ANÁLISE DA GESTÃO OPERACIONAL DO SISTEMA DE ALBUFEIRAS AGUIEIRA-RAIVA-FRONHAS EM SITUAÇÕES DE CHEIA
Analysis of the Operational Management of the Aguieira-Raiva-Fronhas Reservoirs System in Flood Situations

FILIPE VALENTE SILVA (1), JULIANA MENDES (2) e RODRIGO MAIA (3)
(1) *Mestre em Engenharia Civil, FEUP*
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, fsilva91@gmail.com
(2) *Mestre em Engenharia Civil, FEUP,*
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, juliana@fe.up.pt
(3) *Prof. Associado, FEUP,*
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, rmaia@fe.up.pt

Resumo

O sistema de albufeiras Aguieira-Raiva-Fronhas desempenha uma função importante na proteção contra as cheias em Coimbra, permitindo, em alguns casos, minimizar os efeitos destes eventos. Para tal, é necessário gerir as descargas do sistema de modo a assegurar um volume de armazenamento livre para encaixe e amortecimento do pico de cheia, quando este ocorrer. No entanto, este sistema possui outras funções que, em determinadas situações, podem ser concorrentes com a proteção contra cheias. O objetivo deste trabalho consistiu assim na análise de regras operacionais para o sistema Aguieira-Raiva-Fronhas, que através da gestão interligada das três albufeiras, evitem ou minimizem as cheias fluviais em Coimbra, sem condicionar demasiado as restantes utilizações. Para tal, foram selecionados dois eventos de cheia de diferentes magnitudes que causaram inundações em Coimbra e, com base nos dados correspondentes e utilizando o *software HEC-ResSim – Hydrologic Engineering Center's Reservoir Simulation*, foram analisadas as regras de exploração deste sistema em vigor à data da ocorrência das cheias selecionadas. Com base nos resultados dessa análise, foram estudadas outras alternativas de gestão do sistema, propondo-se um conjunto de potenciais regras alternativas que entram em conta com previsões de caudais de cheia.

Palavras-chave: Cheias, albufeiras, gestão de volumes, HEC-ResSim.

Abstract

The reservoir system made by the three dams of Aguieira, Raiva e Fronhas plays a major function, allowing, in some cases, to minimize the effects of the flood events. For such, it is necessary to manage the dams' discharges in order to assure a storage volume to ensure flood routing when it occurs. Concomitantly the reservoir system has other roles - the production of energy and supply of water to agriculture, industrial and urban needs – which, in certain situations, can be in conflict with the flood protection needs. The objective of this work was the analysis of the operational rules to be followed by the system of reservoirs Aguieira-Raiva-Fronhas, which, through the interconnected management of the three dams, avoids or minimizes the floods in Coimbra and downstream of it, without conditioning the other dams' roles. For such, two flood events of different magnitude, whose consequences were felt in Coimbra and downstream, and by using the *software HEC-ResSim – Hydrologic Engineering Center's Reservoir Simulation*, the current set of water management rules were analyzed. Afterwards, and based on the previous analysis, alternative rules were studied and a set of operational rules could be proposed, taking into account the weather and flood forecast.

Keywords: Floods, reservoir, water management, Hec-ResSim.

1. Introdução

Portugal possui uma rede hidrográfica cujas características permitem a utilização de uma apreciável rede de barragens. Essa rede permite a regularização dos principais cursos de água, existindo cerca de 351 barragens com capacidade de armazenamento superior a 1 hm^3 ou/e com mais de 5 m de altura (CNPGB, 2015 e Silva, 2015). As albufeiras criadas por essas barragens podem ter diferentes finalidades – como a produção de energia elétrica, o abastecimento de água às várias atividades na região e a proteção contra cheias – as quais, em determinadas situações, podem não ser compatíveis.

Como tal, para garantir o cumprimento satisfatório das suas várias funções, deverá ter sido definido para cada albufeira um conjunto de regras de exploração que tenha em conta esse requisito e a salvaguarda da segurança das estruturas associadas, para vários cenários de afluências. Este trabalho focou-se especificamente na análise de regras para a gestão operacional das albufeiras em situações de risco de cheia. Perante a dificuldade de prever a ocorrência desses eventos com a fiabilidade e o tempo de antecedência suficientes, nas albufeiras com a função de proteção de cheias são comummente impostas restrições à sua gestão com impacto na satisfação das demais utilizações, nomeadamente na produção de energia.

Tratando-se de reservatórios com capacidade de armazenamento considerável, as albufeiras permitem reter temporariamente algum volume de água afluente e assim laminar as afluências a jusante. Para tal, é necessário gerir as descargas de modo a assegurar um volume de armazenamento livre para encaixe e amortecimento do pico de cheia, quando este ocorrer.

