

Na pirólise, o RSU passa por um processo de degradação térmica em uma atmosfera com reduzida quantidade de oxigênio, resultando na formação de subprodutos líquidos, gasosos e sólidos, que podem ser utilizados como fonte energética. Tal processo ocorre no interior de reatores pirolíticos que são alimentados de forma descendente com resíduos triturados e, de sua parte inferior, saem as cinzas. O equipamento funciona em fases: na primeira, que envolve temperaturas de 100 °C a 200 °C e ocorre na parte superior do reator, os resíduos são secados; na segunda, que acontece nas regiões média e inferior do reator e é composta por

três subetapas, ocorre a volatilização e a fusão (na região média) e exclusão das cinzas (na região inferior), com temperaturas variando entre 300 °C e 1600 °C (região média).

Na tecnologia de plasma, usa-se temperaturas muito elevadas em um ambiente com ausência de oxigênio, em que o resíduo é decomposto em moléculas simples gerando, como subprodutos, um gás combustível e um rejeito inerte. Para o processamento do resíduo utiliza-se uma corrente elétrica que ioniza um gás inerte, originando a formação de um arco elétrico com temperaturas que podem ultrapassar 6000 °C. Nessa temperatura, ocorre a vaporização dos compostos voláteis e a fundição da matéria inorgânica, formando um rejeito vitrificado.

É importante lembrar que, independentemente da tecnologia escolhida, há vantagens e desvantagens que envolvem os custos com equipamentos para o tratamento de gases e mão de obra qualificada. Esses aspectos devem ser analisados antes da escolha do tratamento.

Uma oportunidade para o caso em questão é a implantação de usinas de recuperação energética, que visam aproveitar o potencial energético dos resíduos que seriam destinados aos aterros sanitários para a geração de energia elétrica e térmica.

Avançando na prática

A energia que vem dos resíduos

Descrição da situação-problema

As indústrias de mineração são responsáveis pela geração de diversos tipos de resíduos, incluindo os perigosos, que, quando destinados de forma incorreta, podem trazer danos ao ambiente e à saúde da população. Imagine que você foi contratado por uma indústria de mineração que deseja realizar o aproveitamento energético dos resíduos gerados em suas instalações. Foi solicitado a você que orientasse os funcionários da indústria sobre a possibilidade do uso de tratamento térmico para aproveitamento energético.

Para isso, você deve responder às seguintes questões norteadoras: o que deve ser levado em consideração para propor a instalação de um equipamento de tratamento térmico? Viabilizada

a sua instalação, de que forma esse equipamento poderia contribuir para o aproveitamento energético dos resíduos?

Resolução da situação-problema

Inicialmente, é importante lembrar que, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos de mineração são aqueles gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minério. No entanto, as mineradoras não possuem apenas esse tipo de resíduo, já que existem setores na mineradora que são geradores de outros materiais. Antes de propor o tratamento térmico dos resíduos é importante que eles sejam caracterizados, já que, no caso da mineração, existem aqueles cuja composição pode conter produtos voláteis tóxicos ao serem queimados.

Para auxiliar nesse trabalho, a resolução CONAMA nº 313/2002 (BRASIL, 2002) dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, que apresenta informação acerca da geração, características, transporte, armazenamento, reutilização, reciclagem, tratamento, recuperação e disposição final dos resíduos sólidos que são gerados no parque industrial brasileiro. Atestada a viabilidade da utilização do tratamento térmico, é possível que o calor gerado no processo seja aproveitado para a geração de eletricidade, a fim de abastecer as instalações da mineradora.

Faça valer a pena

1. A problemática ambiental relacionada à geração de lixo foi discutida ao longo de mais de 20 anos até que foi promulgada a lei que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Tal lei, com a NBR 10004:2004, estabelece a classificação para os resíduos sólidos. Sobre esse assunto, analise as assertivas a seguir:

- I. O poder calorífero dos resíduos é um fator que interfere na escolha do método de tratamento adequado e é tratado na NBR 10004:2004 como um fator físico.
- II. Um resíduo que apresenta como característica o fato de ser inflamável é classificado como perigoso, de acordo com a norma.
- III. A composição gravimétrica do resíduo diz respeito ao percentual de cada componente – papel, plástico, alumínio, vidro, metal, matéria

orgânica, entre outros – em relação ao peso total da amostra de resíduo analisada e é uma característica física, de acordo com a legislação.

Após a análise das assertivas, assinale a alternativa que apresenta a resposta correta:

- a) As assertivas I, II e III estão corretas.
- b) Apenas as assertivas I e II estão corretas.
- c) Apenas as assertivas II e III estão corretas.
- d) Apenas a assertiva I está correta.
- e) Apenas a assertiva II está correta.

2. A incineração é um dos métodos de tratamento dos resíduos sólidos, que visa ao aproveitamento energético. Ela pode ser utilizada para uma gama de materiais, incluindo aqueles cujas características impedem que sejam dispostos em aterros sanitários.

A respeito do processo de incineração no tratamento de resíduos sólidos, marque a alternativa correta:

- a) É desejável que os resíduos reciclados sejam tratados por meio da incineração visando ao seu aproveitamento energético.
- b) Uma das vantagens da incineração é que os gases que são gerados não precisam passar por tratamento.
- c) Na incineração, não é necessário a utilização de oxigênio para a realização da combustão dos resíduos.
- d) A escolha pela incineração deve ser precedida de estudos sobre a composição dos resíduos, já que alguns materiais podem originar emissões nocivas quando queimados.
- e) Para o processamento do resíduo na incineração, utiliza-se uma corrente elétrica que ioniza um gás inerte.

3. Leia o texto e em seguida marque a resposta correta.

_____ é o processo em que o RSU passa pela degradação térmica em uma atmosfera com _____ quantidade de oxigênio, resultando na formação de subprodutos líquidos, gasosos e sólidos, que podem ser utilizados como fonte energética.

Marque a alternativa que apresenta os termos que preenchem corretamente as lacunas:

- a) Pirólise; reduzida.
- b) Incineração; reduzida.
- c) Pirólise; grande.
- d) Incineração; grande.
- e) Tecnologia de plasma; grande.

Referências

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015. **Abrelpe**, São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

ABREU, Fábio Viana de. **Biogás**: economia, regulação e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BARROS, Regina Mambeli. **Tratado sobre resíduos sólidos**: gestão, uso e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis>>. Acesso em: 9 jul. 2017.

_____. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Legislativo, 3 ago. 2010, p. 2.

_____. Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. **Diário Oficial da União**, Conselho Nacional do Meio Ambiente, 22 nov. 2002, Seção 1, p. 85-91.

JÚNIOR, Rudinel Tonedo; SAIANI, Carlos César Santejo; DOURADO, Juscelino. **Resíduos sólidos no Brasil**. Barueri: Manole, 2014.

LORA, Electo Eduardo Silva; VENTURINI, Osvaldo José. **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2011.

TILLMANN, Carlos Antônio da Costa. **Motores de combustão interna e seus sistemas**. Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2013.

VARELLA, Carlos Alberto Alves; SANTOS, Gilmar de Souza. **Noções básicas de Motores Diesel**. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2010.

WENDT, Hartmut; GÖTZ, Michael; LINARDI, Marcelo. Tecnologias de células a combustível. **Química Nova**, v. 23, n. 4, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n4/2655.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

ISBN 978-85-522-0175-5



9 788552 201755 >