



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO



Rio de Janeiro, 17 de novembro de 2011

Nome do Aluno: Bruno Ferreira do Nascimento

FOLHA DE APROVAÇÃO

Relatório Final de Estágio Curricular aceito em 17/10/2011 pelos abaixo assinados:

Bruno Ferreira do Nascimento, Asp-Of

Bruno Cava Rodrigues, Cap Eng - Orientador/Supervisor na Empresa/Instituição

Cláudio Jorge Pinto Alves - Orientador/Supervisor no ITA

Eliseu Lucena Neto - Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

INFORMAÇÕES GERAIS

Estagiário

Nome do Aluno: Bruno Ferreira do Nascimento
Curso: Engenharia Civil-Aeronáutica

Empresa/Departamento

3º Comando Aéreo Regional – III COMAR / 3º Serviço Regional de Engenharia

Orientador/Supervisor da Empresa

Bruno Cava Rodrigues, Cap Eng

Orientador/Supervisor do ITA

Cláudio Jorge Pinto Alves, Prof. Dr.

Período

03/02/2010 a 26/02/2010

Total de horas: 80 horas

I. INTRODUÇÃO

O Terceiro Comando Aéreo Regional (COMAR III) é a organização do Comando da Aeronáutica nos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais, tendo por finalidade coordenar, controlar e executar, no que couber, as atividades administrativas e logísticas necessárias ao funcionamento das organizações militares subordinadas ou eventualmente desdobradas, bem como de outras organizações militares sediadas em sua área de jurisdição.

II. A EMPRESA

O Terceiro Serviço Regional de Engenharia (SERENG III), como parte integrante do COMAR III, tem por finalidade projetar, executar e fiscalizar obras na área de engenharia aeroportuária, bem como emitir pareceres e relatórios técnicos acerca de aeródromos em sua área de jurisdição. Para isso o SERENG III está subdividido em quatro seções: Aeródromos, Estudos e Projetos, Construção e Controle de Obras, e Desenho.

II.1. Área onde foi desenvolvido o programa de estágio

O estágio foi desenvolvido prioritariamente na seção de Aeródromos e Estudos e Projetos. Em um projeto de sinalização horizontal de um hangar do Parque de Manutenção da base aérea do Galeão e na análise prévia da documentação para licenciamento de alguns aeródromos na área de atuação do COMAR-III.

II.2. O Estágio no Contexto da Empresa

O SERENG-III assim como os outros serviços regionais de engenharia, consiste em um elo operacional e regulatório com relação às obras do Comando da Aeronáutica e para serviços aeroportuários.

Nesse contexto, o estágio foi uma relação em que ambos, o estagiário e a organização militar, lograram benefícios.

O estagiário pode obter uma experiência real de solução de problemas de engenharia, assim como pode ter contato com a relação que se faz necessária entre o órgão público e a sociedade interessada.

Já o SERENG-III, conseguiu aumentar o seu escopo de atuação e despertar o interesse do estagiário e futuro oficial engenheiro para se tornar um dos seus especialistas.

III. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

III.1. Resumo do Estágio

O estágio consistiu na atuação e auxílio do trabalho de engenheiros de Infra-Estrutura Aeronáutica nas seções de Aeródromos, Estudos e Projetos, Construção e Controle de Obra e Desenho do SERENG III. Auxiliar na análise dos pedidos de aproveitamento do solo em Zona de Proteção e/ou Zoneamento de Ruído Aeródromo e Heliponto conforme a portaria nº 1.141/GM5 de 8 de DEZ de 1987, e com base nos acordos de cooperação com a ANAC; acompanhamento e fiscalização das obras de construção dos prédios da Vila Olímpica na PAAF; a construção do galpão do 1º/1º GCC; análise dos projetos atinentes ao Programa Federal de auxílio a aeroportos (PROFAA), com intuito de supervisionar as obras dos Aeródromos de Volta Redonda (RJ); Cachoeiro de Itapemirim (ES); Aeródromo de Uba

(MG); Angra dos Reis (RJ) e elaboração de projeto de sinalização horizontal foram algumas das atividades realizadas.

III.2. Descrição do problema

Além das atividades rotineiras de homologação aeroportuária e fiscalização de obras, que não consistem em problemas, um desafio para o estágio foi fazer um estudo da viabilidade de ampliação na capacidade de estacionamento de um hangar de manutenção.

Esse problema consistia na elaboração de uma sinalização horizontal para que as aeronaves EMB-145 fossem empurradas para dentro do hangar de maneira segura, operacional e, quiçá, mais inteligente, pois da maneira convencional, não se conseguia colocar as 5 aeronaves do esquadrão dentro do hangar.

Na fase de identificação do problema a ser resolvido, assumiu-se como critério de projeto, que as aeronaves deveriam entrar e sair independentemente de ter ou não qualquer outra aeronave estacionada no hangar.

Como as aeronaves são rebocadas, considerou-se distância de segurança 1 m de aeronave para aeronave ou de aeronave para parede.

Características da aeronave como raios de giração e modelo em AutoCAD com dimensões reais, foram obtidos nessa fase, assim como levantamento arquitetônico do hangar e medição dos rebocadores.

III.3. Descrição conceitual de métodos, ferramentas, recursos estudados/usados no estágio

Estudo das legislações e normas aeroportuárias nacionais e internacionais, tais como:

- Portaria 1.141/GM5, de 8 de setembro de 1987.
- IMA 58-10 (Instruções para concessão e autorização de construção, homologação, registro, operação, manutenção e exploração de aeródromos civis e aeroportos brasileiros), de 16 de julho de 1990.
- Anexo 14, ICAO (Convenção de Aviação Civil Internacional).
- Circular Consultiva (AC 150/5320-6C) Pavimento de Aeroportos Projetos e Avaliação.