Em Portugal, uma das bacias hidrográficas em que se tem verificado a ocorrência de eventos de cheias com impactos mais significativos é a bacia do rio Mondego. Tal como se verificou em janeiro de 2001 e, mais recentemente, nos primeiros dois meses de 2016, na bacia hidrográfica do rio Mondego, as cheias podem afetar grandes áreas e provocar elevados prejuízos económicos, causando normalmente impactos mais significativos na cidade de Coimbra e no vale a jusante desta.

A zona do Baixo Mondego, localizada a jusante de Coimbra, é uma área de vales abertos, e com propensão para afetação pelas cheias. Contudo, a utilização dessa área é sobretudo agrícola e, devido à existência de um sistema de diques de proteção contra as cheias fluviais correntes, a inundação desses terrenos apenas acontece para cheias com baixa probabilidade de ocorrência.

A cidade de Coimbra, devido à urbanização da sua zona ribeirinha, é mais vulnerável a perdas económicas provocadas por situações de cheia. Foi assim considerada a cidade de Coimbra como ponto de referência para o controlo de cheias e, como caso de estudo, o sistema de albufeiras Aguieira-Raiva-Fronhas (Figura 1), que se localiza a montante e que permite, em determinadas situações, minimizar os impactos das cheias a jusante.

O valor que está preconizado para o caudal correspondente à cheia centenária amortecida em Coimbra é de 1200 m^3/s. No entanto, as áreas marginais da cidade de Coimbra são inundadas pelo rio Mondego para caudais superiores a 800 m^3/s.

As albufeiras da Aguieira e Raiva localizam-se no rio Mondego e a albufeira de Fronhas situa-se no rio Alva, embora esta derive parte das suas afluências para a Aguieira através de um túnel de transvase, que tem uma capacidade máxima de 30 m^3/s. A albufeira da Agueira é o grande reservatório do sistema, com uma capacidade de armazenamento de 450 hm^3, comparado com os 21 hm^3 da Raiva e os 89 hm^3 de Fronhas.

O objetivo principal deste trabalho consistiu, desde logo, numa análise das regras operacionais em vigor para o sistema Aguieira-Raiva-Fronhas e da gestão interligada das três albufeiras. Através dessa análise estudaram-se novas alternativas de gestão do sistema de albufeiras, com base na sua interligação, propondo-se um conjunto de novas regras de operação, procurando melhorar o comportamento das albufeiras em situações de ocorrência de cheias de magnitude diversa. Para a aplicação das regras de operação propostas pretendeu-se utilizar previsões de caudais, na perspetiva de obter melhores resultados na prevenção de situações de cheia, impedindo ou minimizando as inundações fluviais a jusante do sistema de albufeiras.

Este trabalho decorre da realização da Tese de Mestrado desenvolvida pelo primeiro autor (Silva, 2015) e enquadrou-se no âmbito da Tese de Doutoramento em desenvolvimento pelo segundo autor (Mendes, 2016).

2. Métodos e Dados

Neste ponto é apresentada a metodologia utilizada na realização deste trabalho, bem como uma breve descrição do modelo utilizado e das simulações realizadas.

2.1. Tarefas desenvolvidas

Para o presente trabalho utilizou-se um modelo de simulação de gestão de albufeiras, desenvolvido com base no software HEC-ResSim, para simulação dos eventos de cheia estudados.

