UM MODELO MULTI-AGENTE PARA A GESTÃO DAS OPERAÇÕES DE GROUND HANDLING NOS AEROPORTOS

Patrick Cisuaka Kabongo, Alessandro Ferreira Leite, Li Weigang TransLab, Universidade de Brasília
Departamento de Ciência da Computação
Caixa Postal 4.466, Brasília-DF, 70910-900
{patrick, alessandro, weigang}@cic.unb.br

RESUMO

O aumento do tráfego aéreo mundial nos últimos anos tem imposto diferente desafios as autoridades de aviação civil, as companhias aéreas e os gestores dos aeroportos. Nesse contexto, novas práticas de gerenciamento de tráfego tem sido propostas, tal como o modelo de gestão colaborativa de aeroportos, em inglês *Airport Collaborative Decision Making* (A-CDM). Entretanto, o *Collaborative Decision Making* (CDM)não considera a gestão das aeronaves em solo (*ground handling*), o que compromete a eficiência da gestão aeroportuária. Com isso, este trabalho propõe um modelo multi-agente e hierárquico de gestão de *ground handling* nos aeroportos compatível com a abordagemCDM. O modelo permite uma troca de informações entres os diferentes parceiros doA-CDMde forma mais eficiente, e a integração entre os gestores de *ground handling*(GHC).

Keywords: Gestão Aeroportuária, Ground Handling, Collaborative Decision Making (CDM), Sistema Multi-Agente

1 INTRODUÇÃO

A gestão dos aeroportos tem um papel importante no gerenciamento do tráfego aéreo, por ter vários índices de eficácia baseados em eventos ocorridos no aeroporto. Por isso, as me- lhorias de gestão dos aeroportos incluem melhor eficiência operacional para reduzir os atrasos dos voos, a otimização dos recursos aeroportuários para reduzir custos e para aumentar a previsi- bilidade dos horários de partida dos voos (EU-ROCONTROL,2010). Se atrasos resultantes de mau tempo são inevitáveis, atrasos resultantes de desempenho insuficientes resultantes da gestão do tráfego nos aeroportos podem ser minimiza- dos, através de novos procedimentos operacio- nais (ALVES; WEIGANG; SOUZA,2008).

Portanto, os aeroportos estão cada vez mais delegando as suas operações de *ground han- dling*. Por exemplo, na União Europeia, a aber- tura do mercado de*ground handling* pela diretiva 96/67/EC, provocou um aumento no número de empresas terceirizadas em *ground handling* em mais de 80% entre 1996 e 2007 (CENTER, 2009). Como consequência, esse aumento na con- corrência tem ajudado a melhorar a eficiência dos aeroportos e a reduzir os custos.

A tomada de decisão colaborativa do aeroporto (A-CDM) (EUROCONTROL,2010) é uma abordagem recente, a qual cria uma base comum para a troca de informações entre os di-ferentes interessados no serviço de tráfego aéreo. No entanto, dentro do processo de *turnaround* de aeronaves nos aeroportos, a gestão de *ground han- dling* ainda não foi desenvolvida na abordagem CDM. Além disso, a maioria das pesquisas trata separadamente os problemas de *ground handling* nos aeroportos.

Portanto, esse trabalho propõe e avalia uma abordagem multi-agente para a gestão das operações de *ground handling* nos aeroportos, utilizando como base os conceitos doA-CDM. A estrutura proposta introduz um coordenador de *ground handling*, o qual tem como objetivo fornecer uma interface para a comunicação entre os diferentes parceiros doA-CDMe os gestores dos aeroportos.

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

De um aeroporto para outro, depen- dendo de sua condição física, composição do tráfego e muitos outros fatores, as atividades de *ground handling* podem ser realizadas de maneira completamente diferente (FITOURI-TRABELSI et al.,2015).

O *ground handling* (GHC) de uma aero-nave é composto de um conjunto de operações aplicadas a aeronave de modo a torná-la pronta para um novo voo ou para finalizar um voo comer- cial. Em geral as atividades da tripulação técnica e comercial na chegada e partida são realizadas pelas companhias aéreas e não são considera- das como parte das atividades de processamento em solo. Além disso, inclui-se as atividades de manutenção de aeronaves, realizadas, de acordo com os regulamentos, durante a parada da aero- nave (ASHFORD; COUTU; BEASLEY,2013).