Visita técnica a obra de construção do novo hangar de lavagem de aeronaves do PAMAAF, obra licitada em R\$ 2.400,00, onde foi executado um sistema de drenagem fechado para facilitar o tratamento dos produtos químicos gerados na "decapagem" das aeronaves, ou seja, quando é removida a pintura original.

Reunião com o comandante da Base Aérea dos Afonsos, onde foram discutidas alternativas para a revitalização da pista de pouso e decolagem de 2.000m. Foram discutidos também um de evolução da obra sendo levados em consideração tanto os aspectos operacionais da pista, que continuará operando normalmente, quanto os aspectos relativo a engenharia.

Análise do projeto completo de ampliação da pista de pouso e decolagem do Aeródromo de Januária-MG. Foi analisado o pedido de aproveitamento do solo, as características operacionais do aeródromo, a documentação necessária para dar andamento no pedido e se o projeto estava de acordo com o estabelecido nas normas internacionais, que foram estudadas.

Realizando visita técnica e fiscalização da obra de construção da Vila Olímpica Militar dos Afonsos. Estão sendo construídos 67 prédios em uma obra licitada em 119 milhões de reais, quando a obra estiver com velocidade máxima, estão previstos cerca de 800 funcionários trabalhando no local.

Estudo da viabilidade de aumento da capacidade do Hangar do 1º/1º GCC de manutenção. Foi estudado e modelado matematicamente a viabilidade de serem

estacionadas 5 (cinco) aeronaves EMB145, esse Hangar foi construído com dois pilares no centro do mesmo, o que exigiu um estudo geométrico utilizando as informações contida no manual da aeronave.

Visita ao Hangar do 1º/1º GCC de manutenção e apresentação para o comandante da Organização Militar do projeto de sinalização e trajetória sugerido. O comandante vislumbrou possíveis transtornos operacionais e solicitou estudos para uma configuração diferente.

Para o projeto de sinalização horizontal utilizou-se o programa AutoCAD para tratar geometricamente os blocos que representariam as aeronaves, com as condições de contorno como raio de giração mínimo dado pela máxima rotação do trem de pouso dianteiro.

Após um processo de tentativas e erros, conseguiu-se a configuração apresentada na Figura 1 para as posições finais das 5 aeronaves que possuem de rota de entrada e saída, dada pela Figura 2, independente das outras aeronaves do hangar, respeitando a margem de segurança de 1 m de distância para qualquer obstáculo.

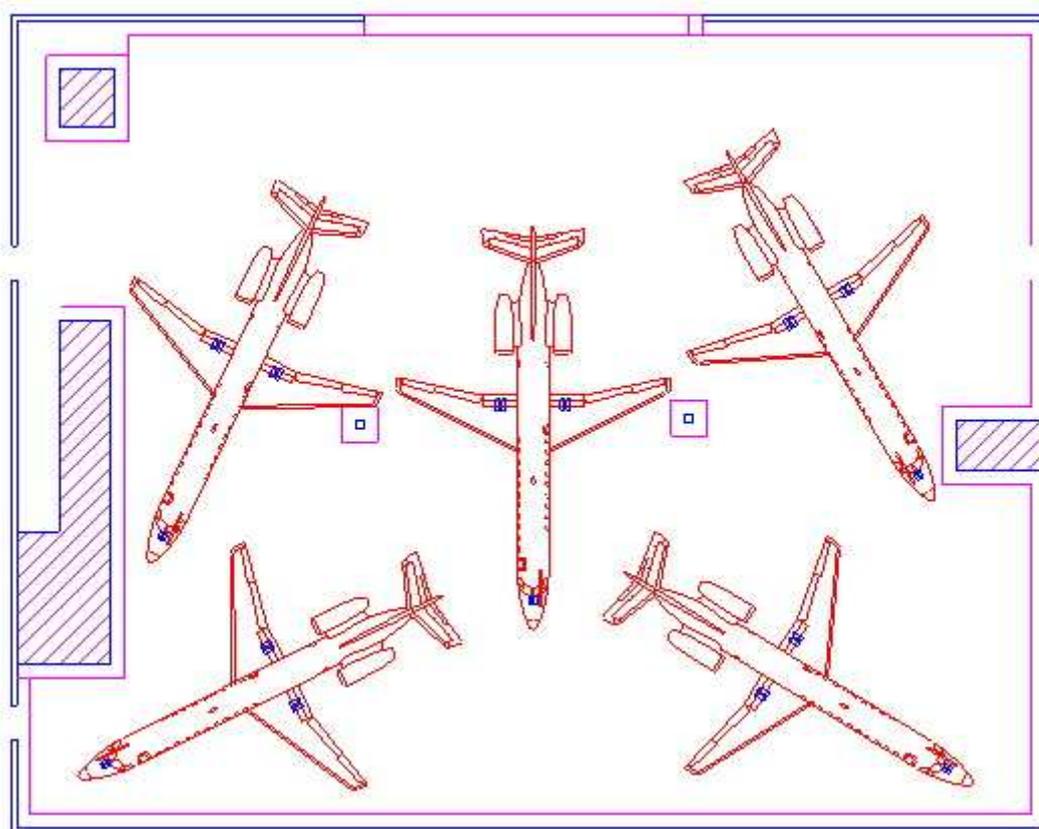


Figura 1 – Posição de parada das 5 aeronaves no hangar.