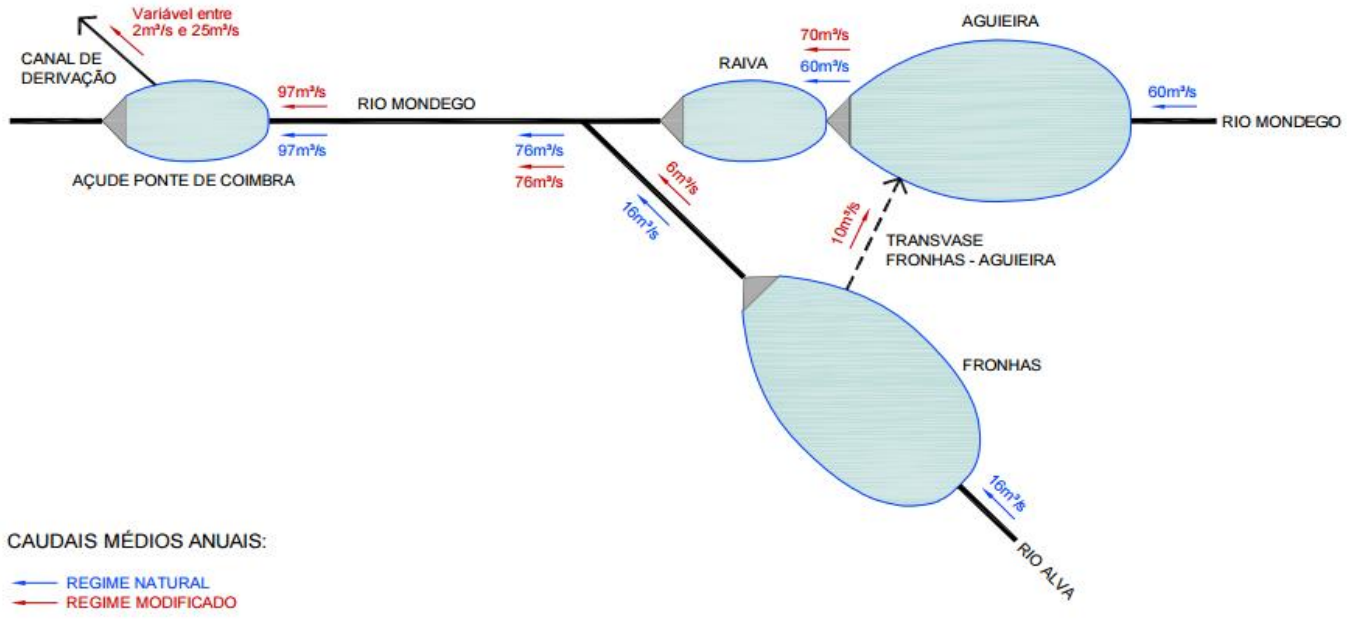

Figura 1. Sistema de albufeiras Aguieira-Raiva-Fronhas (ARH-Centro, 2011).

Para a sua aplicação, o trabalho desenvolvido incluiu sumariamente as seguintes tarefas:

1. Formulação do modelo de cálculo no *software* escolhido;
2. Seleção dos eventos de cheia e obtenção dos dados de base (caudais observados e previstos);
3. Análise das regras operacionais em vigor através da sua aplicação na simulação dos eventos de cheia selecionados;
4. Formulação de novas regras de operação com base nos resultados da análise anterior;
5. Simulação dos eventos de cheia selecionados, utilizando as regras formuladas;
6. Comparação dos resultados obtidos nos pontos 3 e 5 e análise das vantagens/desvantagens da utilização das novas regras.

2.2. Modelo de gestão de albufeiras - HEC-ResSim

O modelo de simulação de gestão de albufeiras HEC-ResSim (*Hydrologic Engineering Center - Reservoir Simulation)*, desenvolvido pelo *US Army Corps of Engineers*, funciona com base em três módulos (Hanbali, 2014):

1. módulo de definição da rede.
2. módulo onde se caracteriza o modelo e se definem as alternativas de gestão a analisar para cada evento, ou seja, os cenários a simular com diferentes caudais ou diferentes regras de exploração.
3. módulo onde se executa a simulação e se obtêm os resultados da mesma.

Os dados de entrada do modelo são os caudais afluentes aos vários pontos de entrada do sistema, nomeadamente às albufeiras e às confluências com as sub-bacias não regularizadas. Os resultados principais são os caudais efluentes (turbinados e/ou descarregados) e os níveis de água nas albufeiras, e os caudais afluentes a diversos pontos da rede fluvial representados no modelo. O modelo permite ainda determinar a energia produzida nas centrais hidroelétricas que fazem parte do sistema (funcionalidade que não é apresentada no âmbito deste trabalho).

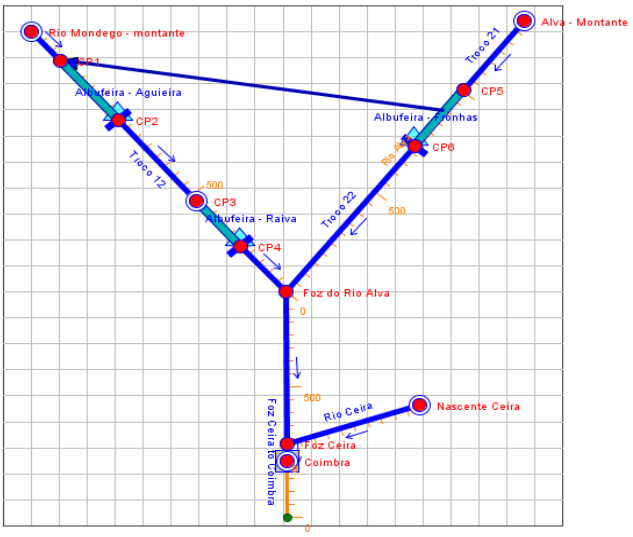

Figura 2. Esquema da rede fluvial em estudo, incluindo as estruturas de armazenamento e regulação integrantes da mesma.

Na Figura 2 apresenta-se o esquema conceptual da rede estudada, definida através do software HEC-ResSim, com a representação dos troços fluviais, dos pontos de entrada e de confluência de caudais e das estruturas hidráulicas consideradas.

