

IX-057 - MODELAGEM HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA DO SISTEMA DE DRENAGEM DO AEROPORTO INTERNACIONAL TANCREDO NEVES (CONFINS-MG): AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRANSPORTE E SEGURANÇA DAS COMUNIDADES A JUSANTE

Ricardo Gomes Passos⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Engenheiro Ambiental na Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO.

Ronan Fernandes Moreira Neto

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Civil (Saneamento e Recursos Hídricos) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Engenheiro Ambiental na Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO.

Rafael Soares de Souza Pimenta de Almeida

Engenheiro Ambiental pela Universidade FUMEC. Engenheiro Ambiental na Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO.

Endereço⁽¹⁾: Rua Cambuquira, 175 – Carlos Prates - Belo Horizonte - MG - CEP: 30710-550 - Brasil - Tel: (31) 9278-8056 - e-mail: ricardogpassos@yahoo.com.br

RESUMO

O Aeroporto Internacional Tancredo Neves / Confins-MG (AITN) localiza-se na região central do Estado de Minas Gerais, englobando territórios dos municípios de Confins e Lagoa Santa, ambos integrantes da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH, distando cerca de 40 km da capital do Estado. O AITN está no início de um período de obras que é parte integrante do planejamento para sua ampliação e modernização. Para os próximos anos, estão previstas a impermeabilização de novas áreas e, consequentemente, acréscimo na vazão a ser escoada pelo sistema de drenagem existente, colocando em cheque a capacidade do atual sistema em suportar o futuro acréscimo de vazão. De forma a avaliar essa capacidade, bem como os possíveis impactos advindos com as ampliações previstas, realizou-se modelagem hidrológica e hidráulica do sistema de drenagem existente nesse aeroporto. A partir do modelo, foi possível avaliar a capacidade de transporte do atual sistema de drenagem frente às vazões de escoamento superficial provenientes da plataforma aeroportuária (cenário atual); avaliar a capacidade de transporte do atual frente às ampliações previstas para o aeroporto (cenário futuro); identificar e avaliar pontos críticos no sistema e atestar o funcionamento das estruturas de contenção e proteção de comunidades a jusante do aeroporto. Utilizou-se para tal o modelo SWMM (Storm Water Management Model / Modelo de Gestão de Drenagem Urbana), da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). Este trabalho apresenta os principais resultados da modelagem em uma das sub-bacias do sistema de drenagem do aeroporto; sendo a capacidade de transporte do sistema e a segurança das comunidades de jusante atestadas para os cenários em questão. A modelagem hidráulica e hidrológica com o SWMM se mostrou uma ferramenta de significativa aplicabilidade na avaliação do sistema, além de possibilitar a gestão integrada dos programas de manutenção e as definições de obras necessárias.

PALAVRAS-CHAVE: SWMM, Modelagem, Aeroportos, Sistema de drenagem.

INTRODUÇÃO

A realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas advém da necessidade de se compreender o funcionamento do balanço hídrico, os processos que controlam o movimento da água e os impactos de mudanças do uso da terra sobre a quantidade e qualidade da água.

A importância de se adotar a bacia como unidade hidrológica está ligada ao fato de que suas características estão intimamente relacionadas com a produção de água. Segundo Zakia (1998), a área de uma bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida. Já forma e o relevo atuam sobre a taxa ou sobre o regime desta produção de água, assim como sobre a taxa de sedimentação.

O padrão de drenagem, por sua vez, afeta a disponibilidade de sedimentos e a taxa de formação do deflúvio. Durante muito tempo, os estudos hidrológicos eram basicamente avaliações de apenas dois componentes do ciclo hidrológico: a precipitação e o deflúvio. A precipitação representava a entrada e o deflúvio a saída do sistema, sendo a evaporação e armazenamento quase sempre desconsideradas na análise. Entretanto, a compreensão do conjunto de processos físicos que ocorrem na bacia é imprescindível para interpretação dos resultados obtidos, suas limitações e sua aplicabilidade a outras regiões (McCULLOCH e ROBINSON, 1993).

