



Water-Energy Nexus: Review of Literature in Management of Integrated Systems, Challenges and Opportunities. Case Study in Urban Context **O Nexus Água-Energia: Revisão de Literatura em Gestão de Sistemas Integrados, Desafios e Oportunidades. Caso de Estudo em Contexto Urbano**

Ana Rita Carrico Silva; ana.rita.silva@ubi.pt

Universidade da Beira Interior

Fernando Manuel Bigares Charrua Santos - bigares@ubi.pt

Universidade da Beira Interior

António Eduardo Vitória do Espírito Santo - aes@ubi.pt

Universidade da Beira Interior

José Carlos Páscoa Marques - pascoa@ubi.pt

Universidade da Beira Interior

Cristina Maria Sena Fael - cmsf@ubi.pt

Universidade da Beira Interior

Abstract

In a society where Energy and Water walk side by side in practically all sectors of activity, it becomes necessary to analyze them from a productive, economic and sustainable point of view. From the extraction of mines and wells, to its treatment and transportation, and to the cooling systems of energy production, and despite being independently developed, managed and regulated, it is known that water needs energy and energy needs water. All these concerns, decision-making and the relationship between water and energy by itself create an opportunity to improve management in both sectors. There is an urgent need to consider all the assumptions and alternatives to improve the system and reduce energy consumption, which includes technological modifications and optimized resources management, leading to a more sustainable future. The increasing demand for energy and its exponential trend will have repercussions at all levels and will consequently increase the strain on freshwater resources with the most affected agricultural and industrial sectors. By improving the efficiency of water and energy use, there are positive repercussions that allow for substantial savings, especially where there is a lack of such resources. This article aims to address all these crucial issues related to energy and water in order to increase knowledge on the subject and to help promote alternatives for managing and developing integrated management systems and, consequently, for a rational use of both resources and a more sustainable future.

Resumo

Numa sociedade onde a Energia e a Água caminham lado a lado em praticamente todos os setores de atividade, torna-se necessário analisá-los sob um ponto de vista produtivo, económico e sustentável. Desde a extração de minas e poços, até ao respetivo tratamento e transporte e ainda aos sistemas de arrefecimento da produção de energia, e apesar de independentemente desenvolvidos, geridos e regulados, é sabido que a água precisa de energia e a energia de água. Todas estas preocupações, tomadas de decisão e a própria relação entre a água e a energia, criam uma oportunidade para melhorar a gestão de ambos os setores. Existe uma necessidade urgente de considerar todas as hipóteses e alternativas para melhorar o sistema e reduzir o consumo energético, que incluem algumas modificações tecnológicas e uma gestão otimizada dos recursos, levando a um futuro mais sustentável. A crescente procura de energia e a sua tendência exponencial trará repercussões a todos os níveis e consequentemente aumentará a tensão sobre os recursos de água doce, com os setores agrícola e industrial mais afetados. Ao melhorar a eficiência do uso da água e energia, surgem repercussões muito positivas que permitem uma poupança substancial, especialmente onde existe falta de tais recursos. O presente artigo pretende abordar todas estas questões cruciais relacionadas com a energia e água, a fim de aumentar o conhecimento sobre a matéria e ajudar a promover alternativas para gerir e desenvolver sistemas de gestão integrados e, consequentemente, encaminhar para um uso racional de ambos os recursos e um futuro mais sustentável.

Keywords

Renewable Energy; Energy Maximization; Integrated Systems Optimization



O Nexus Água-Energia: Revisão de Literatura em Gestão de Sistemas Integrados, Desafios e Oportunidades. Caso de Estudo em Contexto Urbano

1. Introdução e Enquadramento

Apesar de ser considerada um recurso renovável e abundante, a água nem sempre está disponível para consumo humano em qualidade, quantidade, tempo e lugar necessários, e, portanto, a sua disponibilidade pode afetar diretamente qualquer sistema energético. O rápido crescimento humano, a industrialização centralizada e a melhoria do estilo de vida da sociedade são os principais fatores que contribuem para o aumento da procura da água na maioria das regiões do planeta. Adicionalmente, a atual e já prolongada crise energética é e continuará exponencialmente a ser um resultado do crescente uso de fontes primárias e da necessidade da sua transformação para obter energia, que, sendo cada vez mais crucial para o funcionamento normal de todas as atividades humanas, tende a desobedecer a renovação terrestre natural.

