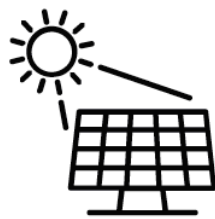




CIEEMAT`17

III Congresso
Ibero-Americano de
Empreendedorismo, Energia,
Ambiente e Tecnologia:
Livro de atas

12 a 14 de julho de 2017



Título: III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia: Livro de atas

Editores: Américo Vicente Leite
Ana Isabel Pereira
Ângela Paula Ferreira
Artur Jorge Gonçalves
João Paulo Almeida
José Luis Calvo Rolle
Manuel Joaquim Feliciano
Orlando Manuel Soares
Ronney Arismel Boloy

Edição: Instituto Politécnico de Bragança – 2017
Campus de Santa Apolónia
5300-253 Bragança
Portugal

Execução: Orlando Manuel Soares

ISBN: 978-972-745-230-9

URI: <http://hdl.handle.net/10198/14339>

Email: cieemat2017@ipb.pt

Apoios e Patrocínios:



Media Partner:



Américo Vicente Leite (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

José Luis Calvo Rolle (Universidade da Coruña, Espanha)

Ronney Arismel Mancebo Boloy (CEFET/RJ, Brasil)

Ana Isabel Pereira (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

Ângela Paula Ferreira (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

Artur Jorge Gonçalves (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

João Paulo Almeida (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

Manuel Joaquim Feliciano (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

Orlando Manuel Soares (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

Alberto Adrego Pinto (LIAAD, INESC TEC e FCUP, Portugal)
Amilton Ferreira da Silva Junior(CEFET/RJ, Brasil)
António João Carvalho Albuquerque (Universidade da Beira Interior, Portugal)
Antonio Morán Palao (Universidad de León, Espanha)
Bruno Baruque Zanón (Universidad de Burgos, Espanha)
Cándido Quintana Pérez (Inst. Tecnológico de Santo Domingo, República Dominicana)
Carlos Soares Borrego (Universidade de Aveiro, Portugal)
Casimiro Adrião Pio (Universidade de Aveiro, Portugal)
Claudinor Bittencourt Nascimento(UTFPR-Ponta Grossa, Brasil)
Daniel de Cerqueira Lima Penalva dos Santos (IFPE, Brasil)
Esteban Jove Pérez (Universidade da Coruña, Espanha)
Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira (Universidade Nova de Lisboa , Portugal)
Héctor Alaiz Moretón (Universidad de León, Espanha)
Jakson Paulo Bonaldo (UTFPR-Campo Mourão, Brasil)
João Azevedo (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)
Jorge Alberto de Medeiros Carvalho (CEFET/RJ, Brasil)
Jorge Cara Jiménez (Universidad de León, Espanha)
José Luis Casteleiro Roca (Universidade da Coruña, Espanha)
Luis García Santander (Universidad de Concepción, Chile)
Luis Hernandez Callejo (Universidad de Valladolid, Espanha)
Manuel Ángel Graña López (Universidade da Coruña, Espanha)
Marcus Val Springer (CEFET/RJ, Brasil)
Miguel Latorre Zubiri (CEDER-CIEMAT, Espanha)
Margarida Correia Marques (Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro , Portugal)
María del Carmen Meizoso López (Universidade da Coruña, Espanha)
María Isabel Fernandez Ibañez (Universidade da Coruña, Espanha)
María Rosario Heras Celemín (CIEMAT, Espanha)
Paulo Jorge Pinto Leitão (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)
Paulo Alexandre Gonçalves Piloto (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)
Ricardo Quijano Hurtado (Universidad Nacional de Colombia, Colômbia)
Rui Esteves Araújo (FEUP, Portugal)
Soledad Muniategui Lorenzo (Universidad da Coruña, Espanha)
Tomás Figueiredo (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)
Vanessa de Almeida Guimarães (CEFET/RJ, Brasil)

Adérito Neto Alcaso	José Luis Calvo Rolle
Alberto José Leira Rejas	José Luís Sousa de Magalhães Lima
Aldo R. Fernandes Nt	José Ramon Copa Rey
Américo Vicente Leite	José Tadeu Marques Aranha
Angel Luís Brito Sauvanell	Liliana Gomez Luna
Ângela Paula Ferreira	Luís Fernando dos Santos
Antonio Masdías y Bonome	Luis Hernandez Callejo
Artur Jorge Gonçalves	Luís Manuel Frólén Ribeiro
Benigno Antonio Rodríguez Gómez	Manuel Joaquim Feliciano
Carlos Jorge da Rocha Balsa	Marcellus Henrique Rodrigues Bastos
Célia dos Anjos Alves	Marcus Val Springer
David Villas Boas	Marcus Vinicius Oliveira Camara
Débora Macanjo Ferreira	Margarida Correia Marques
Elizabeth Mendes de Oliveira	María Dolores Sánchez-Fernández
Elza Maria Morais Fonseca	Maria José Varadinov
Esteban Jove Pérez	Mário Jorge Costa Tomé
Francisco Javier Pérez Castelo	Mauro Oddo Nogueira
Héctor Alaiz Moretón	Maxwell de Azevedo Ferreira
Helder Teixeira Gomes	Miguel Latorre Zubiri
Isabel Fernandez Ibañez	Orlando Manuel Soares
Izabel de Oliveira da Mota	Paula Odete Fernandes
Jaqueline Maria Ribeiro Vieira	Paulo Miguel Pereira de Brito
Jesús Diego Chouz Gestoso	Paulo Sérgio Duque de Brito
João Carlos Azevedo	Ramiro José Espinheira Martins
João Paulo Almeida	Rolando Carlos Pereira Simões Dias
João Paulo Coelho	Ronney Arismel Mancebo Boloy
João Paulo Teixeira	Silvia Maria Afonso Fernandes
Jorge Cara Jiménez	Thayse Ferrari
José António Correia Silva	Tomás d'Aquino Figueiredo
José Antonio López Vázquez	Valter Bruno Reis e Silva
José dos Santos Batista	Vanessa de Almeida Guimarães