O modelo hidrológico é uma ferramenta extremamente útil que permite, através da equalização dos processos, representar, entender e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 1998). Entretanto, é impossível ou inviável traduzir todas as relações existentes entre os diferentes componentes da bacia hidrográfica em termos matemáticos. De fato, ou essas relações são extremamente complexas a ponto de não existir uma formulação matemática capaz de descrevê-las completamente, ou apenas uma parte dos processos envolvidos nessas relações é parcialmente conhecida. Assim, na maioria dos casos, a modelagem hidrológica torna-se somente uma representação aproximada da realidade.

Ainda assim, devido às potencialidades que um modelo oferece - como pronta-resposta, facilidade de manipulação de dados e capacidade de análise de cenários distintos - a modelagem de sistemas de drenagem constitui ferramenta bastante útil na avaliação das condições de funcionamento atuais e futuras do sistema, além de auxiliar na tomada de decisões em projetos e avaliação dos impactos causados por alterações no uso e ocupação do solo (a exemplo de novas áreas impermeabilizadas, obras, movimentações de terra e outros) podendo ser utilizada na avaliação de sistemas urbanos e rurais, como de cidades, loteamentos, distritos industriais, estradas, aeroportos etc..

Em se tratando de aeroportos, Horonjeff (2010) relata que um adequado sistema de drenagem para controle do escoamento superficial e subsuperficial é de vital importância para a segurança operacional do aeroporto e para a manutenção do pavimento. Em outras palavras, o escoamento da água em áreas operacionais do aeroporto, como pátios, vias de serviço e pistas, não é desejável e deve ser controlado com sistemas de drenagens eficientes. Por outro lado, toda a água escoada da plataforma aeroportuária deve ter como exutório sistemas seguros, capazes de amortecer as vazões de pico, reduzir o aporte de sedimentos e controlar as ondas de cheias. Todas essas medidas visam reduzir o risco de inundações e impactos negativos na circunvizinhança dos aeroportos. Tais assertivas demonstram a importância do conhecimento dos sistemas de drenagem em aeroportos, bem como os benefícios de modelos que os representem.

O Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN) localiza-se na região central do Estado de Minas Gerais, englobando territórios dos municípios de Confins-MG e Lagoa Santa-MG, ambos integrantes da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH, distando cerca de 40 km da capital do Estado. Em termos fisiográficos, o aeroporto está posicionado sobre um platô da serra de Santa Helena, em um divisor de águas, não existindo contribuição de montante. Parte de sua bacia de drenagem contribui para a sede municipal de Confins - MG, atingindo a Lagoa Vargem Bonita e o Ribeirão da Mata, e outra parte da bacia de drenagem contribui para o Rio das Velhas, por meio do Córrego do Jaque (na direção do município de Lagoa Santa – MG).

O AITN está no início de um período de obras que é parte integrante do planejamento para sua ampliação e modernização. Para os próximos anos, estão previstas a impermeabilização de novas áreas e, consequentemente, acréscimo na vazão a ser escoada pelo sistema de drenagem existente, colocando em cheque a capacidade do atual sistema em suportar o futuro acréscimo de vazão.

Como cumprimento de duas das condicionantes da licença ambiental prévia (LP) das obras, realizou-se modelagem hidrológica e hidráulica do sistema de drenagem existente no referido aeroporto. A partir do modelo, foi possível avaliar a capacidade de transporte do atual sistema de drenagem frente às vazões de escoamento superficial provenientes da plataforma aeroportuária (cenário atual); avaliar a capacidade de transporte do atual frente às ampliações previstas para o aeroporto (cenário futuro); identificar e avaliar pontos críticos no sistema e atestar o funcionamento das estruturas de contenção e proteção de comunidades a jusante do aeroporto. Utilizou-se para tal o modelo SWMM (*Storm Water Management Model* / Modelo de Gestão de Drenagem Urbana) desenvolvido pela *National Risk Management Research Laboratory* (Laboratório Nacional de Gestão de Riscos) e pertencente à Agência para Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos (USEPA). Este trabalho apresenta os principais resultados da modelagem em uma das sub-bacias do sistema de drenagem desse aeroporto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição do local e da sub-bacia em estudo

O Aeroporto Internacional Tancredo Neves está localizado entre as bacias hidrográficas de Confins e do Córrego do Jaque. O sistema de drenagem do AITN foi projetado para retirar a água da plataforma aeroportuária o mais rápido possível de forma a assegurar as condições de segurança para operação de pouso e decolagem de aeronaves. Ademais, a concepção do projeto privilegiou a condução das águas drenadas de modo a disciplinar o fluxo de escoamento e proteger as áreas a jusante dos pontos de desagüe.