Sabe-se que o uso da água é fundamental no setor da energia, na medida em que esta se torna indispensável no processo de extração, processamento, armazenamento e transporte de recursos energéticos, tais como o gás natural, urânio, biocombustíveis, etc. Por outro lado, a energia é necessária no setor da água, sendo envolvida em processos como a captação, tratamento e abastecimento de água. Estima-se que cerca de 5% a 30% do custo total da operação de infraestruturas hídricas pertence ao consumo elétrico [1]. Ainda, se por um lado, cerca de 748 milhões de pessoas não têm acesso a uma fonte de água potável, 3 mil milhões não têm sequer acesso a água e 2.5 milhões não têm acesso a sistemas de saneamento, mais de 1.3 mil milhões de pessoas não têm acesso à eletricidade e cerca de 2.6 mil milhões usam combustíveis sólidos (como por exemplo biomassa) para cozinhar [2], [3], [4]. Todas estas sinergias entre ambos os setores, e de forma a alcançar um futuro desenvolvimento sustentável, começam a ser exigidos serviços integrados hídricos e energéticos.

Ainda em “Cenários energéticos 2013: composição dos futuros energéticos até 2050” (2013 *Energy Scenarios: Composing energy futures to 2050*) [5], o Secretário Geral do CME, Christoph Frei, revela que “o planeta atravessa um período de incerteza sem precedentes para o setor da energia”. A procura de energia impulsionada pelo crescimento económico de países não-OECD (*Organization for Economic Co-Operation and Development*) continua a aumentar e a pressão para desenvolver e transformar o sistema energético é tremendo. O documento, “estima a evolução do setor energético na sua globalidade. Entre as suas conclusões, o relatório antevê o potencial papel das energias renováveis e dos combustíveis fósseis no *mix* de energia primária, os investimentos em infraestruturas necessários para satisfazer a procura futura da eletricidade e as diferenças regionais no novo panorama energético” [6].

Outro desafio igualmente importante é o controlo das mudanças climáticas. O aumento de secas, ondas de calor e escassez de água em algumas regiões do globo terrestre fazem com que haja uma interrupção na produção de eletricidade com graves consequências económicas. Por outro lado, se há uma interrupção na produção de energia, surgem limitações na prestação de serviços relacionados com a água [7].

De uma maneira geral, a Agência Internacional da Energia prevê um aumento na procura de energia na ordem de um terço para o ano de 2035, com um aumento da procura de eletricidade em cerca de 70% no mesmo período. Em relação às fontes primárias, é muito provável que a transição dos combustíveis fósseis para alternativas mais vantajosas e sustentáveis demore um período de tempo ainda considerável. Estima-se também, que a procura aumente para todos os tipos de energia: o petróleo em 13%, o carvão em 17%, o gás natural em 48%, a nuclear em 66% e as renováveis em 77%. A produção de energia global continuará a ser dominada pela eletricidade térmica principalmente a partir do carvão. A



quota de energias renováveis, incluindo a hidroelétrica deverá duplicar, representando cerca de 30% da produção de eletricidade em 2035 [8].

Uma vez que 90% da produção de energia térmica se concentra na água, a estimativa de aumento de 70% no ano de 2035 na produção de eletricidade traduz-se num aumento de 20% na exploração das captações de água doce. O consumo da água irá aumentar em 85%, devido à melhoria da eficiência das centrais termoelétricas com sistemas de arrefecimento mais avançados, que reduzem as captações, mas aumentam o consumo, para além do aumento da produção de biocombustíveis [2]. Já a UNESCO, revela que apesar da produção hidroelétrica não consumir água, precisa de a armazenar em grandes quantidades, de maneira que pode ou não afetar a disponibilidade do recurso para outros usos [7]. O mesmo documento, revela ainda que em termos de impacto hídrico, as energias solar e eólica são os tipos de produção de energia mais sustentáveis. Contudo, na maioria dos casos, o serviço intermitente provido pela eólica e solar tem de ser compensado por outras fontes de energia que requerem sempre grandes quantidades de água para manter o equilíbrio de carga. Apesar do aumento de proporção em relação à produção de energia tradicional, as renováveis estão ainda subdesenvolvidas [9]. As energias eólica e solar representam apenas 3% da energia global. Embora se espere que cresçam rapidamente nas próximas décadas, não é muito provável que representem mais de 10% da produção de eletricidade no ano de 2035 [2].