Um processo típico de *ground handling* é composto das seguintes etapas: desembarque de passageiros, retirada das bagagens, abaste- cimento, *catering*, limpeza, saneamento, abas- tecimento de água potável, embarque de pas- sageiros, carregamento de bagagens, degelo e o *push-back* da aeronave. Uma características dessas atividades é que elas podem ser proces- sadas em diferentes períodos de tempo e locais no aeroporto (ASHFORD; COUTU; BEASLEY, 2013).

A tripulação técnica e comercial de-sembarcam após todos os passageiros deixarem a aeronave. Enquanto isso, outras atividades de *ground handling* de chegada podem ser re- alizadas. Dependendo da característica de *turna- round* da aeronave, a tripulação pode permanecer a bordo para a próxima descolagem (ASHFORD; COUTU; BEASLEY,2013). O *turnaround*, ou tempo de bloqueio, é o período de tempo em que o avião fica na rampa do aeroporto, a par- tir do bloqueio na chegada de aeronave até o desbloqueio na partida da aeronave. Assim, o período de *turnaround* abrange todos os atrasos necessários para realizar as atividades de *ground handling*, bem como alguns tempos inativos. Em uma operação comercial, o *turnaround* mínimo é igual ao período mínimo de tempo necessário para completar todas as atividades organizadas em um processo em série e/ou paralelo (FRICKE; SCHULTZ,2009).

Na chegada do voo, o desembarque de passageiros e o descarregamento de bagagens devem ser realizadas rapidamente, respeitando as condições de segurança dos passageiros.

Em seguida, de acordo com a proximi- dade do horário de partida atribuído a aeronave e a necessidade de liberação dos estandes de estacionamento gratuitos, a aeronave pode ser conduzida até uma posição de estacionamento re-moto. A descarga e/ou carga pode ser realizada de acordo com a urgência e a disponibilidade

de meios de descarga no estande de estaciona- mento de chegada ou em uma posição remota. As operações de manutenção de aeronaves, que estão no comando da companhia aérea e que não fazem parte de *ground handling* podem ocorrer, de acordo com sua natureza, seja no estande de estacionamento ou na posição de estaciona- mento remoto (ASHFORD; COUTU; BEASLEY, 2013).

Quando o horário de partida correspondente ao voo atribuído a uma aeronave se apro- xima, a aeronave é conduzida, se necessário, para um estande de estacionamento de partida. Em geral, o abastecimento é realizado de acordo com a demanda da companhia aérea no estande de estacionamento de partida. O carregamento de bagagens pode começar depois ou ocorrer du- rante o embarque dos passageiros. Uma vez que o abastecimento, o carregamento de bagagens e o embarque dos passageiros forem concluídos, a aeronave está pronta para deixar o estande de estacionamento e a liberação é solicitada pelo piloto à torre de controle *Air Traffic Control* (ATC). Uma vez que a liberação é concedida peloATC, o *push-back* é realizado (ASHFORD; COUTU; BEASLEY,2013).

A principal característica do *ground handling* no aeroporto é o envolvimento de diversas atividades, equipamentos, veículos e habilidades de mão de obra. Outra característica importante é a complexidade de todo o processo com atividades paralelas e sequenciais acontecendo nos gates de estacionamento, ligações de transporte e bases de veículos de *ground handling* (DU; ZHANG; CHEN,2008;ASHFORD; COUTU; BEASLEY, 2013).

A Figura 1 apresenta uma visão global do *ground handling* dentro do processo de *tur- naround* enquanto a Figura 2 ilustra os procedi- mentos de *ground handling* nos aeroportos.

Cada uma das atividades que incluem o processo de *ground handling* faz uso de equipamento especializado que deve ser disponibilizado no local de estacionamento de aeronaves no momento adequado para evitar atrasos. Algumas das atividades deGHCdevem ser realizadas o mais breve possível após a chegada da aeronave em seu ponto de parada e outras devem ser re- alizadas apenas em algum momento antes da partida a partir de seu estande de estaciona- mento (DU; ZHANG; CHEN,2008).