50606	Utilização de Solos Residuais para Remoção de Matéria Orgânica e Nutrientes de Águas Residuais Tratadas	1
50673	Winery Wastewater Biodegradability Electrodialysis Flow	7
50730	Otimização no Tratamento de Água Utilizando Goma Xantana como Auxiliar de Floculação	13
50780	Avaliação da Eficiência de Retenção de Solos de Cobertura de Aterros Controlados por meio de Contaminação de Nanopartículas por CuO	17
51039	Anaerobic Co-digestion of Slaughterhouse Wastes and Forage Palm (Opuntia ficus-indica Mill) for Biogas Production	23
50611	Diagnóstico Parcial do Saneamento Básico: Estudo de Caso no Assentamento Rural Nossa Senhora Aparecida, Mariluz, Paraná, Brasil.....	27
50589	Análise dos Desvios de Idealidade em Reatores Combinados Anaeróbio-Aeróbios de Leito Fixo	33
50836	Avaliação da Concentração de Metais Pesados em Sedimentos de Rios da Bacia Hidrográfica Rio do Campo, Município de Campo Mourão, Paraná – Brasil	39
49002	Indicadores de Sustentabilidade em uma Indústria de Fertilizantes.....	45
49830	Análise de Ciclo de Vida de Produção de Autoclaves em Empresa de Biossegurança.....	51
50654	Revisão dos Requisitos para Implementação de um Sistema de Gestão Ambiental de Acordo com a ISO 14001:2015.....	57
50721	Deteção Remota e Termografia por Infravermelhos Aplicada a Parcela no Baixo Mondego, Portugal	63
50729	Modelo de Gestão Universitária: Uma Proposta para Avaliação e Melhoria de Desempenho das IES Brasileiras	67
50736	Modelo de Saneamento Rural Desenvolvido para Pequenas Comunidades do Paraná – Brasil	77
50740	Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Água Bela, Goioerê, Paraná-Brasil	85
50678	Estudo Cinético do Processo de Eletrocoagulação Aplicado ao Tratamento de Água.....	91
49005	A study of the Hydrodynamics Behavior in a Pilot Scale Bubbling Fluidized Bed Biomass Gasifier	97

50679 Study of Biodiesel Production Through Esterification Catalysed by Imidazolium-Based Ionic Liquids	103
50823 Performance do Processo de Digestão Anaeróbia na Valorização Energética de Resíduos de Kiwi	109
51200 Análise de um Sistema de Aquecimento Urbano no Campus do Instituto Politécnico de Bragança	115
49081 Using Zooplankton Community as Indicator of Seasonal Changes in Some Water Quality Parameters in a Meso-Eutrophic Reservoir	121
48831 Cassava-Processing Wastewaters: Bioremediation Potential of Immobilized <i>Chlorella vulgaris</i> (Chlorophyceae).....	127
48895 Ação dos Coagulantes Tanino, Moringa Oleifera e Cloreto Férrico Associados a Filtração Direta no Tratamento de Água em Corpos Lóticos na Região Sul do Brasil	131
50711 Avaliação de Impactos Ambientais na Bacia do Ribeirão Cambé em Londrina, PR, Brasil.....	135
51168 Análise do Potencial de Eutrofização Associado à Operação de uma ETAR Urbana	141
48308 Destinação adequada de tambores metálicos usados no Brasil – Uma análise Econômica	147
50687 Design of a Self-Sustainable System Based on Renewable Energy Sources for a Small Museum of Science Dissemination - The House of Silk	155
49099 Aprovechamiento de los Recursos Renovables e Integración de las TICs: Ejemplo Práctico de una Microrred Eléctrica	161
49052 Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas	167
50686 Performance Evaluation of Different Methods in the Series Resistance Estimation of Photovoltaic Modules	173
50571 Protótipo Acadêmico de uma Turbina Tesla com Enfoque em Reaproveitamento de Recursos	179
48856 Protótipo de Veículo Movido a Energias Renováveis	185
50269 Modelo para Prever Evolução do Preço de Commodities Minerais com o Tempo: Aplicação para o Preço das Terras-Raras	191
50270 Materiais Magnéticos para Motores de Carros Elétricos	197
50591 Máquinas de Stirling e seu Potencial para a Energia Renovável	203
50592 Dessalinização e sua Relevância para o Brasil em um Futuro Próximo	209

Design of a Self-sustainable System Based on Renewable Energy Sources for a Small Museum of Science Dissemination - the House of Silk

Wellington Maidana^{1,2}, Vicente Leite^{1,3}, Ângela Ferreira^{1,3}, Luís Queijo¹,
José Batista¹, Jakson Bonaldo², Estefânia Gonçalves⁴

¹ Instituto Politécnico de Bragança - Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Bragança, Portugal

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus de Campo Mourão
Paraná, Brasil

³ CISE - Electromechatronic Systems Research Centre
Covilhã, Portugal

⁴ Centro Ciência Viva de Bragança
Bragança, Portugal

wellington-maidana@hotmail.com; avtl@ipb.pt; apf@ipb.pt; lqueijo@ipb.pt;
jbatista@ipb.pt; jbonaldo@gmail.com; stefeat@gmail.com

Abstract—This paper presents the complete design of a self-sustainable system based on renewable energy sources - hydro and photovoltaic - for a small museum dedicated to the dissemination of science called House of Silk. The solution is based on a microgrid, connected to the main grid, using innovative technologies for energy production, storage and management. The microgrid is based on a cluster of three battery inverters which establish a three-phase supplying system. The hydro energy is generated using a low head, pico-hydro propeller turbine, connected to the microgrid through an innovative solution. The photovoltaic energy is produced by means of photovoltaic tiles and conventional modules.