2. Sistemas Integrados de Água e Energia: Desafios e Oportunidades

De acordo com o que foi dito anteriormente, o aumento da procura de energia e água tem repercussões negativas e aumentará a tensão maioritariamente nos recursos de água doce, sendo os setores agrícola e industrial os mais afetados. Sabe-se que o setor agrícola abrange cerca de 70% das captações de água do planeta e a produção de produtos alimentares e redes de abastecimento contam com aproximadamente 30% do consumo total de energia [9]. O setor industrial usa cerca de 37% do uso primário de energia global e utiliza menor quantidade de água proporcionalmente [10]. O relatório produzido pelo Conselho Mundial de Energia em 2010, *Water for Energy*, avalia a escala do problema, e revela as fases do processo necessárias para garantir a sustentabilidade do sistema integrado energia-água e que a água esteja disponível para toda a procura de energia, incluindo dados sobre os requisitos de água nas demais tecnologias energéticas e sobre as necessidades regionais de água. O relatório conclui que provavelmente é possível atender à futura procura de água na produção de energia, mas que esta precisa de estar incluída na política de tomada de decisões, assim como no paradigma de cooperação internacional entre governos, entre empresas, e entre governos e empresas [11].

Um dos maiores desafios em relação à melhoria dos sistemas energético e hídrico passa por diminuir a intensidade da água no combustível e na produção de energia, que atualmente é dominado por centrais termoelétricas com cerca de 80% da produção global [7], pelo que a maximização da eficiência do uso da água nas centrais é um fator essencial e determinante para alcançar um futuro hídrico sustentável. O uso de recursos hídricos alternativos, como por exemplo a água do mar ou águas residuais oferece um grande potencial para reduzir a procura da água doce [9].

Quanto às energias solar e eólica, apesar de competitivas e contrariamente à hidroelétrica e geotérmica, continuam a ser uma alternativa dispendiosa e exige um suporte político para promover a sua instalação na maior parte dos países. Para além de representarem uma alternativa muito viável à energia térmica e à sua exploração abusiva das reservas hídricas, as energias renováveis apresentam mais benefícios, nomeadamente, o aumento da segurança energética e da diversidade, a redução das emissões de gases de efeito de estufa (GEE) e poluição local, a contribuição para um crescimento sustentável e as soluções mini-rede ou fora da rede que oferecem sistemas menos dispendiosos do que a extensão da rede convencional às áreas rurais [8]. As renováveis, como a eólica, fotovoltaica e geotérmica, apesar de serem marginais a uma escala global, podem contribuir substancialmente para o abastecimento de energia e para a diminuição de procura de água doce.

Quer seja por motivos económicos, políticos ou sociais, é sabido que em termos tecnológicos, o setor energético evoluiu rapidamente. Estão a ser levados a cabo inúmeras soluções para que a eficiência energética global aumente e contribua para uma exploração sustentável a longo



prazo. O uso de petróleo e gás não convencionais, o gás liquefeito que vai aumentando a flexibilidade do abastecimento e grandes quantidades de fontes renováveis estão a ser integrados no sistema [2]. Contudo, e apesar da exceção das áreas onde a água é mais escassa, a disponibilidade e os impactos da exploração da água para os demais processos de produção de energia é muito raramente tida em conta no estudo de formulações energéticas e políticas, sendo que os dois domínios (água e energia) têm sido historicamente regulamentados e geridos separadamente [12], o que conseqüentemente levou à adoção de práticas insustentáveis que atualmente comprometem a disponibilidade dos recursos hídricos. Existem, no entanto, e conforme foi dito anteriormente, algumas medidas a serem consideradas e que permitem a criação de sinergias benéficas para os serviços de água e de produção de energia, tais como: centrais combinadas de energia e dessalinização, centrais combinadas de calor e energia, o uso de fontes hídricas alternativas para arrefecimento das infraestruturas e até a recuperação de energia através de águas residuais [13]. Medidas estas que podem não ser levadas a cabo em algumas situações, caso a competitividade pelos recursos tenha maior significado do que os objetivos sustentáveis da ligação entre a água e a energia. Será necessária uma cooperação entre os responsáveis pelas tomadas de decisão das redes elétricas e das instituições de abastecimento de água que operam na mesma região juntamente com o governo nacional para que se proceda a uma gestão melhorada e eficiente da água e da energia. Tal cooperação pode ainda beneficiar e permitir o uso sustentável da água para outros tipos de produção energética na região. Do ponto de vista de um desenvolvimento sustentável, as limitações e a disponibilidade da água para a produção de energia serão fatores críticos para alcançar os objetivos do SDG (*Sustainable Development Goals*) da energia. Mesmo que a produção de eletricidade através do sistema eólico ou fotovoltaico duplicasse, haveria ainda uma forte necessidade de recorrer a fontes de energia com recurso à água para conseguir o acesso universal a serviços sustentáveis e viáveis e apoiar o crescimento económico e industrial global [7].