Dependendo do funcionamento da aeronave, esses dois subconjuntos de atividades podem ser realizados em sequência imediata ou são separados por um período inativo de duração

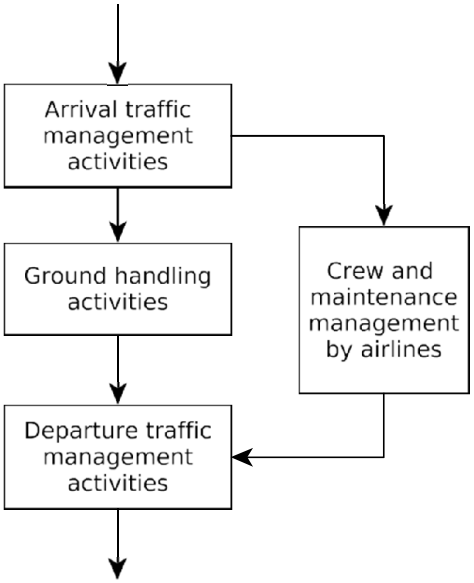


Figura 1 – Atividades do *ground handling* no contexto de *turnaround* (adaptado deASHFORD; COUTU; BEASLEY, 2013)

variável de acordo com os horários de chegada e de partida das aeronaves. A Figura 3 apresenta uma situação padrão de uma aeronave passando por um processo de *turnaround*, onde o espaço é um recurso bastante limitado e algumas tare- fas não podem ser realizadas simultaneamente, principalmente por razões de segurança (DOHN; KOLIND; HAYWOOD,2009).

3 OS PARCEIROS ENVOLVIDOS NAS OPERAÇÕES DE GROUND HANDLING

Ao considerar diferentes aeroportos no mundo, observa-se uma grande variedade de par- ceiros envolvidos com a gestão do *ground han- dling*. Além disso, observa-se que não há um padrão ou regra que pode ser aplicada a distribuição das tarefas nos diferentes aeroportos. Portanto as operações de *ground handling* podem ser geren- ciadas: (a) diretamente pelos gestores de *ground handling* do aeroporto; (b) diretamente pelos ges- tores de *ground handling* das companhias aéreas;
(c) pelas empresas de *ground handling* contrata-

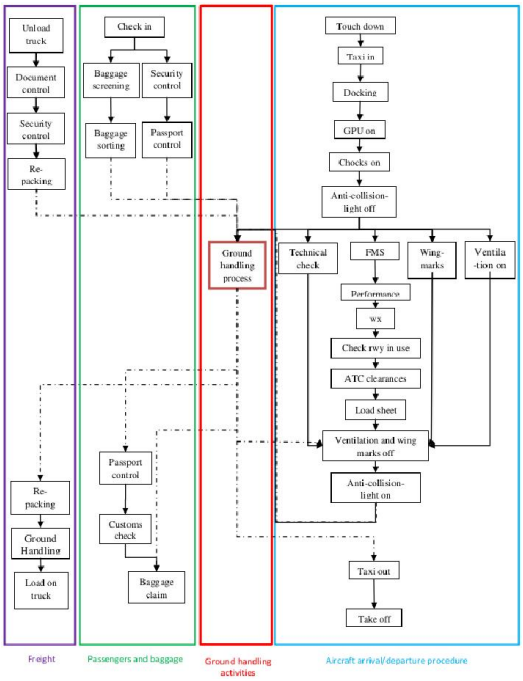


Figura 2 – Operações relacionadas as aeronaves nos aeroportos (adaptado deASH- FORD; COUTU; BEASLEY,2013)

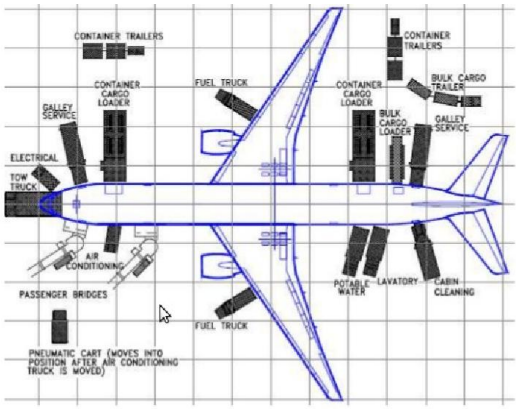


Figura 3 – Operações típicas de *ground han- dling* das aeronaves Boeing 777- 300ER (adaptado deBOEING,2015)

das pelo aeroporto; (d) pelas empresas de *ground handling* contratadas pelas companhias aéreas ou por uma combinação dessas quatro situações.