2.3. Simulações realizadas e dados de base

Os eventos de cheia selecionados para simulação e análise foram os ocorridos entre 2 e 12 de fevereiro de 2014 e entre 23 e 29 de janeiro de 2001, ambos correspondentes a inundações ocorridas em Coimbra e a jusante desta cidade. A escolha deveu-se à existência de registos de caudais afluentes e efluentes nas secções das albufeiras do sistema (SNIRH, 2015) e de resultados de previsões de caudais naturais afluentes aos troços fluviais em estudo, realizadas para esses períodos, e também, devido às diferenças de magnitude e de consequências desses eventos de cheia, tendo o evento de Janeiro de 2001 sido o evento de maior magnitude e com gravosas consequências para a zona do Baixo Mondego (Rodrigues *et al.*, 2001).

Para a simulação dos dois eventos de cheia referidos, foram utilizados como dados de entrada os caudais afluentes observados nas secções das Aguieira e de Fronhas e os caudais previstos nos restantes pontos de entrada de afluências representados no modelo, dado não haver valores observados noutras secções. Os dados relativos aos caudais previstos foram obtidos utilizando os resultados das previsões de caudais naturais por um período de 10 dias – produto do trabalho de doutoramento anteriormente referido – realizadas através de simulação hidrológica, para cada dia, com um conjunto de 51 previsões de precipitação diferentes, provenientes do Sistema de Previsão por *Ensemble* do ECMWF (*The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Como dados de entrada, foram calculados os percentis 25, 50 e 75 relativos às 51 previsões de caudal, tendo-se utilizado nas simulações os dados relativos ao percentil 50, por corresponderem às séries com valores mais aproximados aos caudais observados.

3. Regras de Operação

Neste ponto apresenta-se uma descrição geral e sucinta das regras de operação em vigor e indicam-se depois as principais alterações propostas a essas regras. A descrição detalhada de ambas pode ser consultada em Silva (2015).

3.1. Situação atual

Para garantir a segurança das estruturas fluviais (barragens, descarregadores, diques, margens ribeirinhas, etc.) e para prevenir a inundação do vale a jusante do sistema Aguieira-Raiva-Fronhas - especialmente na zona ribeirinha de Coimbra - a gestão atual dessas albufeiras durante o período do ano em que há uma maior probabilidade de ocorrências de cheias (meados de outubro a meados de abril) está condicionada por regras que impõem valores máximos para os níveis de água alcançáveis em cada uma das albufeiras. No caso da albufeira da Aguieira, os níveis máximos de água a assegurar em cada dia (níveis de pleno armazenamento) são definidos em 5 escalões diferentes, com base no valor médio do caudal afluente no dia anterior.

Além disso, estão definidos também alguns níveis de água de referência e operações de descarga correspondentes, que devem ser efetuadas quando o nível da água em tempo real atingir esses valores de referência.

Na albufeira da Raiva, como esta dispõe de uma capacidade de armazenamento reduzida para laminar caudais de cheia, as operações a realizar nessas situações estão diretamente dependentes da exploração da albufeira da Aguieira.

No que diz respeito à gestão de Fronhas, no período de risco de cheias as regras em vigor definem basicamente os níveis de água de referência a partir dos quais deve iniciar-se a abertura dos seus diferentes órgãos de descarga.

As regras de operação em vigor visam essencialmente limitar o caudal afluente à secção de Coimbra a 1200 m^3/s.

3.2. Alterações propostas

Com a finalidade de melhorar o funcionamento do sistema em estudo durante o período do ano em que há maior risco de cheia, foram propostas novas regras de operação para cada uma das albufeiras, formuladas com base nas previsões de caudais para os 10 dias seguintes (dados referidos em 2.3) e no estado das albufeiras em tempo real (níveis de água e caudais afluentes reais).

As novas regras, à semelhança das atuais, têm também em conta a interligação da gestão das várias albufeiras, tendo sido formuladas usando a albufeira da Aguieira como principal reservatório de amortecimento do caudal de cheia, devido à sua elevada capacidade de armazenamento quando comparada com as outras duas albufeiras do sistema, e gerindo a albufeira de Raiva, devido à limitada capacidade de armazenamento desta, de acordo com a gestão da Aguieira. Assim, não foram propostas regras específicas para a aplicação na albufeira da Raiva.

Para a albufeira da Aguieira, as alterações propostas mais relevantes incidem principalmente na definição dos principais níveis de referência e dos caudais a descarregar face a esses níveis e aos caudais afluentes em tempo real. Relativamente aos níveis de referência, propôs-se um aumento do nível mínimo de exploração e do nível de defesa de obra (nível máximo para controlo de cheias em Coimbra) desta albufeira e a definição do nível de pleno armazenamento da mesma em função do caudal afluente instantâneo, considerando apenas dois escalões.

Quanto à gestão das descargas, foram definidos caudais a descarregar em função dos novos níveis de referência e da previsão das afluências a Coimbra geradas nas sub-bacias não regularizadas a jusante do sistema de albufeiras.