As alterações climáticas, a poluição e a insegurança energética estão entre os maiores problemas dos dias de hoje. Para abordar tais problemas, são necessárias grandes mudanças nas infraestruturas energéticas. Em 2010, e mais precisamente sobre a temática abordada no desenvolvimento do conceito em contexto urbano no caso de estudo prático do presente trabalho, Mark Jacobson e Mark Delucchi publicaram dois artigos: “Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials” e “Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies” [14], [15]. Na primeira parte, discutem as características do sistema energético WWS (Wind - Water - Solar), a atual e futura procura, a disponibilidade das fontes energéticas WWS, número de dispositivos WWS necessários, e requisitos de material e área. Na parte II, abordam-se a variabilidade, economia e políticas da energia WWS. Estima-se que cerca de 3 800 000 turbinas eólicas de 5 MW, 49 000 centrais solares concentradas de 300 MW, 40 000 centrais de PV solares de 300 MW, 1,7 000 000 000 sistemas de PV em telhados de 3 kW, 5350 centrais geotérmicas de 100 MW, 270 novas centrais hidroelétricas de 1300 MW, 720 000 dispositivos de produção de energia através das ondas de 0.75 MW e 490 000 turbinas marinhas de 1 MW são necessários para sustentar um mundo WWS no ano de 2030 para todos os propósitos. Tais infraestruturas WWS reduzem a demanda de eletricidade mundial em 30% e necessitam apenas de cerca de 0,41% e 0,59% a mais de terra para a pegada e espaço, respetivamente. O mesmo artigo sugere ainda produzir toda a energia mundial através do sistema WWS até ao ano de 2030 e substituir a energia pré-existente até ao ano de 2050. É de salientar que as únicas barreiras ao processo descrito são apenas de cariz social e político, e não tecnológico ou económico. O custo da energia num mundo WWS seria muito semelhante ao do sistema usado hoje em dia.

Em 2012, nos EUA, foi estabelecida a equipa WETT (*Water-Energy Tech Team*) no Departamento de Energia (DOE), cuja análise preliminar levou à determinação dos seguintes pilares estratégicos [16]: Otimizar a eficiência da água doce na produção de energia, geração de eletricidade e sistemas de uso final; Otimizar a eficiência da energia na gestão dos recursos hídricos, tratamento, distribuição e em sistemas de uso final; Melhorar a fiabilidade e a resiliência dos sistemas integrados de água e energia; Aumentar a segurança e a produtividade de recursos hídricos não tradicionais; Promover operações responsáveis de energia relativamente à qualidade da água, ecossistema e impactos sísmicos; e explorar sinergias produtivas entre sistemas de água e energia.



Em 2014, e no âmbito do nexus água-energia, as Nações Unidas lançaram uma publicação que provavelmente inclui a mais extensa análise de literatura até à data, revelando informação, dados e análises sobre a matéria. O relatório analisa a procura e a disponibilidade de água, os requisitos de energia para a providência de água e a procura de água para produção de energia. Sugere ainda que a resposta da política pública à conexão entre a água e a energia exige uma hierarquia de ações destinadas a criar um ambiente propício à implementação das mudanças necessárias ao desenvolvimento dos recursos hídricos e energéticos, ações estas que se centram nos seguintes pontos [9]: Desenvolvimento de políticas coerentes; estruturas jurídicas e institucionais para promover a referida coerência; assegurar a fiabilidade dos dados e estatísticas recolhidos para o acompanhamento das tomadas de decisão; sensibilização para o problema; apoiar a inovação e a investigação no domínio do desenvolvimento tecnológico; assegurar que o financiamento esteja disponível; permitir que os mercados e empresas se desenvolvam em torno da problemática.