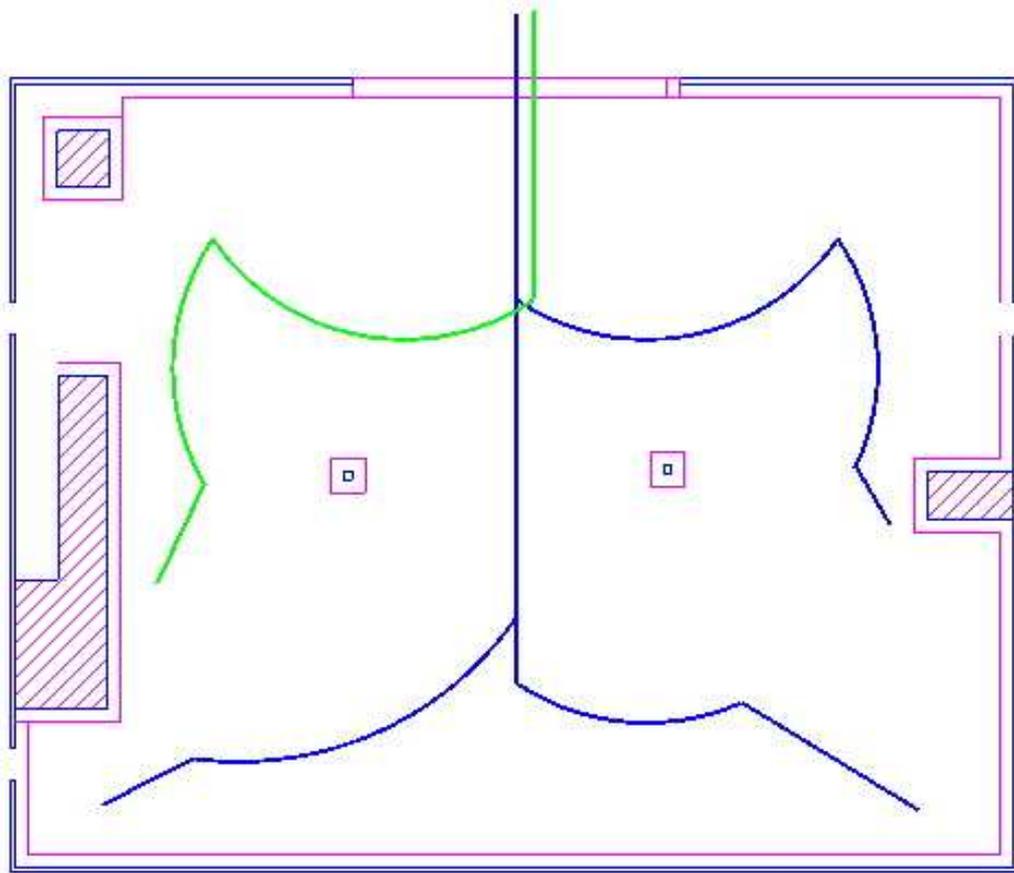


Figura 2 – Finalização horizontal projetada.

IV. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

O acompanhamento e auxílio nas atividades dos engenheiros do SERENG-III produziram um contato do estagiário com o ambiente e problemas reais de engenharia, sendo possível resgatar alguns conceitos obtidos na escola para aplicação em casos reais.

Para o trabalho de verificação de requisitos para homologação de aeródromos, se mostraram necessária a recapitulação e manipulação de diversas normas do Comando da Aeronáutica e normas de validade internacionais.

Para o serviço de acompanhamento e fiscalização de obras, o contato com engenheiros mais experientes se mostrou fundamental, pois além das legislações aplicáveis o fiscal deve ficar atento a certos fatores que costumam dar problema e a experiência nessa tarefa torna o trabalho um pouco menos árduo.

Por fim, quanto ao desafio de ampliar a capacidade do hangar de manutenção, foi possível resolver o problema proposto, respeitando as condições de contorno. Tive a satisfação de implementar esse projeto, ainda na fase de teste, com fitas adesivas e observar que mesmo contra a intuição dos experientes operadores, achando que não iria dar certo, ele funcionou conforme o esperado. Em 2011 passei por esse hangar e vi que o projeto foi de fato executado e fiquei extremamente motivado para de fato projetar em engenharia e tornar os projetos em realidade.



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO



Rio de Janeiro, 07 de outubro de 2011

Nome do Aluno: Bruno ferreira do Nascimento

FOLHA DE APROVAÇÃO

Relatório Final de Estágio Curricular aceito em 07/10/2011 pelos abaixo assinados:

Bruno Ferreira do Nascimento, Asp-Of

Luiz Augusto Penteado Yamamoto, Cap Eng - Orientador/Supervisor na Empresa/Instituição

Nadiane Smaha Kruk - Orientador/Supervisor no ITA

(Eliseu Lucena Neto) - Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

INFORMAÇÕES GERAIS

Estagiário

Nome do Aluno: Bruno Ferreira do Nascimento
Curso: Engenharia Civil-Aeronáutica

Empresa/Departamento

Diretoria de Engenharia da Aeronáutica/ Engenharia de Infraestrutura

Orientador/Supervisor da Empresa

Luiz Augusto Penteado Yamamoto, Cap Eng

Orientador/Supervisor do ITA

Nadiane Smaha Kruk, Prof. Dr.

Período

21/02/2011 a 22/06/2011
Total de horas: 568 horas

I. INTRODUÇÃO

Em 1943 o então Ministro Dr. Salgado Filho, primeiro Ministro da Aeronáutica, determinou o começo dos trabalhos para a criação de um museu aeronáutico, sendo esses interrompidos, porque um museu desse tipo requer um hangar com uma grande área para exposição de aeronaves e não havia local disponível no momento.