O sistema de drenagem existente no AITN é bastante robusto, sendo composto por valetas, canaletas, canais e descidas de grandes dimensões, construídos em concreto armado, que recebem a água drenada da plataforma aeroportuária e direcionam o fluxo até os pontos de desagüe. Dentro dessas valetas, canaletas, canais e descidas encontram-se instalados dispositivos para retenção do fluxo de água e redução da velocidade de escoamento, tais como degraus, barragens e estruturas de dissipação.

A sub-bacia em estudo (denominada ‘sub-bacia da descida DA’) é composta por 16 áreas de contribuição e localiza-se próximo à cabeceira 16 da pista de pouso e decolagem. As águas pluviais drenadas pela descida DA são provenientes da contribuição direta da plataforma através de 06 (seis) valetas de drenagem com seção trapezoidal crescente (VP1, VP2, VP3, VP4, VP5, VP6). Tais valetas desagüam em descidas menores (D2, D3 e D4) que encaminham a água para a descida DA, de maior dimensão. A Descida DA direciona a água até o canal de amortecimento de vazões C1, situado no lado da bacia do município de Confins - MG. O canal C1 funciona como um reservatório de armazenamento e infiltração, liberando, paulatinamente, parte do fluxo de água para a cidade localizada a jusante (Confins) por meio de vertedores filtrantes. A outra parcela é infiltrada no próprio canal. A configuração do sistema de drenagem do aeroporto, com indicação da sub-bacia da descida DA (em vermelho), é apresentada na Figura 1(a). A Figura 1(b) apresenta um esquema da sub-bacia, com divisão das áreas de contribuição.

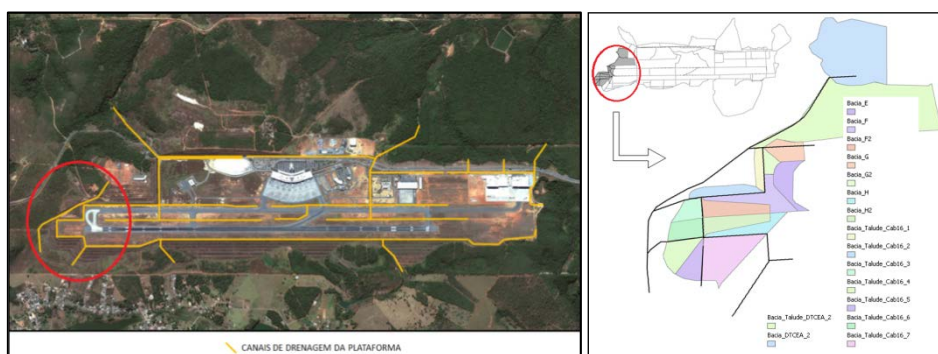


Figura 1: Croqui do sistema de drenagem do AITN, com indicação da sub-bacia da descida DA em vermelho (a) e esquema da sub-bacia, com divisão das áreas de contribuição (b).

Configuração do sistema de drenagem e áreas de contribuição

A configuração do sistema de drenagem foi obtida através dos projetos contidos na Mapoteca da INFRAERO e da verificação *in loco* das estruturas existentes. Elementos como valetas de plataforma, canais, bacias de contenção, degraus, barragens, dentes de amortecimento de vazão, enrocamentos e as descidas d'água foram verificados em campo, mapeados e utilizados como dados de entrada para a modelagem, incluindo informações de rugosidade, comprimento, cotas e seção transversal dos condutos.