4 A-CDM E GHC

A tomada colaborativa de decisão (A-CDM) tem como objetivo aprimorar o gerenciamento da capacidade aeroportuária e o fluxo do tráfego a nível de aeroporto, para reduzir atrasos e aumentar a previsibilidade dos eventos, o que consequentemente culmina na otimização da utilização dos recursos (CHANG et al.,2001).

Logo, o sucesso doA-CDMé obtido quando as informações são compartilhada en- tre todos os parceiros. Além disso, os dados de- vem ser de qualidade para serem efetivamente considerados na tomada de decisão (FITOURI- TRABELSI,2013).

Os parceiros dos aeroportos envolvidos no processoA-CDMsão: (a) o controle de tráfego aéreo — *Air Traffic Control* (ATC), (b) as com- panhias aéreas, (c) as empresas gestão de *ground handling*, (d) as empresas de gerenciamento da rede de tráfego aéreo, e (e) os gestores das ope- rações aeroportuárias.

O conceito de A-CDM é baseado principalmente nos seguintes princípios gerais: (i) o compartilhamento dos dados entre os diferentes parceiros; (ii) a qualidade dos dados trocados de- vem contribuir para a previsibilidade de eventos e a capacidade de planejamento dos tomadores de decisão; (iii) as decisões de interface são atri- buídos a um dos parceiros envolvidos; (iv) todos os parceiros são informados online das decisões adotadas.

Estes princípios formam a base das principais funções do A-CDM, as quais podem ser resumidas em quatro pontos: (i) a abordagem do *milestone*; (ii) a avaliação de execução do pro- cesso de *ground handling* nas aeronaves; (iii) a análise de tendência da sequência de pré-partida;
(iv) o estado dos processos de pré-partida das aeronaves.

O uso do A-CDM oferece algumas vantagens aos parceiros envolvidos, tais como: (i) para os operadores de aeronaves, o A-CDM pode levar a uma melhoria na eficiência no uso dos *gates* e ao aumento da capacidade operacional do aero- porto; (ii) para os gestores de *ground handling*, o A-CDM pode ajudá-los a determinar onde alo- car os recursos para reduzir os atrasos; (iii) para os prestadores de serviços de tráfego aéreo, o A-CDM pode melhorar o controle de fluxo de tráfego aéreo; e (iv) para os controladores de tráfego aéreo, o A-CDM pode ajudar no melhor planejamento no uso das pistas do aeroporto.

5 UMA ESTRUTURA HIERÁRQUICA PARA A GESTÃO DO GROUND HAN- DLING NOS AEROPORTOS

Esse trabalho assume as seguintes características do ambiente de *ground handling*:

(a) considera-se que as atividades de *ground handling* são realizadas por um conjunto de operado- res especializados, e que trabalham em paralelo sob a supervisão das autoridades aeroportuá- rias (FITOURI-TRABELSI,2013); (b) o pro- cesso de *ground handling* segue sequenciamentos pré-estabelecidos, que devem ser realizado, como mostra a Figura 4; (c) os estandes de estacio- namento são atribuídos aos voos que chegam ao aeroporto são comunicados através do con- troleATC, enquanto o status dos estandes do estacionamento é monitorado pelo controleATC, que é o encarregado de conduzir a aeronave para a posição de estacionamento; (d) a posição do estacionamento de chegada de uma aeronave é a sua posição de partida para o próximo voo.

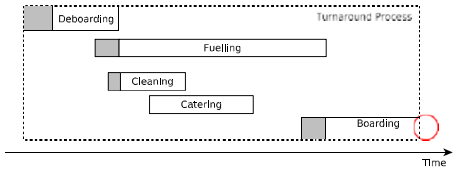


Figura 4 – Versão simplificada dos processos de *turnaround* nos aeroportos (adap- tado deKUSTER; JANNACH,2006)

A introdução do GHC levou a uma es- trutura hierárquica para a gestão do ground han- dling como mostrado na Figure5.