Nos primórdios da aviação brasileira, a região do Campo dos Afonsos, na cidade do Rio de Janeiro, era considerada longínqua e não povoada, por isso em 1919 foi fundada, pelo Exército Brasileiro (EB) nessa região, a Escola de Aviação Militar, a qual foi incorporada pelo Ministério da Aeronáutica logo após a sua criação em 1941. No local, passou a funcionar a Escola de Aeronáutica.

Devido a aspectos, tais como: rápida expansão da atividade aérea, desenvolvimento urbano da região, aumento da demanda das aeronaves por mais infra-estrutura, topografia do entorno bastante acidentada e condições meteorológicas adversas, a região escolhida mostrou-se limitada e já em 1949 iniciou-se estudos para definir o local ideal para uma nova Escola.

Em 1956 foi nomeada uma comissão para elaborar projeto de transferência da academia do Campo dos Afonsos para Pirassununga no estado de São Paulo. Essa transferência aconteceu em duas fases, a primeira com a inauguração das instalações iniciais e transferência dos alunos do último ano e a segunda com a transferência definitiva em 1971.

Com a transferência da academia, surgiu espaço para a instalação de um museu, que ganhou o nome de Museu Aeroespacial (MUSAL) e foi inaugurado em 18 de outubro de 1976, após reforma do hangar da antiga "Divisão de Instrução de Vôo" da Escola de Aeronáutica.

Atualmente, em 2011, o museu possui um valioso acervo tecnológico e de aeronaves. Esse acervo se encontra em constante crescimento, uma parte desse crescimento é devido a peças que são confiadas ao museu por meio de doações.

As instalações estão compreendidas em uma área de 15.195 m², sendo composta de um prédio de dois andares e cinco hangares interligados, lado a lado, com prédio principal.

Toda essa experiência histórica e cultural da memória da aeronáutica brasileira possui entrada gratuita.

Fica a cargo do Comando da Aeronáutica a administração e a manutenção das condições de excelência em padrões internacionais em que se encontra o museu.

A região do Campo dos Afonsos é situada na Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro. O local, quando da escolha para construção do aeródromo, era uma região pouco urbanizada.

O crescimento urbano dessa região da cidade contribuiu para diminuir a capacidade de infiltração das águas pluviais, provocando um aumento do escoamento superficial e a redução do tempo desse escoamento em ocorrências chuvosas.

Um relatório técnico, gerado após a enchente do dia 31 de janeiro de 2006, relata que é freqüente a ocorrência de enchentes nos hangares do (MUSAL), causando prejuízos e danos ao acervo do museu e ao patrimônio da União. Esse documento bosqueja baseado em estudo preliminar e superficial, que seja formada uma comissão de estudos para diagnosticar e levantar o sistema de drenagem existente na região e bairros vizinhos, a fim de definir as ações e obras necessárias para cada órgão competente envolvido.

Em outubro de 2010 a Subsecretaria de Gestão das Bacias Hidrográficas da Prefeitura do Rio de Janeiro (Rio-Águas) identificou a região em estudo como um dos "Pontos críticos de enchentes" da cidade do Rio de Janeiro.

Relatos do comandante, do engenheiro e dos funcionários do (MUSAL), afirmam que o problema persiste até a atualidade, acontecendo com frequência de duas ou três vezes ao ano.

O cenário futuro de mudanças climáticas e aquecimento global podem tornar mais cresce, os máximos anuais os regimes de chuvas e, conseqüentemente, agravar ainda mais o problema de enchentes no local.

Portanto, foi de total relevância a confecção do presente estágio, para compreender os fatores geradores do problema e sugerir formas de extinguir ou mitigar os danos causados por chuvas intensas.

O fluxo de água na parte da frente dos hangares do MUSAL é tamanho que tem energia para arrastar aeronaves estacionadas no pátio externo, sendo jogadas ao encontro das paredes do hangar.

Na parte traseira do hangar, é localizada uma casa de força com transformadores de alta tensão a poucos centímetros do nível do terreno, que em ocasião de inundação fica parcialmente submerso, causando risco de curto circuito e falta de energia.

Dentro dos limites do Campo a responsabilidade pela operação e conservação da área e do patrimônio nele existente é do Comando da Aeronáutica. Na da bacia em estudo, existem áreas de responsabilidade de outros órgãos, tais como: áreas de urbanas, que possuem sistema de drenagem operado pela Prefeitura do Rio de Janeiro, área da Polícia Militar do Rio de Janeiro (PMRJ), que é de responsabilidade do Governo do Estado do Rio de Janeiro, além da área do (EB).

O fato da região ser administrada por diferentes instituições dificulta a solução definitiva para o problema. Por isso, na medida do possível serão propostas alternativas de soluções dentro dos limites territoriais, das informações disponíveis e de orçamento do Comando da Aeronáutica.

II. A EMPRESA

A DIRENG é uma organização que tem por finalidade a orientação normativa, execução, coordenação e controle das atividades relacionadas com Engenharia de Infraestrutura Aeroportuária, Engenharia de Edificações, Engenharia de Campanha, Patrimônio, Transporte de Superfície e Contra-incêndio afetas ao COMAER. Dentre suas principais atribuições, destacam-se:

- Elaborar estudos, normas e projetos de construção, manutenção e conservação de pistas e de pátios em aeroportos, heliportos e outros aeródromos, bem como de quaisquer obras de terra e de pavimentação e de suas obras complementares;
- Prevenir e combater incêndios, selecionar, formar e adestrar pessoal especializado no salvamento em sinistros de fogo. Selecionar, padronizar, realizar manutenção e suprir de agentes extintores e de equipamentos especializados;
- Elaborar estudos e normas de avaliação, aquisição, alienação, transferência, recebimento, entrega, cadastragem, tombamento e preservação de bens imóveis;
- Suprir, manter e buscar a padronização e a utilização de todo o material, ferramentas e equipamentos específicos de transportes terrestres e aquaviários, inclusive no que concerne a combustíveis e lubrificantes necessários à execução dos referidos transportes; e
- Elaborar estudos, normas e projetos de construção, manutenção e conservação de edificações e infra-estrutura aeroportuária, de redes alimentadoras ou coletoras e de outras redes especiais.