O software ArcGis® foi utilizado para determinação dos atributos da área de contribuição de cada canal, a exemplo da declividade média, área total, largura característica, percentual impermeável, rugosidade e parâmetros de infiltração. Para a confecção de Shapefiles contendo essas informações, utilizou-se uma imagem do satélite IKONOS, Datum Sad 69, da região do aeroporto, e plantas georreferenciadas contendo curvas de nível a cada metro. Também foi gerado um Modelo Digital de Elevação, facilitando a determinação das áreas, elevações e declividades do terreno.

Período de retorno

Tucci (1998) estabelece que o período de retorno utilizado para cálculos hidrológicos em aeroportos varia de 2 a 5 anos. Período semelhante é proposto pela FAA (US Federal Aviation Administration), em sua Advisory Circular AC 150/5320-5B, quando recomenda a utilização de período de retorno de 5 anos para projetos de sistema de drenagem para aeroportos civis. O órgão estadunidense supracitado recomenda que projetos do sistema de drenagem sejam verificados utilizando-se uma chuva de menor frequência, de 10 a 15 anos, visando examinar os possíveis danos ao sistema e a segurança operacional do aeroporto.

A favor da segurança, e em observância à recomendação da FAA, optou-se por utilizar o período de retorno de 10 anos na modelagem.

Chuva de Projeto

Para este estudo, utilizou-se a equação das chuvas intensas, sendo a duração da chuva definida como equivalente ao tempo de concentração da bacia. Associou-se, desta forma, para cada sub-bacia de contribuição um tempo de concentração e, conseqüentemente, uma intensidade de precipitação vinculada ao período de retorno de 10 anos.

O tempo de concentração foi calculado utilizando-se a equação de Kirpich e conferido pelo método cinemático.

A equação de intensidade-duração-frequência (i-d-f) foi obtida para os parâmetros locais da cidade de Lagoa Santa-MG. Os parâmetros de entrada da equação foram obtidos pelo Software gratuito Pluvio 2.1, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa.

No Pluvio 2.1, utilizou-se a estação ‘Ponte Raul Soares’ (em Lagoa Santa, cidade vizinha ao aeroporto), localizada nas seguintes coordenadas: Latitude: 19°33’41” e Longitude: 43°55’04”. Para essa estação, os parâmetros locais da equação i-d-f foram: $K = 3316,8$; $a = 0,235$; $b = 32,05$; $c = 1,006$

A Tabela 1 apresenta o tempo de concentração (T_c) e intensidade de precipitação (I_m) que foram utilizados para esta avaliação.

Tabela 1. Tempo de concentração e intensidade de precipitação da chuva aplicada à bacia da descida DA – Aeroporto de Confins.

DA	Distância do ponto mais remoto até a entrada do sistema - (m)	DA (m)	CP (m)	S3 (m)	TOTAL (m)	Cota maior	Cota menor	Δ Cota	T_c (min)	i_m (mm/h)
	146.73	1012.00	0	0	1158.73	825.00	767.5	57.5	14.20	120.40

Parâmetros de Infiltração

A taxa de infiltração estável (parâmetro de entrada do modelo) foi obtida por meio de ensaios de campo, utilizando-se o método do infiltrômetro de anel. Para isso, foram confeccionados três infiltrômetros, (Figura 2a), que posteriormente foram alocados em diferentes pontos do sítio aeroportuário (Figura 2b), onde os testes foram realizados.

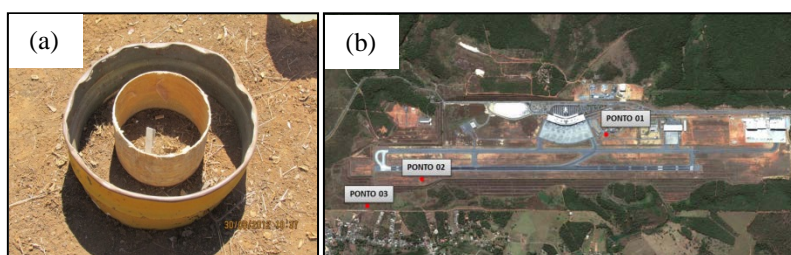


Figura 2: (a) Infiltrômetro de Anel utilizado nos ensaios; (b) Localização dos pontos de realização dos ensaios de infiltração.