Com as alterações efetuadas pretende-se limitar a ocorrência de caudais afluentes a Coimbra superiores a 800 m^3/s, de modo a minimizar as inundações nas áreas marginais da cidade, e evitar, de todo, que o caudal nessa secção ultrapasse os 1200 m^3/s.

Por outro lado, para garantir a segurança da barragem, para as situações em que o nível de água atinge valores próximos do nível máximo de cheia, estabeleceram-se valores mais elevados para os caudais a descarregar do que os preconizados nas regras em vigor.

Em relação à albufeira de Fronhas, as regras propostas mantêm os mesmos níveis de referência das regras em vigor, diferendo delas apenas na definição dos caudais a descarregar em função do caudal afluente. Comparativamente com as regras em vigor, neste trabalho propõe-se um aumento dos valores máximos a descarregar, mas com uma variação mais gradual até atingir esses valores.

4. Análise dos Resultados

Neste ponto apresentam-se os resultados das simulações dos eventos de cheia selecionados utilizando quer as regras em vigor quer as regras propostas, e através desses resultados, compara-se o desempenho dos dois conjuntos de regras.

4.1. Evento de fevereiro de 2014

O primeiro período simulado foi o compreendido entre os dias 2 e 12 de fevereiro de 2014. A cheia ocorrida nesse período foi sentida especialmente em Coimbra, onde provocou danos materiais. O caudal afluente à Aguieira nesse evento atingiu um valor máximo de cerca de 1045 m^3/s, no dia 10/02/2014 (Figura 3).

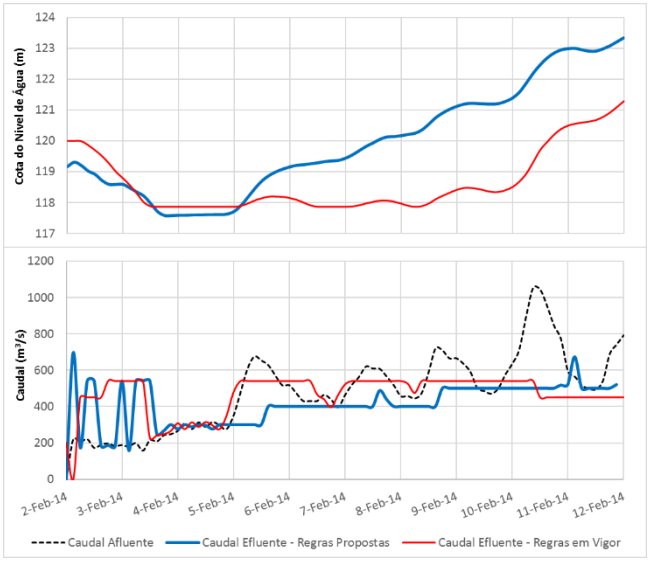

Figura 3. Albufeira da Aguieira. Variação do caudal afluente (linha preta a traço interrompido) e resultados (níveis de água na albufeira e caudais efluentes) da simulação da gestão com as regras em vigor (linhas a vermelho) e com as regras propostas neste trabalho (linhas a azul), relativos ao período entre 2 e 12 de fevereiro de 2014.

Nos gráficos incluídos na Figura 3 apresenta-se, para este período simulado, a variação do caudal afluente à Aguieira (linha preta a traço interrompido) e os resultados da simulação da gestão dessa albufeira com as regras em vigor (linhas a vermelho) e com as regras propostas (linhas a azul): no gráfico superior é exibida a variação dos níveis de água na albufeira e, no inferior, os caudais efluentes (turbinados e/ou descarregados pela barragem).

Comparando os resultados apresentados, observa-se que:

- Com ambas as regras, no período inicial de simulação - antes do aumento do caudal afluente ocorrido no dia 04/02 - há um abaixamento do nível de água na albufeira;

- Após o aumento significativo do caudal afluente (início do evento de cheia, ocorrido a 05/02) até que se atinge o pico de cheia nesta secção (ocorrido no dia 10/02), o caudal efluente resultante das regras propostas é sempre inferior ao resultante das regras em vigor;
- Após o início do evento de cheia, o nível de água na albufeira da Aguieira resultante das regras propostas mantém-se sempre superior ao resultante das regras em vigor.

Na Figura 4 apresentam-se os resultados correspondentes obtidos para a albufeira de Fronhas. Neste caso, em que os caudais afluentes a Fronhas foram relativamente baixos (valor máximo de 250 m³/s), os resultados obtidos com os dois conjuntos de regras não apresentam uma diferença significativa.

No entanto, pode-se observar que o caudal efluente apresenta uma maior variação e atinge valores maiores com as regras propostas.