A DIRENG tem como base principal duas subdiretorias: a Subdiretoria de Estudo e Projetos (SDE) e a Subdiretoria de Patrimônio (SDP). A SDE compreende a Divisão de Planejamento e Coordenação de Projetos (EP10), a Divisão de Engenharia de Edificações (EP20), a Divisão de Engenharia de Infraestrutura (EP30), a Divisão de Engenharia de Instalações (EP40), a Divisão de Coordenação e Fiscalização de Obras (EP50) e a Divisão de Sinalização (EP60). Por sua vez, a SDP compreende a Divisão de Patrimônio Imobiliário (DP10), a Divisão de Transporte de Superfície (DP20) e a Divisão de Contra-Incêndio (DP30).

II.1. Área onde foi desenvolvido o programa de estágio

O estágio foi desenvolvido na Divisão de Infraestrutura (EP30) dessa diretoria. Em um projeto de macrodrenagem, com identificação, quantificação dos fatores causadores de enchentes e proposição de soluções para os problemas de enchentes nos hangares do Museu Aeroespacial (MUSAL).

II.2. O Estágio no Contexto da Empresa

Essa diretoria tem a cultura de possuir os especialistas em várias áreas de interesse para a engenharia da aeronáutica, porém possui carência de profissionais especializados na área de drenagem, para solucionar os inúmeros problemas não corriqueiros de micro e macro drenagem, que afetam vários aeródromos administrados pelo Comando da Aeronáutica.

Nesse contexto, o estágio foi uma relação em que ambos, o estagiário e a diretoria, lograram benefícios.

O estagiário pode obter uma experiência real de solução de problemas de engenharia em uma área, que se mostrou bastante interessante e desafiadora, que é a área de estudos hidrológicos e hidráulicos.

Já a diretoria, conseguiu aumentar o seu escopo de atuação e despertar o interesse do estagiário e futuro oficial engenheiro para se tornar um dos seus especialistas.

III. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

III.1. Resumo do Estágio

O Museu Aeroespacial (MUSAL), localizado na área do Campo dos Afonsos, apresenta um histórico de enchentes com conseqüente prejuízo ao patrimônio da União. A Diretoria de Engenharia da Aeronáutica (DIRENG) realizou uma análise preliminar do problema, ficando identificada a necessidade de estudos mais aprofundados sobre o tema. O estagiário identificou e quantificou os fatores geradores das enchentes, por meio: de visitas a campo; de análises, utilizando uma ferramenta de Sistema de Informações Geográficas (SIG), das bacias de contribuições para o ponto em estudo; do levantamento das variáveis físicas da área de contribuição, tais como, regime de chuvas, tipo de solo, tipo de ocupação do solo e topografia precisa das regiões mais relevantes. Nos equacionamentos do problema foram realizados utilizando-se métodos indiretos de estimativa de vazões, dadas as características da região e chuvas observadas ou de projeto estabelecida.

III.2. Descrição do problema

A área em estudo está contida na macrobacia da Baía de Guanabara do Rio de Janeiro, tendo como sub-bacia os rios Acari (Marangá)/Pavuna/Meriti. Essa sub-bacia tem o Arroio dos Afonsos como um dos cursos d'água. Esse arroio é canalizado, por uma seção construída em concreto, no trecho urbano à montante do aeródromo e volta a ser de seção natural perto do início do Campo dos Afonsos.

O hangar em estudo está compreendido entre as coordenadas geográficas a seguir, com relação ao Datum WGS-84:

Longitude: 43°23'29" O

Latitude: 22°53'01" S

e

Longitude: 43°23'15" O

Latitude: 22°52'52" S

A extensão do Arroio é de 7,8 km e possui o Morro Barata como vertente e o Rio Sapopemba como Foz.

O Arroio dos Afonsos limita a área patrimonial do Comando da Aeronáutica em um dos seus lados e corre paralelo a pista de pousos e decolagens. A área em estudo está situada a direita do arroio e é delimitada também pela Avenida Marechal Fontinelli e pelas áreas onde funciona a Academia de Polícia Militar D. João VI.

A região em estudo é bastante acidentada, imprimindo ao escoamento superficial altas velocidades de escoamento, e a área de contribuição transcende os limites territoriais do Comando da Aeronáutica.

Na parte da frente do hangar, uma filmagem mostra que um verdadeiro rio passa no pátio externo.

III.3. Descrição conceitual de métodos, ferramentas, recursos estudados/usados no estágio

Como se tratava de um problema persistente, com muitas tentativas não efetivas de solução, utilizou-se uma metodologia diferente para o tratamento do problema, que será descrita abaixo.

- Hipóteses formuladas

Como a região em estudo é cercada por uma cadeia montanhosa, não é esperado que seja recebido pela bacia de contribuição grande fluxo de água proveniente de outras bacias. Isso geraria uma dificuldade construtiva que é maciçamente evitada em projetos de drenagem.

Devido a dificuldades de obtenção da rede de drenagem existente, somado as características mencionadas acima, assumiu-se como hipótese a não existência de despejo de efluente proveniente de outras bacias para a bacia em estudo.