Este método consiste basicamente em dois cilindros concêntricos e um dispositivo de medir volumes da água aduzida ao cilindro interno. Seguindo as orientações de literatura, os cilindros foram confeccionados com 30 e 60 cm de diâmetro, ambos com 30 cm de altura. Foram instalados concêntricamente e enterrados 15 cm no solo. Para isso, as bordas inferiores foram biseladas, a fim de facilitar a penetração no terreno.

A água foi colocada ao mesmo tempo nos dois anéis e, com uma régua graduada, fez-se a leitura da lâmina d'água no cilindro interno, com intervalos de tempo pré-determinados. A diferença de leitura entre dois intervalos de tempo representou a infiltração vertical neste período.

O teste foi finalizado quando a taxa de infiltração permaneceu constante, ou seja, após leituras constantes entre intervalos de tempo seguidos. Neste momento, considerou-se que o solo atingiu a chamada Taxa de Infiltração Estável. De posse dessa informação, utilizou-se, a favor da segurança e em função das incertezas envolvidas, 20% dessa taxa de infiltração no modelo desenvolvido.

Foram realizados quatro ensaios de infiltração. Dois dos ensaios foram realizados na própria plataforma (Pontos 01 e 02) nos quais se esperava obter uma taxa de infiltração inferior; em função do elevado grau de compactação experimentado pelo local durante a etapa de construção do aeroporto. Os outros dois ensaios foram realizados nas proximidades de um mesmo ponto (Ponto 03), e localizados no fundo do canal de amortecimento de vazão C1. Na Figura 2b está apresentada a localização dos pontos onde foram realizados os ensaios.

Modelagem

A modelagem foi realizada utilizando-se o Software SWMM – Storm Water Management Model, desenvolvido pela USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. A versão utilizada foi a BUILD 5.0.022, atualizada em 11/04/2012 e traduzida pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba – UFPB.

A avaliação da capacidade hidráulica do sistema de drenagem do aeroporto foi realizada com base nas seguintes premissas:

- Toda a plataforma aeroportuária considerada impermeabilizada, sem infiltração. Apenas nas áreas não-atropizadas (áreas com vegetação natural abaixo da plataforma) foi considerada a taxa de infiltração obtida nos ensaios com infiltrômetro;
- Contribuição de cada sub-bacia no primeiro nó de cada trecho correspondente;
- Relação entre a vazão escoada pelo conduto, a área da seção transversal, o raio hidráulico e a declividade estabelecida pela equação de Manning, tanto para condutos abertos como para condutos fechados parcialmente cheios.
- Coeficiente de Manning para os canais de concreto $n = 0,016$ (média da faixa apresentada por ASCE (1982) e em outras referências de literatura, para canais abertos revestidos de concreto);
- Coeficiente de Manning para os canais com enrocamento $n = 0,035$ (limite superior da faixa apresentada por ASCE (1982), para canais abertos de pedregulho ou enrocamento);
- Coeficiente de Manning para o escoamento em superfície livre na área de vegetação natural $n = 0,4$ (valor típico apresentado por ASCE (1982) e em outras referências de literatura, para escoamento em terreno natural com vegetação rasteira leve);

As três primeiras premissas se configuram no cenário mais crítico possível. Ao se considerar a plataforma aeroportuária completamente impermeabilizada, expandiu-se a análise para todas as possíveis ampliações do aeroporto. Ademais, ao se considerar a contribuição de cada sub-bacia (exutório) no nó inicial do trecho modelado, adotou-se um caráter bastante conservador, na medida em que a contribuição do escoamento superficial na verdade ocorre ao longo de cada trecho.