Keywords—self-sustainable system; renewable energy sources; microgrid; pico-hydro system; photovoltaic.

I. INTRODUÇÃO

A necessidade da produção de energia a partir de fontes renováveis é algo indiscutível nos dias atuais, principalmente pelas preocupações ambientais geradas pela utilização de combustíveis fósseis, sendo estes, ainda, a principal fonte de produção de energia de muitos países [1]. O desenvolvimento tecnológico atual, designadamente no âmbito da microgeração baseada em fontes renováveis de energia, permite conceber novas soluções energéticas inteligentes, em muitas aplicações de pequena dimensão, nomeadamente no setor residencial. A disseminação destes sistemas, ainda que de baixa potência, deverá contribuir, significativamente, para o aumento da sustentabilidade ao nível global. Neste contexto, os sistemas baseados em microrredes são soluções modernas e constituem

uma versão em pequena escala da rede elétrica, integrando produção, distribuição e gestão da energia elétrica. No caso de excesso ou défice de produção, as microrredes podem, respetivamente, fornecer ou receber energia da rede convencional [2]. As microrredes são sistemas que integram unidades de produção distribuída de energia, sistemas de armazenamento e cargas controláveis, numa rede de baixa tensão que pode funcionar tanto no modo ligado à rede como no modo autónomo [3]. As tecnologias disponíveis no mercado possibilitam atuar tanto na diminuição do consumo de energia elétrica, quanto no aumento da produção, com os requisitos necessários para criar um sistema confiável e seguro para o utilizador final. Um sistema de energia tem um elevado nível de segurança se fornece energia para as cargas essenciais e críticas, por longos períodos, proporcionando segurança, confiabilidade, sustentabilidade e boa relação custo-benefício [2].

A utilização de uma microrrede, intrínseca a sistemas autónomos de produção de energia, como os que utilizam energias renováveis, é muito versátil, podendo ser utilizada desde instalações residenciais até comunidades isoladas [4]. Em 2012, por exemplo, foi proposta uma microrrede para uma instalação em Waterloo, Canadá, utilizando módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas, uma pico-hídrica e um gerador a diesel, para suprir a as necessidades energéticas de uma comunidade rural de consumo estimado em 5000 kWh/dia, com pico de demanda estimado em 1183 kWh [5]. Utilizando o *software* HOMER, foram simuladas várias configurações de microrrede utilizando diferentes combinações dos equipamentos. O estudo demonstrou, entre outros resultados, a viabilidade da implementação de sistemas sem emissão de carbono, apenas com recursos provenientes de fontes renováveis [5]. Em 2013, em Porto Alegre, Brasil, realizou-se

Os autores agradecem o financiamento concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, para a implementação desta iniciativa, no âmbito do Projeto SilkHouse - *Development of a smart microgrid based on renewable energy sources and a monitoring system for the House of Silk.*

um estudo de aproveitamento do potencial de microgeração hidroelétrica predial, utilizando a pressão normal da tubagem, fornecida pela concessionária, e a água das chuvas, além do esgoto [6]. As conclusões da análise foram favoráveis, mostrando que caudais considerados pequenos podem gerar energia de maneira significativa no consumo de energia elétrica de instalações residenciais. A Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTiG), do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), dispõe, desde 2012, de uma microrrede integrando apenas fontes renováveis de energia elétrica [7]. O projeto utiliza um inversor bidirecional para fazer o controlo e gestão dos fluxos de energia. A microrrede tem uma potência nominal de 5 kW e integra uma turbina eólica, um seguidor solar, um painel fotovoltaico fixo, um gerador a biodiesel que pode ser ligado ao sistema e um banco de baterias.

O projeto apresentado neste artigo visa transformar a Casa da Seda, do Centro Ciência Viva de Bragança, num edifício autossustentável, através da utilização de novas tecnologias de produção e utilização de energia baseadas no conceito de microrredes. Pretende-se que a Casa da Seda, tendo em conta a sua missão, sirva como plataforma de demonstração e divulgação destas soluções inovadoras para as futuras casas das cidades inteligentes. Para o efeito, pretende-se conceber uma microrrede inteligente, baseada em tecnologias inovadoras com integração de fontes renováveis de energia. Entre outras fontes renováveis, a microrrede irá integrar energia solar fotovoltaica e uma pico-hídrica devidamente integrada no local onde outrora existiu um moinho.

O presente artigo começa por caracterizar a Casa da Seda e estimar o seu potencial energético. Depois é concebida uma solução energética autossustentável baseada numa microrrede projetada para o edifício, com dados que demonstram a viabilidade da sua implementação, a qual será realizada no âmbito do projeto SilkHouse - *Development of a smart microgrid based on renewable energy sources and a monitoring system for the House of Silk*, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

II. CARACTERIZAÇÃO DA CASA DA SEDA

Esta secção apresenta a caracterização da Casa da Seda para efeitos do desenho da solução autossustentável a conceber para o edifício.

A. Descrição da Casa da Seda

A Casa da Seda é um museu situado num antigo moinho, na margem esquerda do rio Fervença, no coração da cidade de Bragança. É um espaço interativo, integrado no Centro Ciência Viva de Bragança, e é dedicado à história da seda. A Casa da Seda está localizada num antigo edifício onde as pessoas costumavam tingir sedas, no século XVIII. Nos séculos XIX e XX a propriedade funcionou como um moinho e ainda mantém as características originais da sua arquitetura. Mais tarde, tornou-se propriedade privada e produzia pão e biscoitos regionais, usando o potencial do moinho. Em 1990, o Município de Bragança adquiriu o edifício e recuperou-o durante a intervenção no Programa Polis, em 2006.