A interdependência entre a energia e a água é algo que hoje em dia tem uma importância acrescida em toda a literatura analisada sobre a matéria, e mesmo assim, a investigação e a existência de casos de estudo é muito limitada.

3. Desenvolvimento do Conceito em Contexto Urbano

No âmbito do presente estudo, pretende-se dimensionar e implementar um protótipo de sistema integrado em contexto urbano, com a finalidade de produzir energia hídrica, eólica e solar num troço de conduta adutora do sistema municipal de abastecimento de água da Covilhã, especificamente localizado na antiga freguesia de S. Martinho (atual união de freguesias da Covilhã e Canhoso) e no Jardim Botânico da cidade, o Parque Alexandre Aibéo. Foi necessário escolher um local que estivesse contido num sistema semifechado, no qual é possível determinar a potência instalada, a queda de água e caudal disponíveis entre ambos os reservatórios sites no recinto. A Fig. 1, representa um cenário hipotético e ideal de um conjunto de blocos (habitações/aldeias/cidades) providos de energia renovável e unidos por um centro de gestão integrado entre as demais fontes energéticas, conceito que será extrapolado para o desenvolvimento do conceito e protótipo em contexto urbano e no âmbito do presente caso de estudo prático, no Parque Alexandre Aibéo.

O processo de desenvolvimento, dimensionamento e implementação de um sistema integrado conforme o da Figura 2, para além de ser iterativo é de extrema complexidade, pelo que requer um plano preliminar coordenado e organizado. Para além de se identificarem todas as variáveis envolvidas, possíveis cenários e restrições associadas, é necessário percorrer diversas etapas [17]:

1. O estudo de pré-viabilidade,
2. A identificação e caracterização do local
3. O estudo de viabilidade,
4. O dimensionamento detalhado do sistema integrado de aproveitamento energético.

Atualmente, está a ser analisado um modelo de otimização de interação entre diferentes tipos de recursos energéticos em ambiente real. Na primeira fase, um troço de conduta adutora (125 metros de extensão e diâmetro nominal de 200 mm) entre ambos os reservatórios localizados no Parque está a ser analisado juntamente com as condições ideais de radiação solar e intensidade do vento. A última fase do estudo de pré-viabilidade consiste na realização do esboço do sistema integrado de energia hídrica, solar e eólica para o local previamente escolhido.



Para tal, o potencial energético (P) é analisado através de (1) que depende do peso específico da água (γ), da variação do caudal nominal (Q) e que passa no equipamento de produção de energia, da queda bruta de água (h_u) e do rendimento global de aproveitamento do equipamento (η):

$$P = \gamma \cdot Q \cdot h_u \cdot \eta \quad (1)$$

Onde:

P - Potência nominal (W);

γ - Peso volúmico da água (9810 N/m³);

Q - Caudal disponível que passa no equipamento de produção energética (m³/s);

h_u - Altura de queda útil;

η - Rendimento do equipamento.

Uma vez que a equação tem apenas uma constante (o peso específico da água), esta operação é normalmente complexa. O processo de escolha da potência juntamente com o número de grupos a instalar é iterativo. O caudal é o fator que mais influencia a equação, que para além de poder não ser totalmente usado para produzir energia e pode ter limitações no que diz respeito ao eventual consumo de água. Neste caso, pode ser necessário usar simulação matemática e modulação de forma a analisar o melhor ponto de otimização (BEP - *best efficiency point*) da operação. Contudo, existem metodologias simplificadas para determinar a potência necessária e o número de grupos a instalar, envolvendo, obviamente, formulação empírica [19]. Tais metodologias passam pelo cálculo da potência a instalar, a escolha da turbina, a escolha do gerador, e por fim a energia elétrica produzível. A determinação da potência nominal da CMH (Central Mini-Hídrica) depende da curva de duração de caudais, cuja turbina é normalmente escolhida segundo um caudal turbinado igual ao que é excedido em cerca de 15% (55 dias) a 40% (146 dias dos dias em ano médio, e cuja escolha depende essencialmente do tipo de curva de duração e da experiência do projetista. A taxa mais comum de rendimento de 81,6% para um determinado caudal, sob determinadas condições e especificações do circuito hidráulico; tipo de turbina, gerador e transformador e ainda desperdícios de energia nos equipamentos auxiliares é um tanto otimista para pequenos aproveitamentos como o presente caso de estudo. O autor [19] recomenda um valor mais realista na ordem dos 60% - 70% e cujo coeficiente em (1) ($\gamma \cdot \eta$) deverá ser substituído por 6