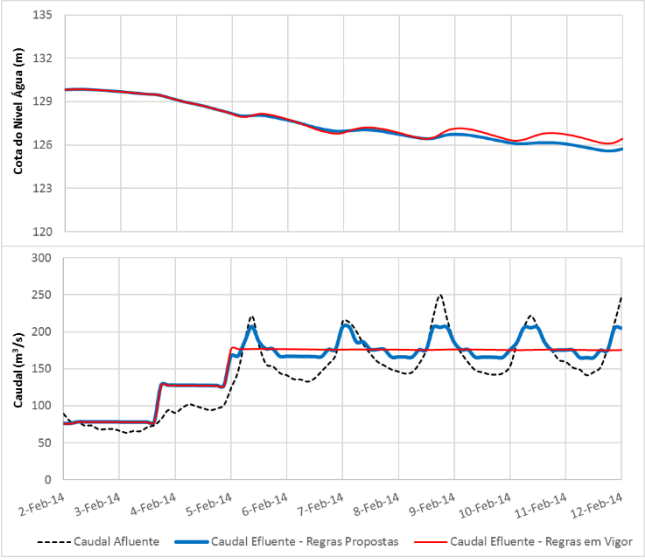

Figura 4. Albufeira de Fronhas. Variação do caudal afluente (linha preta a traço interrompido) e resultados (níveis de água na albufeira e caudais efluentes) da simulação da gestão com as regras em vigor (linhas a vermelho) e com as regras propostas neste trabalho (linhas a azul), relativos ao período entre 2 e 12 de fevereiro de 2014.

Observando os resultados obtidos para a secção de Coimbra, apresentados na Figura 5, verifica-se que:

- É ultrapassado o limiar de 800 m³/s com a aplicação dos dois conjuntos de regras, provocando inundações em Coimbra em qualquer dos casos;
- No entanto, em nenhum dos casos se atinge o caudal afluente limite de 1200 m³/s;
- Com a aplicação das regras em vigor atingem-se caudais superiores a 800 m³/s no dia 05/02 e com a aplicação das regras propostas isso só acontece um dia depois;
- Na grande maioria do período simulado é mantido um caudal mais baixo utilizando as regras propostas, e só se atinge um único pico de valor igual a 1000 m³/s no dia 09/02, devido essencialmente à contribuição do rio Ceira (curso de água não regularizado).

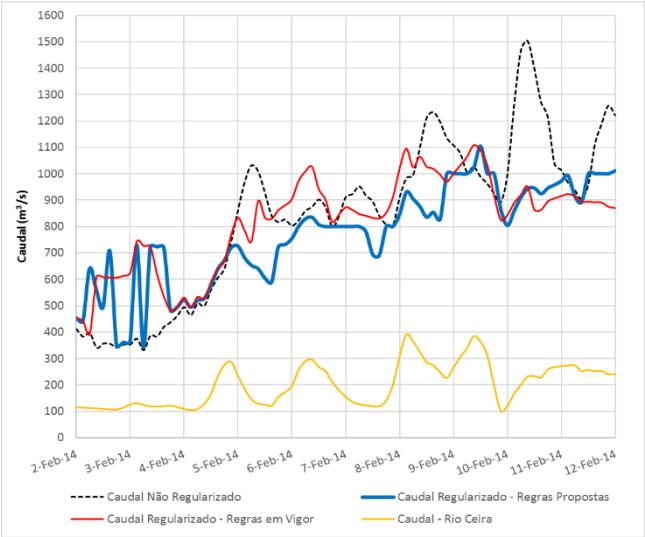

Figura 5. Coimbra: Variação do caudal afluente no período entre 2 e 12 de fevereiro de 2014: em regime não regularizado (linha preta a traço interrompido), com a aplicação das regras em vigor (linhas a vermelho), com a aplicação das regras propostas neste trabalho (linhas a azul), e contribuição específica do rio Ceira (linha a amarelo).

Com a análise deste caso (simulação do período de cheia ocorrido em fevereiro de 2014), pode concluir-se que mesmo não tendo sido possível evitar o efeito da cheia em Coimbra – o que acontece quando o caudal ultrapassa os 800 m³/s –, teria sido possível com as regras propostas atrasar a sua ocorrência e diminuir e a sua intensidade.

4.2. Evento de janeiro de 2001

Comparativamente à cheia ocorrida em 2014, o evento de janeiro de 2001 teve consequências mais gravosas, tanto na zona marginal de Coimbra como no vale a jusante, levando à rotura dos diques e à necessidade de evacuação da população em determinadas áreas.

Como se pode observar na Figura 6, no evento de 2001, o caudal afluente à Aguieira atingiu um valor máximo de cerca de 1800 m³/s no dia 26/01.