Hoje em dia, a Casa da Seda é um museu dedicado à divulgação e disseminação de ciência, onde ocorrem cursos,

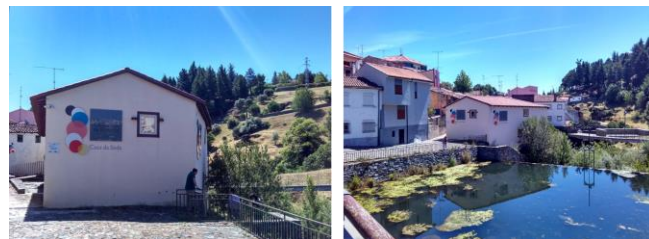


Fig. 1. Casa da Seda.

palestras e exposições. O museu conta, também, com uma exposição permanente sobre a história da seda, dando uma visão geral das várias fases da sua produção desde o desenvolvimento da lagarta e formação do casulo até ao processo de fição e tecelagem. A Casa da Seda recebe por ano, em média, mais de 11500 visitantes.

O edifício, apresentado na Fig. 1, encontra-se localizado no concelho de Bragança, no centro da zona urbana, a uma altitude de 664 m. Quanto à arquitetura, trata-se de um edifício em banda, de 3 pisos e com boa exposição solar. Apresenta uma estrutura de pedra, cobertura em madeira e telha cerâmica, paredes rebocadas, vãos de madeira e, no seu interior, existem tabiques e alvenarias de pedra tradicional original.

B. Caracterização elétrica do edifício

A instalação elétrica é alimentada a partir da rede de distribuição de energia em baixa tensão, trifásica, com potência contratada de 13,6 kW. Trata-se de um edifício com um período de utilização semanal, de terça-feira a domingo, com funcionamento centrado no período diurno, entre as 10:00h e as 18:00h. Para além do funcionamento normal, são realizados, de forma regular, diversos eventos, principalmente no final da semana, estendendo as atividades até cerca das 24:00h.

Por se tratar de um museu, as principais cargas elétricas do edifício são, essencialmente, computadores, monitores, projetores, sistemas de som, ar condicionado, alguns aquecedores e iluminação. A Tabela I, apresenta a energia consumida nos últimos três anos, obtida a partir do histórico das faturas de eletricidade.

TABELA I - ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS ÚLTIMOS TRÊS ANOS

Consumo anual de energia elétrica (kWh)	2014	2015	2016
	18102	14008	16703

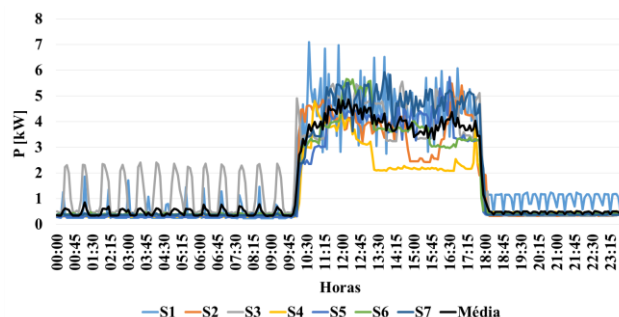


Fig. 2 Diagrama de cargas do edifício, num dia típico da semana (quinta-feira), durante as 7 semanas de monitorização (S1 a S7).

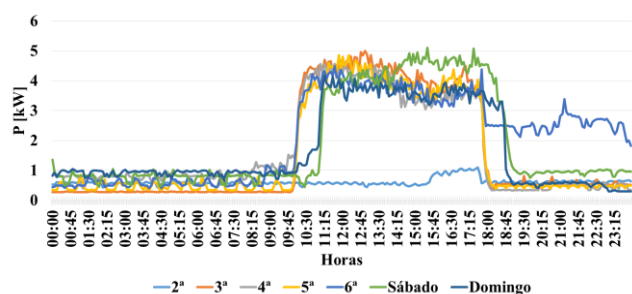


Fig. 3 Média da potência das cargas no edifício, por dia da semana.

As Figuras 2 e 3 apresentam outros dados importantes, designadamente os registos da potência consumida no edifício, adquiridos utilizando o analisador de energia PEL 103, durante 7 semanas, concretamente de 6 de fevereiro a 2 de abril de 2017. A Figura 2 apresenta os diagramas de potência das cargas, durante um dia típico (quinta-feira), juntamente com a média das leituras desse dia da semana, durante aquele período.

A Figura 3, apresenta o diagrama de cargas com a potência média de cada dia da semana, durante o mesmo período.

Com base nos dados apresentados, pode-se estimar que o consumo de energia do edifício, em dias de atividade normal, é, em média, de 45 kWh por dia. Por outro lado, confirma-se que o consumo mais significativo ocorre entre as 10h00 e as 18h00, prolongando-se, em alguns dias, até às 24 horas.

C. Caracterização do potencial energético do edifício

Da análise ao edifício, destacaram-se duas estruturas para o estudo do seu potencial energético: o telhado com excelente exposição solar e a estrutura do antigo moinho e um dique mesmo junto à Casa da Seda. Levando em consideração a área do telhado do edifício, existem duas áreas preferenciais para a instalação de módulos fotovoltaicos: uma com 40 m² e outra com 20 m². Ambas possuem orientação ao sul e com inclinação do telhado de aproximadamente, 16°. O potencial de produção anual de energia fotovoltaica é de aproximadamente 1395 kWh/kWp, por ano, segundo uma estimativa realizada pelo software PVGIS [8]. De acordo com os dados reais de unidades fotovoltaicas instaladas desde 2010, num local com características climáticas similares, a 2 km de distância, no Campus do IPB, a produção de energia é de 1466,9 kWh por ano, por kWp instalado, sendo que, neste caso a inclinação foi otimizada para o local, 35°.