A evaporação e evapotranspiração da área de contribuição foi considerada, de forma indireta, com a aplicação do método Soil Conservation Service (SCS), para separação do escoamento superficial. Esse método calcula e utiliza a precipitação efetiva, que retira, indiretamente, a parcela responsável pela evaporação, infiltração e pela retenção nas depressões do terreno.

Segundo relatos dos funcionários do local, obtidos por meio de entrevistas durante as visitas técnicas, a enchente do dia 31 de janeiro de 2006 foi uma das maiores já ocorridas, logo adotou-se essa ocorrência, que é a mais rica de informações com fotos e filmagem, como caso típico a ser analisado e simulado, a fim de, testar os modelos utilizados nesse trabalho.

O tipo de solo da região é uma das variáveis de entrada do modelo de precipitação-vazão utilizado. Como se tornou inviável o levantamento preciso dessa variável, utilizou-se informações disponibilizadas pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, que classifica o solo da região com do Grupo - B até a cota de 75 metros e do Grupo - C nas áreas acima desse valor. Levantamentos obtidos na região do aeródromo (planície, cota abaixo de 70 metros) comprovaram que o solo da região arenoso e classificado como do Grupo - B. Fora da área patrimonial da aeronáutica, não foram obtidos levantamentos para validação das informações utilizadas.

Os modelos de rios utilizados não consideram as curvas dos rios, pois a análise realizada será bidimensional. Para levar em consideração as curvaturas dos cursos d'água faz-se necessária uma modelagem hidrodinâmica com três dimensões (3D), o que seria mais complexo e exigiria uma série de dados, condições iniciais e de contorno. Dados estes que não temos, ficando o levantamento preciso dos dados e a modelagem (3D) do problema como sugestão para trabalhos futuros.

- Sistema de Informações Geográficas (SIG)

As análises da altimetria da região, de forma macro, foram realizadas utilizando como base de dados o levantamento "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) realizado por meio de satélites e disponibilizado pela NASA, o qual utiliza o datum "World Geodetic System" (WGS-84) e o sistema de coordenadas geográficas. Esse arquivo possui formato "tiff", com resolução de 3", ou cerca de 90 metros de aresta.

As operações computacionais e matemáticas dos dados de altimetria foram realizadas pela plataforma ArcMAP 9.2.

A utilização de geoprocessamento utilizando ferramentas de SIG em problemas de drenagem vem ficando cada vez mais confiável e popular, a medida que inúmeros trabalhos e pesquisas, utilizando essa técnica, estão sendo desenvolvidos e publicados.

A disciplina de geoprocessamento, que trata as informações georreferenciadas, tem como ferramenta de análise o Sistema de Informações Geográficas (SIG).

O SIG pode ser definido como uma ferramenta que realiza tratamento computacional e análises complexas para dados geográficos. Essa característica possui diversas aplicações, pois o SIG manipula de forma adequada informações cadastrais ou atributos georeferenciados com informações numéricas georeferenciadas, tais como, limites de lotes.

A representação do espaço é feita de forma vetorial ou matricial. A primeira é precisa e tenta representar o objeto o mais próximo da realidade possível, utilizando pontos, retas, áreas ou polígonos. A segunda utiliza uma malha quadriculada regular, na qual cada célula recebe o atributo em análise.

A topografia do terreno e o relevo da região entram na análise em SIG, por meio dos Modelos Numéricos de Terreno (MNT) como "uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre", são utilizados para representar quantitativamente uma grandeza que varia no espaço.

Os Modelos Numéricos de Elevação (MNE) são um caso particular dos MNT, onde as informações armazenadas em cada célula da malha é a cota representativa da elevação da célula.

Na região em estudo, que é urbana, o sistema de drenagem existente é deficiente ou praticamente inexistente em alguns trechos, e em situações onde não é possível levantar o sistema existente, essa técnica foi validada para resolução de problemas também em áreas urbanas.

- Geração de Equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF)

O procedimento abaixo foi adotado para buscar o ajuste da equação de chuvas, para a região.

Foi implementado um programa em Excel/VBA para separação e leitura dos registros de precipitação com o seguinte código fonte, apresentado na Figura 1, e com a ilustração das saídas do programa na Figura 2:

```

Sub Macro1()
'
' Macro1 Macro
' Macro gravada em 26/5/2011 por Bruno Ferreira do Nascimento.
' Para considerar a continuidade de um dia para outro, foi transposto 240 minutos
' (16 valores) continuando o dia seguinte.
'
For l = 0 To 10
'Variação das durações: 15 30 45 60 90 120 180 240 360 720 1440
duracaochuva = Cells(3, l + 116)
duracao15 = duracaochuva / 15
linha = 4
'Os registros de precipitações começam na linha 4
saida = 0
auxi = 0
auxl = 0
aux = 0
While Cells(linha, 1) <> ""
'Os registros de precipitações terminam em linhas diferentes,
'dependendo se é ano bissexto ou não.
'Esse while resolve essa questão, terminando na linha certa.
For i = 2 To 113 - duracao15 + 1
'Variação da hora que a chuva inicia durante o dia,
'discretizada de 15 em 15 minutos.
chuva = 0
For j = 0 To duracao15 - 1
'Soma da precipitação acumulada para a duração em análise.
chuva = chuva + Cells(linha, i + j)
Next j
If chuva > saida Then
'Atualização da máxima precipitação.
saida = chuva
auxi = i
auxl = linha
'Registro do momento da máxima precipitação.
End If
If chuva > Cells(1, l + 116) Then
'Comparação para saber se o evento é considerado crítico,
'por séries parciais.
Cells(aux + 9, l + 116) = chuva
aux = aux + 1
'Não foi impedido a plotagem de mais de um
'ponto para uma mesma ocorrência chuvosa, pois
'no presente trabalho essa identificação pode
'ser feita em um pós-processamento manual, ficando
'essa tarefa como sugestão para trabalhos futuros.
'

End If
Next i
linha = linha + 1
'Atualização do dia em análise.
Wend
Cells(4, l + 116) = saida
Cells(5, l + 116) = auxi
Cells(6, l + 116) = auxl
'Plotagem dos máximos anuais.
Next l
End Sub

```

Figura 1 - Código fonte, em VBA, para a separação dos dados de precipitação.