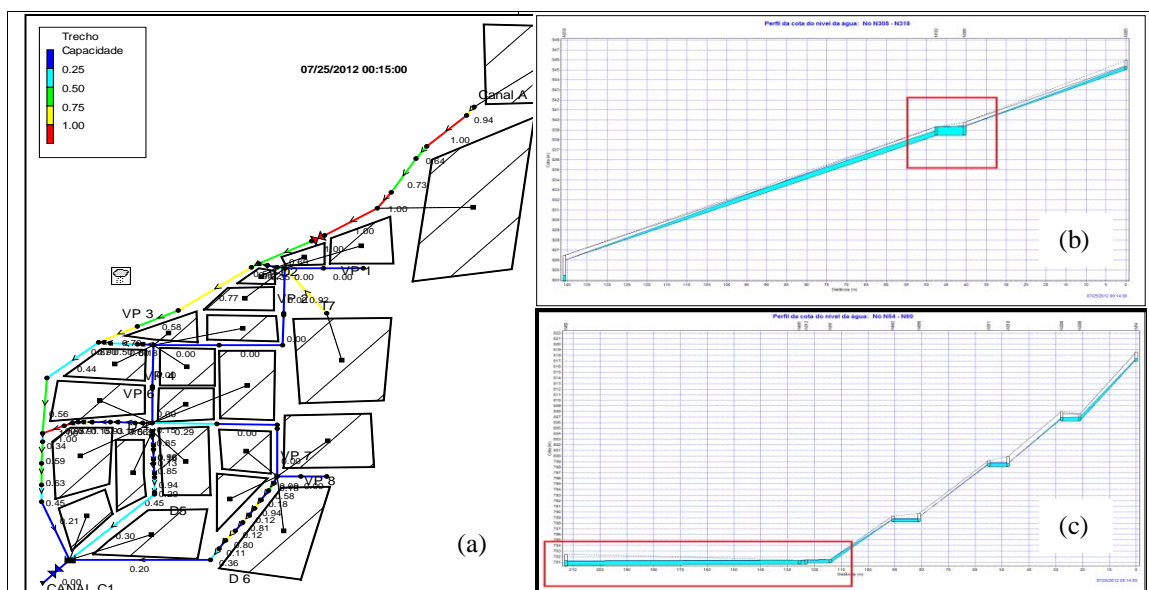


Figura 4: (a) Capacidade dos condutos após 14 min de chuva ($t = t_c$) (b) Perfil da descida D4 e trecho da descida DA após 14 min do início da chuva (tc).

O resultado da modelagem para o cenário proposto demonstrou que o somatório de vazões de pico na chegada do reservatório de amortecimento C1 (exutório da sub-bacia), considerando-se as áreas de contribuição impermeáveis, foi da ordem de $10,4\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 5). Observa-se, no entanto, que o reservatório cumpre seu papel de amortecimento e armazena um volume total de aproximadamente 10.000m^3 . Sua cota de armazenamento atinge o nível máximo de 2,1 metros (cota máxima de 2,5m), restringindo a vazão efluente para apenas 1,6% da vazão afluente.

É importante ressaltar que, para as condições adotadas, a vazão de pico obtida foi resultante de um cenário crítico onde toda a plataforma aeroportuária foi considerada 100% impermeável. Ainda assim o sistema de amortecimento representa uma redução de 98,4% da vazão afluente, contribuindo, desta forma, com uma vazão da ordem de 160L/s para a cidade de Confins.

A água reservada pelo C1 é infiltrada através de dispositivos denominados vertedores filtrantes e contribui diretamente para recarga do lençol freático. O efeito de amortecimento provocado pelo reservatório C1 também pode ser percebido na Figura 5.

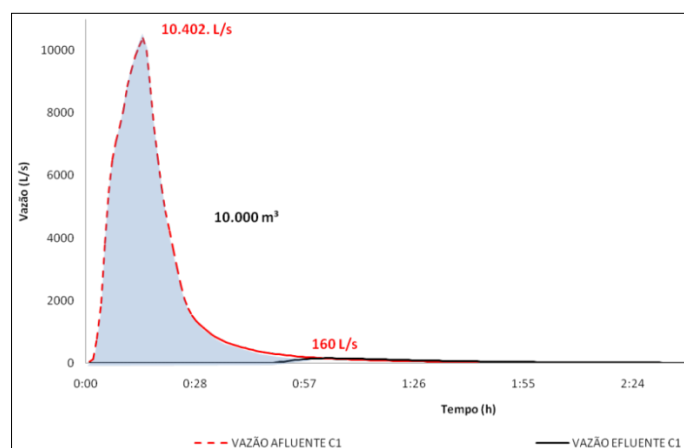


Figura 5: Hidrogramas afluente e efluente ao canal C1.