Como referido anteriormente, na Casa da Seda funcionava um moinho e os espaços originais foram conservados, o que possibilita, com algumas adaptações simples, a instalação de uma pequena hídrica para produção de energia, sem alteração arquitetónica das infraestruturas. Uma pico-hídrica, conforme definido em [7], caracteriza-se por uma capacidade de produção até 5 kW. Considerando uma altura de queda bruta, h, em metros, um caudal, Q, em litros por segundo, a aceleração da gravidade, g = 9,8, em m/s² e uma eficiência global de 50%, que contempla todas as perdas no sistema, a estimativa de potência produzida é dada por [9]:

$$P = 0,5 \times 9,8 \times h \times Q \approx 5 \text{ h Q} \quad (1)$$

No local existe uma altura máxima disponível de 5 m e a instalação será dimensionada para um caudal de 55 l/s sendo possível, nestas condições, produzir uma potência de 1,46 kW, utilizando uma turbina do tipo hélice, de baixa queda [10]. Uma outra vantagem desta ação é a revitalização da infraestrutura do antigo moinho para fins de demonstração, aproveitando a sua capacidade de produção de energia, que será consumida no próprio edifício. Embora a solução do aproveitamento pico hidroelétrico apresente um comportamento sazonal, identificam-se duas vantagens importantes: produção não intermitente, contribuindo para uma menor capacidade do sistema de armazenamento de energia a adotar, e complementaridade sazonal relativamente à energia solar fotovoltaica, pois tem maior potencial durante os meses de inverno, quando a radiação solar é menor, podendo não funcionar nos meses de verão, quando o caudal for muito baixo.

Estima-se que o tempo de paragem seja não superior a 30%, incluindo os períodos de falta de caudal [11] e de paragem para limpeza e manutenção. Nestas condições, a energia produzida por dia será de 35 kWh e o valor anual estimado é de 8900 kWh. Este valor corresponde a quase metade (45%) do consumo médio anual, da Casa da Seda, registado nos últimos 3 anos.

Com base no potencial energético, conclui-se que a utilização combinada destes recursos endógenos (hídrico e fotovoltaico) pode suprir a energia consumida no edifício, contribuindo para a autossustentabilidade da Casa da Seda, com um saldo anual nulo, entre a energia produzida e consumida. Se devidamente integradas numa microrrede, com alguma capacidade de armazenamento de energia e de gestão e controlo destes recursos e das cargas da instalação é possível aumentar a quota de autoconsumo, reduzindo assim, as necessidades de interação com a rede elétrica convencional. Na secção seguinte apresenta-se a conceção de uma solução energeticamente autossustentável.

III. CARACTERIZAÇÃO DA SOLUÇÃO

A solução energeticamente autossustentável para a Casa da Seda, no contexto de um edifício dedicado à divulgação e disseminação da ciência, passa pela implementação de medidas de eficiência energética, complementarmente à instalação de uma microrrede integrando energia hídrica e fotovoltaica.

A. Medidas de eficiência energética

Com base na caracterização energética do edifício é possível identificar o perfil de consumo de energia da Casa da Seda, através da análise dos diagramas de carga apresentados nas Figuras 2 e 3, e estimar o potencial de redução de consumo no local. Uma das principais medidas a serem implementadas será a realização de ações de sensibilização, incentivando a utilização da energia elétrica de forma mais racional, evitando consumos desnecessários. Outra medida será a requalificação da iluminação, que conta, ainda, com um número elevado de lâmpadas de halogéneo, como pode ser observado na Tabela II. Através da substituição de lâmpadas de halogéneo por lâmpadas mais eficientes, como as de LED por exemplo, estima-se uma redução de consumo mínima até 5 kWh por dia.

TABELA II – CONSUMO DE ENERGIA DA ILUMINAÇÃO

Tipo de lâmpada	Potência [W]	Quantidade	Tempo médio de funcionamento (h)	Consumo (kWh)
FT5 (18W)	18	5	5	450
Halogéneo (28W)	28	16	5	2240
Halogéneo (50W)	50	15	5	3750

B. Microrrede da Casa da Seda

A microrrede a instalar no edifício, será baseada na experiência adquirida num projeto implementado num laboratório no IPB, em 2012, descrito em [7] e [12]. Pretende-se manter as características atuais da instalação elétrica da Casa da Seda, designadamente a alimentação trifásica. Para isso serão utilizados três conversores bidirecionais Sunny Island (SI4.4H-11), da SMA [13], que serão responsáveis por estabelecer um sistema trifásico (400 V, 50 Hz). Um dos inversores funcionará como *master* e será responsável pelo controlo do fluxo de energia. A potência nominal de cada um é de 3,3 kW, totalizando uma potência nominal de 9,9 kW. Estes inversores podem disponibilizar uma potência de 13,2 kW durante 30 minutos. A microrrede da Casa da Seda, conforme ilustrado na Fig. 4, integrará um sistema de energia com fontes renováveis (hídrica e fotovoltaica, incluindo telhas fotovoltaicas), armazenamento (banco de baterias) e gestão de consumo. O sistema contará com um sistema de monitorização remoto, com características similares ao sistema instalado em [7].