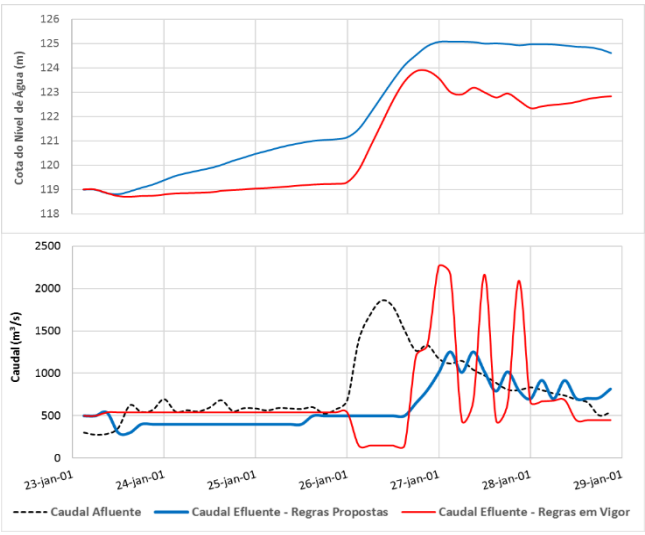

Figura 6. Albufeira da Aguieira. Variação do caudal afluente (linha preta a traço interrompido) e resultados (níveis de água na albufeira e caudais efluentes) da simulação da gestão com as regras em vigor (linhas a vermelho) e com as regras propostas neste trabalho (linhas a azul), relativos ao período entre 23 e 29 de janeiro de 2001.

Atendendo aos resultados apresentados na figura 6 para a albufeira da Aguieira, das simulações do evento de cheia de 2001 é possível constatar que:

- No período inicial de simulação, antes do aumento do caudal afluente ocorrido no dia 26/01, a aplicação das regras propostas conduz a um caudal efluente ligeiramente inferior ao obtido com as regras em vigor;
- O caudal máximo efluente atinge valores muito superiores com a aplicação das regras em vigor, atingindo três picos superiores a 2000 m^3/s, em contraponto com o valor máximo obtido com as regras propostas de cerca de 1100 m^3/s;
- O nível de água na albufeira da Aguieira resultante das regras propostas é sempre superior ao resultante das regras em vigor;
- Devido à intensidade do evento e à rapidez com que o mesmo ocorreu, em nenhum dos casos simulados foi possível que o nível de água fosse significativamente reduzido (nomeadamente antes do pico de cheia) de modo a aumentar a capacidade livre da albufeira para encaixe do volume de cheia.

Observando os resultados correspondentes obtidos para a secção de Fronhas (Figura 7), constata-se que, também durante este evento de cheia, os resultados obtidos com os dois conjuntos de regras não apresentam uma diferença muito significativa, embora se verifique que as regras propostas permitem ter um nível de água na albufeira, antes do pico de cheia ocorrer, superior aquele que seria esperado com a aplicação das regras em vigor.

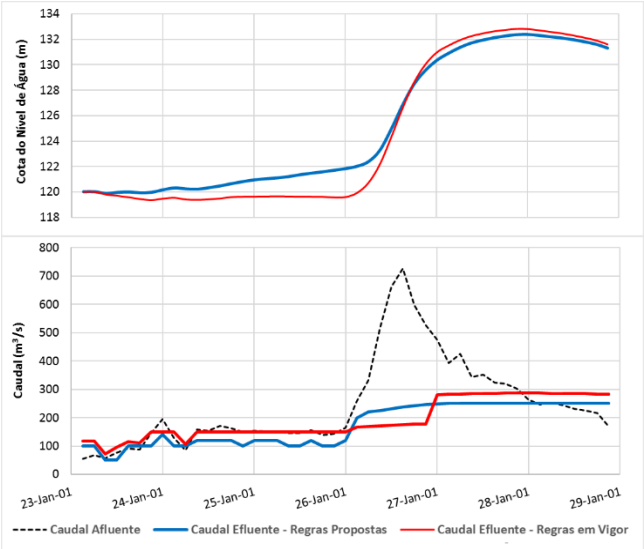

Figura 7. Albufeira de Fronhas. Variação do caudal afluente (linha preta a traço interrompido) e resultados (níveis de água na albufeira e caudais efluentes) da simulação da gestão com as regras em vigor (linhas a vermelho) e com as regras propostas neste trabalho (linhas a azul), relativos ao período entre 23 e 29 de janeiro de 2001.

Relativamente aos resultados obtidos para a secção de Coimbra (Figura 8), neste caso observa-se que:

- Caso não existisse qualquer regularização (na Aguieira e em Fronhas) o caudal máximo de cheia em Coimbra atingiria um valor de 3400 m^3/s;
- No entanto, com base na regularização existente, é ainda largamente ultrapassado o limiar de 800 m^3/s e o limite de 1200 m^3/s, com a aplicação de qualquer dos dois conjuntos de regras;
- Entretanto, o caudal máximo afluente a esta secção atinge valores muito superiores com a aplicação das regras em vigor, atingindo três picos superiores a 2400 m^3/s, em contraponto com o valor máximo obtido com as regras propostas de cerca de 1900 m^3/s;
- Na grande maioria do período simulado é mantido um caudal mais baixo utilizando as regras propostas, com uma exceção evidente no início do dia 26/01, em que é patente o grande contributo do rio Ceira.