ou 7, conforme o valor adotado ($\gamma \cdot 0,7 = 7$ kN/m³). Portanto, numa CMH, a expressão de cálculo a usar para determinação do potencial energético (em kW) é:

$$P = 7 \cdot Q_n \cdot h_b \quad (2)$$

Onde o parâmetro dimensional “7” representa a multiplicação entre um rendimento de 70% e o peso específico (γ , kN/m³) e:

Q_n - Caudal nominal (m³/s);

h_b - Altura bruta de queda de água (m)

Existem dois tipos de equipamento a considerar: o conjunto de uma turbina convencional e gerador, ou uma PAT (“Pump as Turbine”, bomba em modo inverso). A turbina convencional pertence ao grupo das turbomáquinas hidráulicas, na qual o fluído ganha energia através da sua queda, passa nas pás e é restabelecida à sua origem. Com o auxílio de um gerador, o movimento rotacional é convertido em energia elétrica. A escolha do tipo de turbina depende de três variáveis: a potência nominal, a Altura da queda útil e o caudal disponível. Podem também ser classificadas de acordo com o seu método de funcionamento (impulsão ou reação) e pelo design.

Ultimamente, no campo de estudo da microprodução, tem sido proposta a utilização de PATs. Apesar do menor rendimento e da não-regularização perante as variações de caudal, este tipo de equipamento tem algumas vantagens na sua aplicação tais como: o custo inferior, a disponibilidade no mercado, a facilidade de montagem e a reduzida manutenção. A bomba utilizada em modo inverso, ou reversível, rege-se pelos mesmos princípios das turbinas



convencionais. O escoamento ao inverter, faz rodar o rotor da bomba em sentido inverso, permitindo a sua instalação em sistemas de bombagem ou em casos isolados de microprodução de energia. No entanto, “o grande desafio na utilização de uma PAT está relacionado com a escolha adequada de uma PAT para o projeto. Isto porque, os fabricantes não fornecem as curvas características da sua bomba a funcionar em modo inverso”, para além do facto de que as bombas não possuem qualquer forma de controlar as variações de caudal e de manter a sua eficiência em tais situações. “O principal interesse consiste na avaliação da melhor eficiência para valores de queda útil e de caudal sob modo de turbina e na relação entre os valores que levam aos melhores rendimentos no modo de bomba” [20].

A viabilidade de projetos relacionados com energias renováveis depende essencialmente da disponibilidade dos respetivos recursos, e os da produção das energias solar e eólica são mais imprevisíveis do que a energia hídrica, na medida em que dependem de inúmeros fatores, nomeadamente as condições meteorológicas ideais, a disponibilidade de radiações solares, altitude, latitude, as mudanças sazonais e as diferenças entre o dia e a noite. É também de salientar que a potência a instalar diminui à medida que a disponibilidade dos recursos aumenta. Diminui também o custo total da instalação do equipamento, que obviamente depende da potência a instalar.

Nesta fase, o principal objetivo passa por determinar as condições ideais no parque de forma a maximizar a disponibilidade de tais recursos, juntamente com uma elevada velocidade do vento e elevada radiação solar. Uma estimativa da energia solar produzida (E) pode ser obtida a partir de [21]:

$$E = \eta_{inv} \sum_{i=1}^n P_{max}(G, T)_i \Delta t_i \quad (3)$$

Onde:

η_{inv} - Rendimento do inversor;

n - nº de períodos de tempo considerado (mensal, $n=12$);

Δt - Intervalo de tempo considerado (Número de horas do mês);

$P_{max}(G, T)$ - Potência máxima do modulo em função da radiação solar incidente e da temperatura da célula no intervalo de tempo considerado