C. Sistemas de microgeração

Para colmatar a necessidade de energia do edifício será aproveitado o seu potencial energético, hídrico e fotovoltaico, apresentado na secção anterior. Aproveitando as atuais características físicas da Casa da Seda, não serão necessárias

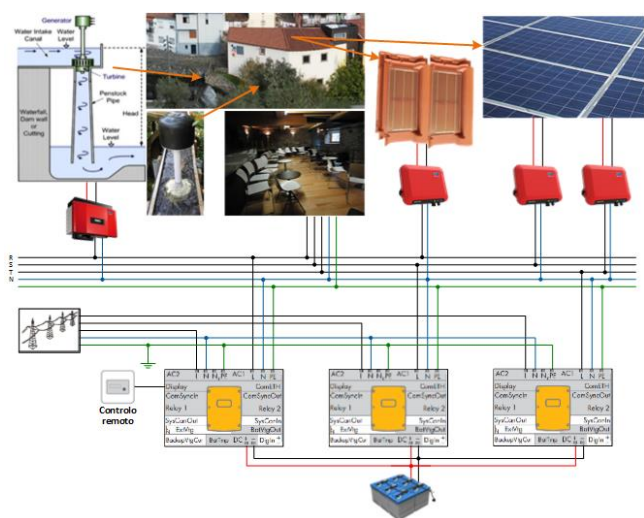


Fig. 4 Microrrede para a Casa da Seda, com integração de produção hídrica e fotovoltaica baseada em telhas fotovoltaicas e módulos convencionais, armazenamento e gestão de consumo.

intervenção significativas, principalmente no que se refere à implantação da pico-hídrica, tirando proveito da infraestrutura do antigo moinho e da proximidade do dique, mesmo junto do edifício.

Respeitando o património arquitetónico do edifício, pretende-se aproveitar o potencial hídrico existente. Tendo como referência os trabalhos já realizados no mesmo contexto [11], e considerando o enquadramento existente, apresenta-se como muito favorável a instalação de uma turbina do tipo hélice de baixa queda. Com efeito, a captação de água, para seu funcionamento, não causará danos ambientais nem alterações físicas, além de ser uma plataforma para disseminação e demonstração de produção de energia através do uso da água. A turbina ficará visível para o público, através de uma janela no pavimento já existente. Será utilizada uma turbina LH400, da PowerSpout, que integra um gerador de ímanes permanentes com potência de 1,6 kW, velocidade máxima de 1600 rpm e tensão em circuito aberto de 400 V. Esta será instalada a uma cota superior cerca de 5 metros, com um caudal estimado de 55 l/s.

Outra grande vantagem da implementação da pico-hídrica é a possibilidade de aproveitamento da água do rio Fervença durante a maior parte do ano, e do dique já existente. De acordo com a referência [11], mesmo levando em consideração períodos com pouca chuva, no verão, estima-se um caudal suficiente para a produção de energia, num período mínimo de 70% do ano, durante 24 horas por dia. A Figura 5, apresenta as cotas e o ilustra o trajeto percorrido pela água desviada do rio. Pela figura pode-se verificar que a altura de queda da água até à restituição ao rio é de aproximadamente 5 m. Para a turbina selecionada, a potência elétrica disponível estimada será de 1,1 kW, admitindo perdas de carga de 25% devido ao facto de o tubo de carga não poder ser instalado na vertical e ter inevitavelmente algumas curvas [10]. Nestas condições reais, estima-se que a energia produzida será de 26,3 kWh/dia.

Foram publicadas, recentemente, soluções inovadoras para a ligação à microrrede de sistemas pico-hídricos, com resultados fiáveis utilizando inversores fotovoltaicos convencionais, amplamente disponíveis no mercado e a baixo custo [14], [15] e [16]. A solução para esta integração consiste em ligar a tensão retificada do gerador diretamente à entrada de um inversor fotovoltaico, que realiza a interface com a microrrede. Esta solução requer a utilização de um circuito de proteção para limitar a velocidade do gerador e a tensão à entrada do inversor, em situações transitórias. Sempre que o

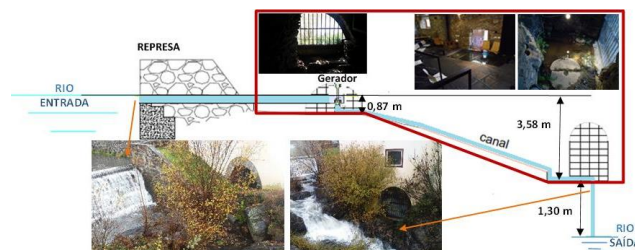


Fig. 5 Esquema da pico-hídrica a instalar na Casa da Seda.

inversor se desconectar da rede ou durante as colocações em serviço, após paragens, uma vez que os inversores podem demorar mais de 1 minuto a iniciar a injeção de energia na rede, o circuito de proteção dissipa a potência do gerador numa resistência externa, prevenindo assim sobrelevação da tensão [15]. O inversor fotovoltaico, encarrega-se de fazer o seguimento do ponto de potência máxima, neste caso do gerador hídrico, e injetar a energia na rede [14] e [17]. O sistema de produção pico-hídrico para a Casa da Seda será baseado nestes trabalhos e o inversor selecionado será o SB2100TL, cuja compatibilidade foi garantida em [14].

Para complementar o consumo de energia do edifício será aproveitado o potencial solar existente, principalmente durante o verão, quando a pico-hídrica não funcionar. Serão instalados 1,5 kW em telhas fotovoltaicas da marca ZEP PV, com duas células fotovoltaicas de 9 Wp por telha (de cor vermelha), cujo rendimento é de 20.22%. São necessárias 168 telhas para a potência requerida e o inversor fotovoltaico a utilizar será o SB1.5, de 1500 W. A principal motivação da utilização de telhas fotovoltaicas é demonstrar a integração de energia fotovoltaica nos edifícios e analisar o desempenho desta nova tecnologia ao longo do tempo em condições reais. Por razões de preço, a potência a instalar em telhas é limitada, sendo necessário instalar adicionalmente 3 kWp em módulos fotovoltaicos convencionais distribuídos pelo telhado do edifício para complementar a produção de energia. Para tal serão utilizados dois inversores fotovoltaicos: SB1.5, perfazendo 3 kW.