Na tentativa de se ter um parâmetro de comparação para os resultados obtidos, mesmo que de forma preliminar, os hidrogramas gerados em alguns trechos foram confrontados com aqueles gerados com o uso do software HIDROGRAMA, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, resultando em dados de saída muito próximos entre os dois modelos.

CONCLUSÕES

A modelagem hidrológica e hidráulica, apresentado no presente estudo, corroborou ainda mais as conclusões de estudos anteriores (a exemplo de DAM, 2006) que atestam o bom funcionamento do sistema de drenagem do aeroporto. Tendo em vista o caráter conservador da modelagem e análises hidráulica/hidrológica sempre a favor da segurança, considera-se que o estudo apresentado demonstra, com grande chance de acerto, a robustez e capacidade desse sistema suportar as vazões de pico advindas da configuração atual e futura da plataforma aeroportuária.

É pertinente elucidar que a análise procedida tal qual mencionado contempla, de antemão, o acréscimo referente a vazão de escoamento superficial associado aos novos empreendimentos vinculados às obras de ampliação e modernização do AITN, posto que considerou-se, a priori, toda a área de contribuição da plataforma aeroportuária como impermeável.

Além da reversão de boa parte do escoamento superficial da plataforma para a bacia do Jaque (lado oposto a Confins-MG), na época da construção do aeroporto, nota-se que as vazões de pico direcionadas a essa cidade são sempre amortecidas; diminuindo significativamente os possíveis impactos advindos, disciplinando o escoamento superficial e privilegiando a recarga dos corpos d'água subterrâneos. Nesse caso, as estruturas de dissipação nos canais, descidas d'água e bacias de contenção do sistema de drenagem garantem tais condições.

Quanto à capacidade hidráulica dos condutos, a modelagem indicou alguns pontos de possível sobrecarga. Em alguns casos a sobrecarga apontada é proposital (estruturas feitas para conter volumes de água) em outros não se chega a atingir a capacidade total do conduto. Ademais, caso haja algum transbordo, não se constituiria problema; na medida em que os referidos locais permitem um eventual alagamento sem causar erosão ou outros fatores relacionados. Caso seja necessário o ajuste futuro de alguns dos trechos, o aumento da área da seção transversal atenderia o proposto.

Os hidrogramas obtidos demonstraram que as vazões máximas de escoamento são amortecidas pelo canal C1, protegendo contra possíveis inundações a cidade de Confins, localizada a jusante do aeroporto.

A modelagem hidráulica e hidrológica com o SWMM se mostrou uma ferramenta de significativa aplicabilidade na avaliação do sistema de drenagem, além de possibilitar a gestão integrada dos programas de manutenção e as definições de obras necessárias. Além disso, caso haja uma calibração com dados de chuva reais, o modelo se mostrará ainda mais confiável, podendo ser utilizado para predizer com razoável grau de certeza se futuras etapas de expansão do AITN serão atendidas pelo sistema de drenagem atual e, em caso negativo, predizer os pontos críticos que deverão receber intervenções. Propõem-se a realização de tal calibração em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASCE . *Gravity Sanitary Sewer Design and Construction*, ASCE Manual of Practice, n 60, New York, NY, 1982.
2. DAM Projetos de Engenharia. *Lauda Técnico das Condições Atuais de Operação do Sistema de Drenagem Existente no Aeroporto Internacional Tancredo Neves e Estudo da Relação de Causa e Efeito entre a Implantação do Aeroporto e aumento do NA do Sistema de Lagoas em Confins*. INFRAERO, 26p. 2006.
3. HORONJEFF, R. M.. *Planning and Design of Airports*. New York: McGraw Hill Professional. 2010.
4. McCULLOCH, J. S. G.; ROBINSON, M. History of forest hydrology. *Journal of Hydrology*, 150: 189-216. 1993.
5. TUCCI, C. E. Modelos Hidrológicos. ABRH. Ed. da Universidade – UFRGS. Porto Alegre, 1998, 699p.
6. ZAKIA, M. J. B. *Identificação e caracterização da zona ripária em uma sub-bacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na composição de florestas*. 1998. 98f. Tese (doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade Paulista, São Carlos.