Na fase preliminar do estudo do potencial da energia eólica é importante consultar o Atlas do Potencial Eólico de Portugal desenvolvido pelo LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia), [22]. De acordo com o mapa, a velocidade média do vento aos 80 metros de altitude anda à volta dos 4.5 e 5.5 m/s na cidade da Covilhã. A uma altura de 20 metros, o valor desce para os 4.2 - 4.5 m/s. A avaliação da rentabilidade dos projetos de parques eólicos é normalmente também realizada com base no número de horas equivalente à potência nominal - NEP, cujo parâmetro está também normalizado e desenhado. De acordo com o mapa, aos 20 metros de altitude, a zona urbana da Covilhã tem aproximadamente entre 600 e 1200 horas por ano equivalentes à potência nominal. No que toca à produção de energia eólica, sabe-se que as turbinas eólicas têm um maior rendimento, maior capacidade de armazenamento (uma vez que funciona 24 horas por dia, se necessário) e o preço por kW é inferior ao do sistema fotovoltaico.

A energia disponível de uma turbina eólica corresponde à energia cinética associada a uma coluna de ar que se movimenta a uma velocidade uniforme e constante (v , m/s). Numa unidade de tempo, a coluna de ar intersecta a secção plana (A , m²) do rotor da turbina e movimenta uma massa por segundo ($\rho.A.v$, kg/s), cujo ρ corresponde ao peso específico do ar ($\rho = 1,225$ kg/m³, em condições normais de temperatura e pressão). Posto isto, através da equação da energia cinética (4):

$$E = \frac{1}{2} m v^2, \text{ com } m = \rho A v \quad (4)$$

a disponibilidade da potência eólica (P_w) é determinada por (5):

$$P_w = \frac{1}{2} (\rho A v) v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (5)$$



que revela que a potência disponível é fortemente dependente da velocidade do vento - conforme a velocidade duplica, a potência aumenta oito vezes o seu valor. Para além disso, quando a secção da turbina duplica, a potência aumenta proporcionalmente. Por outro lado, se a velocidade do vento diminui para metade, a potência diminui para os 12,5%. Este é o fator crítico e principal a considerar na instalação de turbinas eólicas em locais de elevadas velocidades do vento, a fim de aumentar o sucesso económico dos projetos de energia eólica. Contudo, a equação 5 apenas determina a disponibilidade da potência eólica sem considerar a presença da própria turbina. Ou seja, a potência não pode ser completamente convertida em potência mecânica na turbina, uma vez que o ar que passa através das pás tem de sair com velocidade não nula. O conceito da aplicação da mecânica dos fluidos demonstra a existência de um rendimento máximo teórico para tal conversão, cujo valor é 59,3%, conhecido como o Limite de Beltz [23].

O rendimento efetivo de conversão numa turbina eólica depende da velocidade do vento, cujo valor é determinado pela equação:

$$C_p = \frac{P_m}{P_w} \quad (6)$$

Onde:

C_p - Coeficiente de potência ¹;

P_m - Potência mecânica disponível na turbina ².

5. Conclusão

Até à presente fase do trabalho, foi feito um estudo de revisão sobre o nexus água-energia, incluindo um enquadramento antecedente e a sua abordagem de forma combinada e integrada, discutindo os seus desafios e oportunidades associados. O desenvolvimento do conceito do nexus em contexto urbano foi estudado e foi identificado um espaço real para analisar a otimização de um sistema de gestão integrado. O estudo foi iniciado envolvendo três variáveis, a produção de energia elétrica através de mini-hídrica, mini-solar e mini-eólica, e o consumo simultâneo em ambiente estocástico.

O trabalho será futuramente desenvolvido usando uma formulação matemática do problema, sistemas de simulação e a implementação de uma WSN (“wireless sensor network”, rede de sensores sem fios) que irá recolher informação do piloto a instalar para determinar o ponto ótimo de operação.

Com o sistema descrito, é possível analisar os impactos ambientais e económicos do sistema e simultaneamente promover eficiência e confiabilidade.

A produção anual de energia terá de exceder o consumo anual de energia. No seu total, terá de, pelo menos, equalizar a soma da energia total consumida, tendo também em consideração todas as perdas técnicas que terão lugar no sistema de armazenamento, na conversão AC-DC-AC e no transporte (este último fator pode não ser incluído uma vez que o sistema de produção estará muito próximo dos consumidores).