	DK	DL	DM	DN	DO	DP	DQ	DR	DS	DT	DU	DV
1	Precipitações críticas (mm)	15	20,1	22,95	25,2	27,9	30	32,4	36	40	45	50
2	Numeração das colunas	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126
3	Duração (min.)	15	30	45	60	90	120	180	240	360	720	1440
4	Máximo prec. Anual (mm)	27,1	38,5	50,1	59,4	68,8	86,3	114,2	133,2	148,7	162,8	163,4
5	Coluna do máximo	59	58	77	77	77	58	58	55	55	55	12
6	Linha do máximo	11	11	51	51	51	11	11	11	11	11	11
7	Intensidade média (mm/h)	108,4	77,0	66,8	59,4	45,9	43,2	38,1	33,3	24,8	13,6	6,8
8	Algumas precipitações consideradas intensas. Obs: algumas chuvas estão representadas por mais de um ponto, a posterior verificação desse fato deve ser feita manualmente.	Registro de total precipitado acima do considerado crítico para séries parciais (mm)										
9		25	37,2	38,2	38,2	38,2	38,2	38,2	38,2	41,1	55	160,6
10		27,1	27,9	40,1	41,1	41,1	41,1	41,1	41,1	41,1	59,4	160,8
11		16	38,5	27,9	40,1	41,1	41,1	41,1	41,1	41,1	66,4	160,8
12		15,7	31,5	41,2	27,9	41,1	41,1	41,1	41,1	41,1	74,4	161
13		21,9	20,4	42,9	27,5	40,1	41,1	41,1	41,1	41,1	82,4	162,7
14		26,2	20,4	38,5	42,9	54,8	41,1	41,1	41,1	41,1	92,2	163,2
15			21,7	23	45,6	59	40,1	41,1	41,1	41,1	102,8	163,2
16			28,2	25,8	49,9	54,3	54,8	41,1	41,1	41,1	111,8	163,2
17			37,6	28,4	46,5	60,6	59,2	41,1	41,1	41,1	118,5	163,2
18			31,2	29,4	27,4	65,9	66,2	41,1	41,1	41,1	124,5	163,2
19			29,1	26,3	32,8	64,3	74	40,1	41,1	41,1	130,7	163,4
20			32,2	24,1	36,4	47,8	70,3	54,8	41,1	41,1	133,6	163,4
21				25,4	37,4	52,4	78,4	59,2	41,1	41,1	135,1	163,4
22				29,9	36,1	52,1	86,3	66,2	41,1	41,1	136,4	163,4
23				50,1	32,3	50,1	83,9	74,2	40,1	41,1	138,6	163,4
24				46,9	27,9	48,3	63,5	82,2	54,8	41,1	140,3	163,4
25			37,7	27,8	41,4	65,1	92	59,2	41,1	142,3	163,4	
26			29,1	26,4	32,3	64,3	102,6	66,2	41,1	144,3	55,8	
27			35,1	29,9	28,8	59,2	111,4	74,2	41,1	147,2	56,5	
28			32,9	51,8	29	52,7	106,4	82,2	41,1	148,9	57,5	
29				59,4	29,9	44,4	110,7	92	41,1	150,6	58,5	
30				53,4	51,8	36	114,2	102,6	40,1	150,8	59,2	

Figura 2 - Saída do programa implementado em excel VBA, para separação das precipitações.

Após a separação e leitura das ocorrências de precipitações históricas, torna-se possível estabelecer, para efeito de projeto na localidade estudada, uma relação entre as seguintes variáveis: a intensidade, duração e frequência ou período de retorno.

Para cada série de dados, verificou-se o ajuste de uma equação que envolva essas três variáveis.

A equação abaixo apresenta a forma geral proposta, para uso na região do Campo dos Afonsos, em estudos hidrológicos.

$$I = \frac{39,08 Tr^{0,191}}{(t + 23,34)^{0,87}}$$

onde

a,b,c,d são constantes a serem determinadas pelo método dos mínimos quadrados aplicado aos dados históricos separados;

Tr: Período de retorno esperado, em anos, e

I: Intensidade média [mm/min] da chuva de duração t, em minutos.

- Modelagem Precipitação-Vazão

As vazões de projeto foram determinadas aplicando a modelagem Precipitação-Vazão implementada no programa (IPHS1).

A utilização de modelos indiretos de determinação de hidrogramas é comum em áreas urbanas onde os dados fluviométricos são inexistentes ou insuficientes.

Outro fator que gera vantagens na utilização desses modelos em áreas urbanizadas, consiste na possível ajuste do modelo com relação as mudança nas características das bacias. Com esses modelos é possível considerar, por exemplo, o crescimento da urbanização, alterando a ocupação e uso do solo ao longo dos anos.

A modelagem indireta utilizada em drenagem urbana no presente estudo é classificada como Discreta, quando se analisa dos dados extremos do histórico das chuvas ou utiliza-se a equação de chuva (IDF) para estimar as vazões de projeto, nessas situações assumi-se que os hidrogramas obtidos também possuem frequência iguais as análises estatísticas realizadas para a determinação de picos. A modelagem classificada como Contínua utiliza dados históricos contínuos, em geral, não disponíveis para soluções não convencionas.