Assim, no caso da cheia de janeiro de 2001, não foi possível reduzir as consequências da cheia devido à sua magnitude e também à influência do rio Ceira (afluente não regularizado).

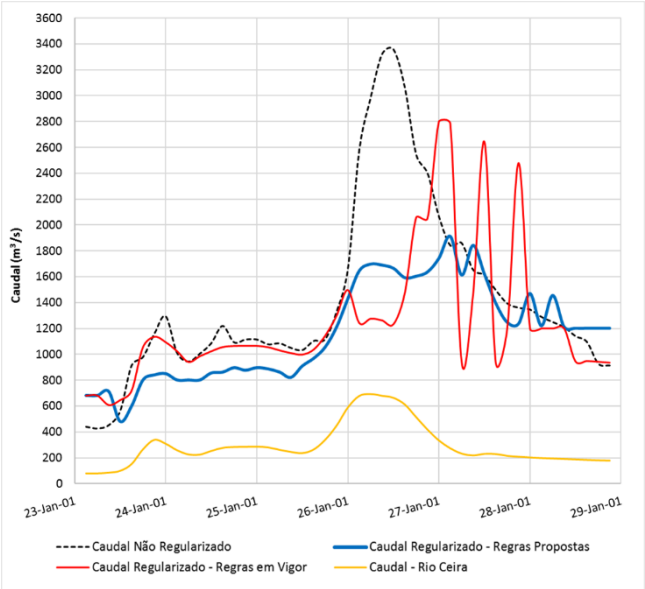

Figura 8. Coimbra. Variação do caudal afluente no período entre 23 e 29 de janeiro de 2001: em regime não regularizado (linha preta a traço interrompido), com a aplicação das regras em vigor (linhas a vermelho), com a aplicação das regras propostas neste trabalho (linhas a azul), e contribuição específica do rio Ceira (linha a amarelo).

5. Conclusão

Com base nos resultados obtidos para ambos os períodos de cheia simulados, ocorridos em fevereiro de 2014 e em janeiro de 2001, foram consideradas potenciais alterações às regras e operação em vigor de modo a melhorar a gestão das albufeiras em situações de cheia.

A aplicação das regras de operação propostas aos eventos de cheia considerados, permitiram:

- reduzir o impacto dos caudais de cheia para os eventos de diferentes magnitudes testados através do atraso e diminuição do caudal de ponta de cheia afluente a Coimbra;
- manter os níveis de água das albufeiras a cotas relativamente elevadas beneficiando desse modo as restantes utilizações das albufeiras, nomeadamente a produção hidroelétrica.

A utilização dos dados de previsão de afluências revelou-se útil e benéfica para a gestão das albufeiras em situações de cheia. A sua utilização pode contribuir para a formulação de regras de exploração adequadas e alternativas, que podem levar ao melhor aproveitamento operacional da capacidade das albufeiras.

Referências

ARH-Centro (2011). Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis Integradas na Região Hidrográfica 4. Relatório Técnico para Efeitos de Participação Pública, Administração da Região Hidrográfica do Centro, outubro de 2011.

CNPGB (2015). Sítio da Internet da "Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens" (http://cnpgb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/Lista.htm), consultado em junho de 2015.

Hanbali (2014). HEC-ReSim - Reservoir System Simulation. Apresentação realizada em outubro de 2004 em Kiev (Ucrânia) e Chisinau (Moldávia), USACE, (https://www2.unece.org/ehlm/platform/download/attachments/31522905/Handbali_HEC-ResSim.pdf?version=1&modificationDate=1415776668068&api=v2), acedido em junho de 2015.

Mendes, J. (2016). Previsão e Alerta de Cheias em Bacias Regularizadas. Aplicação ao caso de uma bacia portuguesa. Tese de doutoramento (versão entregue para avaliação). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Rodrigues, R., Brandão, C., Costa, J. (2001). Hidrologia das cheias do Mondego de 26 e 27 de janeiro de 2001. Direção de Serviços de Recursos Hídricos, Instituto da Água, Lisboa. Disponível em (http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/cheias_mondego_2001.pdf), consultado em março de 2011.

Silva, F. (2015). Otimização da gestão operacional de albufeiras de aproveitamentos de fins múltiplos em situações de cheia. Aplicação ao sistema Aguieira – Raiva – Fronhas. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

SNIRH (2015). Sítio da Internet do "Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (http://snirh.apambiente.pt/), consultado em junho de 2015