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer pelo suporte financeiro da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) (Grant ERANETMED/0004/2014), à iniciativa dos estados membros ERANETMED, aos países associados e aos países parceiros mediterrânicos (Project ID eranetmed_nexus-14-044).

¹ O rendimento determinado por (6) não é padronizado nem normalizado. Existem diversas designações para o parâmetro, tais como: coeficiente de potência e rendimento aerodinâmico [22].

² Embora a definição de C_p seja dada por (6), alguns fornecedores de turbinas eólicas têm o hábito de incluir o rendimento do gerador elétrico, sendo que a variável P_m é substituída por P_e - potência elétrica fornecida aos terminais do gerador [22].



Referências

- [1] The World Bank, *Primer on Energy Efficiency for Municipal Water and Wastewater Utilities*, Washington DC: Energy Sector Management Assistance Program, 2012.
- [2] International Energy Agency, *World Energy Outlook 2012*, Paris, 2012.
- [3] WHO/UNICEF, *Progress on drinking water and sanitation: 2014 Update*, New York: Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation, 2014.
- [4] J. L. J. B. K. Onda, "Global access to safe water: Accounting for water quality and the resulting impact on MDG progress" *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2012.
- [5] WEC - World Energy Council, *World Energy Scenarios - Composing energy futures to 2050*, Londres, 2013.
- [6] WEC - World Energy Council, "Conselho Mundial da Energia", 2013.
https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/04/WEC_16_page_document_13_3_14_English_FINAL.pdf.
[Acedido em 13 outubro 2017].
- [7] UNESCO, *Water for a Sustainable World*, Paris, 2015.
- [8] International Energy Agency/OECD, *World Energy Outlook*, Paris, 2013.
- [9] UNESCO, *The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy*, United Nations World Water Assessment Programme, Paris, 2014.
- [10] UNIDO (United Nations Industrial Development Organization), *Policies for Promoting Industrial Energy Efficiency in Developing Countries and Transition Economies*, Vienna, 2008.
- [11] WEC - World Energy Council, *Water for Energy*, Londres, 2010.
- [12] The World Bank, *Thirsty Energy*, Washington: Water Unit, Transportation, Water and ICT Department, Sustainable Development Vice Presidency, 2013.
- [13] A. Espírito-Santo, P. Serra, "Harvesting Energy from Microbial Fuel Cells: Powering Wireless Sensor Networks Operating in Wastewater Treatment Plants," em *Biologically-Inspired Energy Harvesting through Wireless Sensor Technologies*, Covilhã, Portugal, IGI Global - Disseminator of Knowledge, 2016, pp. 121-171.
- [14] M. A. D. Mark Z. Jacobson, "Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials," *ELSEVIER*, p. doi:10.1016/j.enpol.2010.11.040, 2010 a.
- [15] M. Z. J. Mark A. Delucchi, "Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies," *ELSEVIER*, p. doi:10.1016/j.enpol.2010.11.045, 2010 b.
- [16] WETT, *The Water-Energy Nexus: Challenges and Opportunities*, USA: Energy Department, 2014.
- [17] D. P. N. Gomez, *Dimensionamento de uma Pequena Hídrica por via do Aproveitamento e Transformação de Moinhos*, Oporto, Portugal: FEUP, 2016.
- [18] A. Espírito-Santo, F. Santos, P. Serra, B. Azzopardi, R. Mikalauskiene, *A Vision for Energy and Water Systems Integration in Mediterranean Region*, 2016
- [19] R. M. G. Castro, *Energias Renováveis e Produção Descentralizada - Introdução à Energia Mini-Hídrica*, Lisboa: IST, 2002 a.
- [20] T. V. R. Calado, *Microprodução de Energia*, Lisboa: IST - Instituto Superior Técnico, 2014.
- [21] R. M. G. Castro, *Energias Renováveis e Produção Descentralizada - Introdução à Energia Fotovoltaica*, Lisbon: IST, 2002 b.
- [22] LNEG, *Geoportal*. <http://geoportal.lneg.pt/geoportal/mapas/index.html> (16/05/2017)
- [23] R. M. G. Castro, *Energias Renováveis e Produção Descentralizada - Introdução à Energia Eólica*, Lisboa: IST, 2005.