Portanto os hicrogramas foram obtidos, por meio dos métodos indiretos. Esses são função da precipitação excedente ou excesso de precipitação.

A Figura 3 apresenta a modelagem realizada no programa (IPHS1), onde os quadrados numerados representam pontos de controle de vazão, as retas entre eles representam os trechos d'água, com indicação de sentido dada pelas setas nesses elementos, e os quadrados conectados em trechos d'água ou em pontos de controle, representam a modelagem das áreas de contribuição.

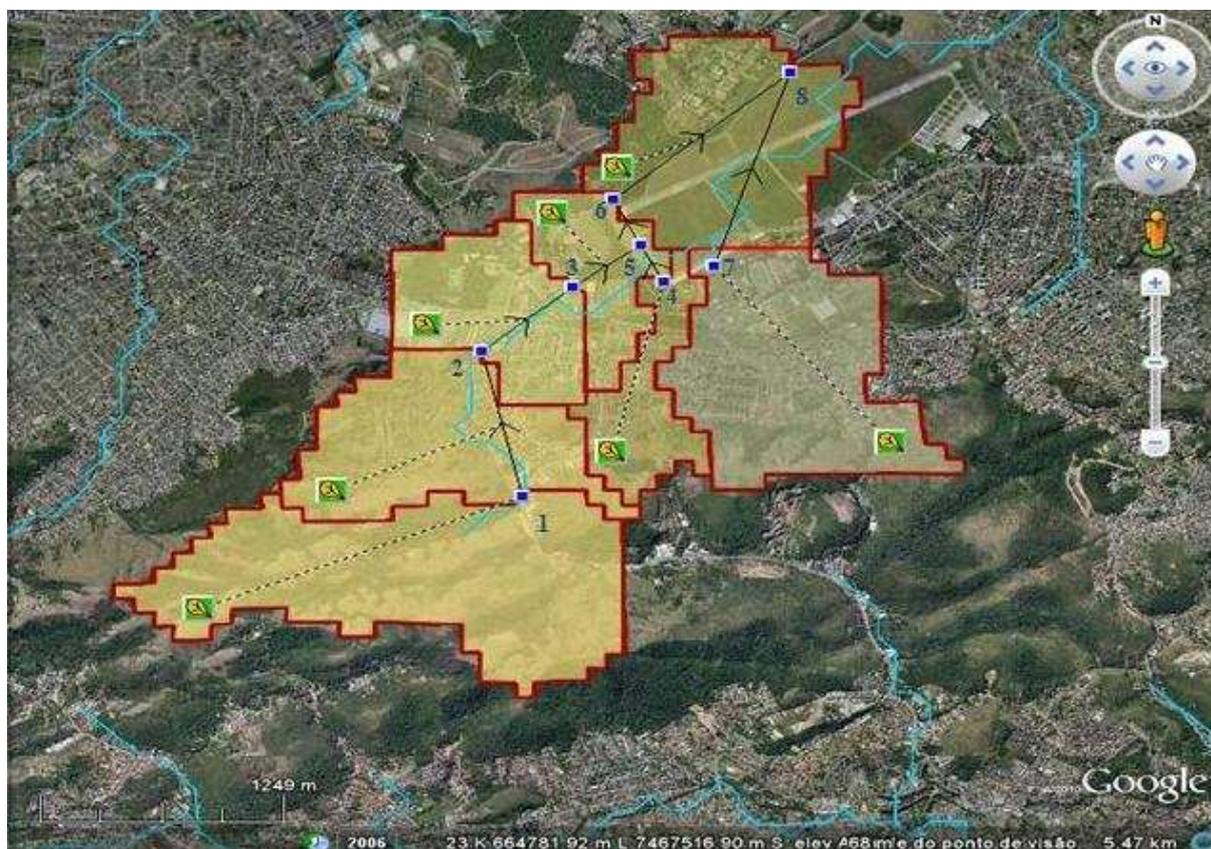


Figura 3 - Modelagem adotada, implementada no programa IPHS1.

IV. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Os fatores causadores de enchentes nos hangares do MUSAL foram identificados e preparados para quantificação com sucesso.

A análise da topografia, para estabelecimento das áreas de contribuição e caminhos naturais de drenagem, utilizando o SIG gerou resultados satisfatórios, mesmo para a região em estudo que possui alta taxa de urbanização.

Os registros de chuva obtidos para a região, após separação dos dados feita pelo programa implementado nesse estudo para o caso geral, resultaram em uma equação I-D-F, com excelente ajuste $R^2=0,987$.

Os métodos indiretos de correlação precipitação-vazão nas bacias possibilitaram a previsão de vazão, de forma macro, sem que fossem consideradas todas as interferências reais dos sistemas de microdrenagem.

O método de amortecimento de enchentes em canais viabilizou a obtenção dos hidrogramas de entrada e saída dos trechos em estudo, sendo adequadamente consideradas as alocações de espaços e os retardamentos dos picos de cheias, que acontecem nas calhas dos canais.

Toda metodologia adotado pôde ser comparado e validado para a região urbanizada em estudo, por meio da simulação do evento chuvoso do dia 31/01/2006, que causou muitos prejuízos ao patrimônio da união e que foi adequadamente registrado, possibilitando a comparação com os resultados da modelagem para efeito de validação.

A falta de dados observados de vazões no Arroio dos Afonsos dificultou a calibração dos parâmetros adotados na modelagem, porém não se mostrou impeditiva para redizer os hidrogramas ou para a realização de projetos de dimensionamentos.