IV. RESULTADOS

Nesta secção, serão apresentados os resultados esperados com as medidas propostas para a autossustentabilidade da Casa da Seda, em termos médios anuais. Da análise das faturas de energia relativas ao consumo no período de 2015 e 2016, resulta uma média de consumo anual é de 15355 kWh. Estima-se que o consumo anual de energia seja mitigado através das medidas de eficiência energética apresentadas anteriormente. É expectável uma redução anual de consumo próximo de 1900 kWh/ano, através da adequação de comportamentos e da substituição de cargas, designadamente as lâmpadas de halogéneo por lâmpadas LED. Contudo, após as medidas de eficiência energética, o consumo anual passe a ser de 13455 kWh/ano, que corresponde a uma redução de 12.3% relativamente à média antes da implementação do plano de eficiência energética. Esta estimativa de consumo anual permite saber a quantidade de energia que deve ser gerada através das fontes renováveis para colmatar as necessidades anuais do edifício. A pico-hídrica apresenta enormes vantagens, conforme discutido na secção anterior, uma vez que funciona 24 horas por dia, oferecendo uma capacidade de produção diária de 26,4 kWh, apenas com uma potência de 1,1 kW. Daqui, e atendendo ao fator de utilização anual da potência instalada de 70%, como indicado na secção III.C, a produção estimada da pico-hídrica é de 6745,2 kWh/ano.

A produção fotovoltaica deverá ser responsável pela restante parcela da energia que é necessário produzir. Da potência a instalar em telhas fotovoltaicas, de 1,5 kWp, estima-

se a produção média diária em 6,22 kWh/dia, de acordo com a informação do fabricante (tendo como referência a região do Porto, devendo ser superior na região de Bragança). A restante energia será produzida por 3 kWp em módulos convencionais, cuja produção diária será 12,3 kWp, com base em dados reais conhecidos para o local (4,1 kWh/dia, por kWp instalado). Assim, estima-se que as telhas produzam 2270 kWh/ano e que os módulos produzam 4489,5 kWh/ano.

Atendendo às estimativas anteriores, as microfones renováveis (hídrica e fotovoltaicas) assegurariam uma produção de 13505 kWh/ano, sendo este valor ligeiramente superior à energia anual consumida no edifício, demonstrando, desta forma, a possibilidade de tornar a Casa da Seda autossustentável, com base em recurso endógenos sem impacto arquitetónico ou ambiental. Esta autossustentabilidade fica assegurada em termos médios anuais, mas a mesma não é possível em termos instantâneos ou mesmo diários devido à intermitência dos recursos renováveis, designadamente a energia solar, e a imprevisibilidade do consumo instantâneo. Nos sistemas isolados, esta dificuldade é resolvida com recurso a bancos de baterias de maior capacidade e, em último caso, a um grupo motor-gerador. Na Casa da Seda, uma vez que a rede convencional está presente, o balanço instantâneo de energia pode ser conseguido através de injeção do excesso de energia na rede e do fornecimento, a partir da mesma, sempre que a produção e a energia armazenada forem insuficientes. Atendendo à legislação em vigor, o preço por kWh, da energia vendida à rede é muito inferior ao preço da energia comprada, no momento da entrada em funcionamento da instalação. Esta situação traduz-se num compromisso entre a energia injetada na rede e a capacidade de armazenamento das baterias. Assim, há vantagens em aumentar a capacidade de armazenamento durante os períodos de excesso de produção instantânea, relativamente ao consumo, aumentando, assim, a quota de autoconsumo e minimizando a quota de venda à rede elétrica. Contudo, esta vantagem implica um maior investimento no banco de baterias. Do ponto de vista da instalação (consumidor) a situação ideal seria a de não haver diferença de preço, na compra e venda de energia e, nesse caso, a rede funcionaria como um sistema de armazenamento de capacidade ilimitada, fornecendo a energia necessária quando o consumo fosse superior à produção recebendo, na situação inversa.

Se a rede elétrica não estivesse disponível, seria necessário um banco de baterias com capacidade de armazenamento elevada, de modo a assegurar um ou mais dias de autonomia. O aumento da capacidade de armazenamento faz subir o investimento, sendo justificável em microrredes instaladas em locais isolados sem acesso à rede pública ou, nas situações em que, por razões legais, não é possível injetar energia na rede. Estas situações não se aplicam na Casa da Seda. Neste caso, prevê-se a instalação de um banco de baterias com capacidade mínima de 400 Ah, cerca de 20 kWh. Desta capacidade apenas será utilizada 50% (200 Ah) de modo a salvaguardar a vida útil das baterias [13]. Esta capacidade, utilizável, garante a acumulação do excesso de energia durante a noite, em que a pico-hídrica está a funcionar e produz mais energia do que é consumida.

Por fim, realizou-se um estudo comparativo entre o consumo de energia nos meses de inverno e nos meses de verão,

dos anos de 2015 e 2016, para que se possa comparar a estimativa de produção diária com a média do consumo nestes dois períodos, já considerando uma redução do consumo diário de 5,22 kWh. Estes são os meses onde há maior consumo de energia devido ao uso de aquecedores e ar condicionado, respetivamente. Conforme apresentado na Tabela 3, o consumo médio diário no inverno foi de 43,4 kWh e 31,8 kWh no verão. Considerando a produção diária de 37 kWh, verifica-se que a produção de energia no inverno será insuficiente, sendo necessário obter energia a partir da rede elétrica. No verão há excesso de energia e o sistema injetará energia na rede.

TABELA III – CONSUMO MÉDIO DIÁRIO DURANTE O INVERNO E VERÃO

Anos	Inverno (kWh/dia)	Verão (kWh/dia)
2016	47,0	38,6
2015	39,8	34,2
Média	43,4	31,8

V. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta a conceção de um sistema autossustentável assente numa microrrede, conectada à rede elétrica convencional, que integra fontes renováveis de energia, e que utiliza tecnologias inovadoras que permitem a produção, armazenamento e consumo de energia de forma flexível e eficiente. O sistema foi concebido para um pequeno museu de divulgação e disseminação da ciência, designado por Casa da Seda. A conceção da microrrede para este edifício assentou na exploração dos dois principais recursos endógenos no local, designadamente uma pico-hídrica e unidades fotovoltaicas baseadas em telhas fotovoltaicas e módulos convencionais. Para a autossustentabilidade da Casa da Seda foi estimada uma produção anual de energia similar ao consumo médio anual de energia nos últimos dois anos, reduzido do valor previsto de poupança pela implementação imediata de eficiência energética. Para os valores previstos de produção de energia, quer hídrica quer fotovoltaica, foram utilizados dados de produção reais conhecidos, pelo que os resultados esperados de produção podem ser considerados fiáveis e demonstram a viabilidade da implementação do projeto. Do ponto de vista da sua realização física, especialmente a pico-hídrica, o projeto não implica quaisquer dificuldades uma vez que será utilizada a infraestrutura onde outrora existiu um moinho e um dique já existente, ao lado do edifício. Quanto à instalação elétrica existente, também não haverá alterações significativas, uma vez que se manterá o sistema trifásico, mas que passará a ser baseado num *cluster* de 3 inversores bidirecionais, ligados a um banco de baterias.

De realçar, ainda, dois aspetos inovadores: a avaliação de produção de energia a partir telhas fotovoltaicas e a integração da pico-hídrica na microrrede utilizando inversores fotovoltaicos convencionais, amplamente disponíveis no mercado e a baixo custo.

Por fim, a microrrede apresentada neste artigo constituirá uma exposição permanente de disseminação de sistemas sustentáveis, baseados em fontes renováveis de energia, num pequeno museu dedicado à divulgação e disseminação de ciência – a Casa da Seda, do Centro Ciência Viva de Bragança.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Ivone Fachada do Centro Ciência Viva e a Rui Oliveira e Vítor Gomes do Instituto Politécnico de Bragança, o apoio prestado durante a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] M. H. K. Tushar, C. Assi, M. Maier e M. F. Uddin, "Smart Microgrids: Optimal Joint Scheduling for Electric Vehicles and Home Appliances," *IEEE Trans. on Smart Grid*, vol. 5, pp. 239 - 250, 2014.
- [2] Q. Fu, L. F. Montoya e A. Solanki, "Microgrid Generation Capacity Design With Renewables and Energy Storage Addressing Power Quality and Surety," *Microgrid Generation Capacity Design with Renewables*, December 2012, pp. 2019-2027.
- [3] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatziargyriou e A. Dimeas, "Microgrids Management," *IEEE Power & Energy Magazine*, pp. 54-65, 2008.
- [4] S. Zhang, J. Yang, X. Wu e R. Zhu, "Dynamic Power Provisioning for Cost Minimization in Islanding Micro-Grid with Renewable Energy," in *Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, 2014.
- [5] O. Hefez e K. Bhattacharya, "Optimal planning and design of a renewable energy based supply system for microgrids," *Renewable Energy*, vol. 45, 2012, pp. 7-15.
- [6] P. R. d. Q. Iorra., "Análise do Potencial de Microgeração Hidroelétrica Predial," Porto Alegre, Brasil, 2013.
- [7] V. Leite, Â. Ferreira, J. Batista e J. Couto, "Analysis of the Operation of a Microgrid with Renewable Distributed Generation," *III Congresso Iberoamericano sobre Microrredes con Generación Distribuida de Renovables*, 1-2 December 2015.
- [8] PVGIS, "https://goo.gl/GF39cU". [Online].
- [9] A. Harvey, *Micro-Hydro Design Manual*, Great Britain: Exeter, 1993.
- [10] PowerSpout, "http://www.powerspout.com/low-head/", [Online]. [Acesso em Maio 2017].
- [11] V. Leite, T. d. Figueredo, T. Pinheiro, Â. Ferreira e J. Batista, "Dealing with the Very Small: First Steps of a Picohydro Demonstration Project in an University Campus," *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, 28-30 March 2012.
- [12] V. Leite, Â. Ferreira e J. Batista, "On the Implementation of a Microgrid Project with Renewable Distributed Generation," *I Congresso Iberoamericano sobre Microrredes con Generación Distribuida de Renovables*, Soria, Spain, 23-24 September 2013.
- [13] SMA, "Design of Off-Grid Systems with Sunny Island Devices," 2017. [Online].
- [14] V. Leite, J. Couto, F. Ângela e J. Batista, "A Practical Approach for Grid-connected Pico-hydro Systems using Conventional Photovoltaic Inverters," *IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, 4-8 April 2016.
- [15] V. Leite, A. Ferreira, J. Couto e J. Batista, "Reliability Analysis of Grid-connected Pico-hydro Systems using Conventional Photovoltaic Inverters," *18th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2016)*, Karlsruhe, Germany, 6-8 September 2016.
- [16] V. Leite, A. P. Ferreira, J. Couto e J. Batista, "Pico-hydro Systems: Microgrid-Connection approaches," *IV Congresso Iberoamericano Sobre Microrredes con Generación Distribuida de Renovables, Concepción, Chile*, 27-28 October 2016.
- [17] V. Leite, P. Ferreira, J. Couto e J. Batista, "Abordagens para a Ligação à Rede de Sistemas Pico-Hidroelétricos," *II Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Meio Ambiente e Tecnologia - CIEEMAT 2016*, 8-11 Novembro 2016.
- [18] M. H. K. Tushar, C. Assi e M. Maier, "Smart Microgrids: Optimal Joint Scheduling for Electric Vehicles and Home Appliances," *IEEE Transactions on Smart Grid (Volume: 5, Issue: 1, Jan. 2014)*, 06 January 2014, pp. 239 - 250.