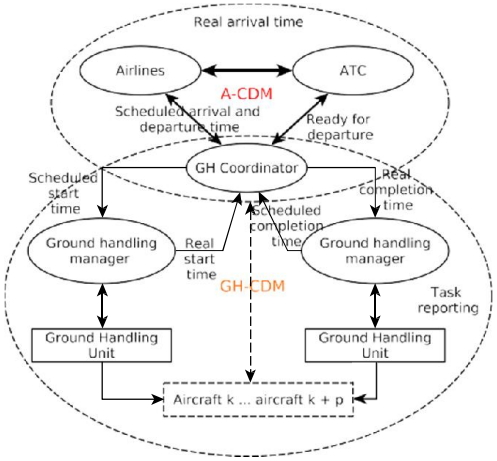


Figura 5 – Estrutura do A-CDM com o *ground handling* (adaptado deFITOURI-TRABELSI,2013)

5.1 COORDENADOR DO *GROUND HAN- DLING* (GH COORDINATOR)

O coordenador atua como uma interface de comunicação entre os parceiros doA-CDMe os gestores de *ground handling*. As suas principais funções são: (a) fornecer aos outros parceiros doA-CDMas previsões de atrasos das operações de *ground handling*, assim como, os milestones; (b) fornecer aos gestores de *ground handling* as previsões sobre os estados das atividades; e dos recursos utilizados.

5.2 GESTOR DE *GROUND HAN- DLING* (*GROUND HANDLING MANAGER*)

O gestor de *ground handling* tem duas funções principais: planejar as atividades e geren- ciar a sua execução. Em outras palavras, o gestor de *ground handling* é responsável por atualizar a atribuição das aeronaves, considerando os dados recebidos do *GHC manager*.

Esse trabalho foca no planejamento, no gerenciamento e na atribuição dos recursos de operações de *ground handling* do aeroporto. Por isso, considera-se que há N voos que precisam ser atendidos, e n representa um voo especi- fico, $n \in N$, com tempo de chegada estimado, $ET\ A(n)$, e tempo de partida previsto, $ET\ D(n)$, no horizonte de tempo especıfico t, o qual vai ficar em diferentes gates no aeroporto.

Considerando que temos três tipos de recursos: limpeza X, $x \in X$, onde x é o numero de recursos de limpeza; embarque Y , $y \in Y$ onde. y é o número de recursos de embarque; e catering Z, $z \in Z$, onde z é o numero de recursos de catering. T_{xn} é o tempo de serviço do recurso de limpeza x para o voo n, T_{yn} é o tempo de serviço do recurso de embarque y para o voo n e T_{zn} é o tempo de serviço do recurso de catering z para o voo n.

Com isso, o objetivo é planejar e alocar um número de diferentes tipo de recursos para a execução das atividades de *ground handling*.

6 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Foram desenvolvidos três agentes a fim de simular a execução das operações de *ground handling* nos aeroportos. Os agentes são: o agenteATC— controlador do tráfego aéreo, o agente airlines e o agente GH coordinator– coordenador do *ground handling*.

O agente ATC é responsável por fornecer uma interface gráfica e por iniciar os dois outros agentes; airlines e GH coordinator (KUSTER; JANNACH,2006).

O agente airlines é um agente reflexivo, o qual seleciona as ações com base na sua percep- ção instantânea do ambiente (WOOLDRIDGE, 2009). Em outras palavras, o agente ler os dados atuais sobre os horários programados de chegada e partida dos voos da base de voos e envia-os ao agente GH Coordinator. Nesse caso, o ambiente do agente é totalmente observável, determinístico, estático e discreto.

O agente GH coordinator também é um agente reflexivo. Ele solicita ao agente airlines, os dados atuais sobre os horários programados de chegada e partida de voos. O ambiente do agente é totalmente observável, determinístico, estático e discreto.

O protótipo foi desenvolvido em Java, utilizando o JADE (JADE,1999;BEL-LIFEMINE; POGGI; RIMASSA,1999). O JADE (BELLIFEMINE; POGGI; RIMASSA, 1999) é um *framework* para o desenvolvimento de agente em Java. Ele simplifica a implementação de sistemas multi-agentes através um *middleware* que aderente a especificação FIPA e através de um conjunto de ferramentas gráficas que supor- tam as fases de implantação e testes.

As Figuras 6 e 7 apresentam respectivamente a troca de mensagens e de dados entre os agentes airlines e GH coordinator; e a resposta do agente ATC com os horários dos voos repe- titivos obtidos no site da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

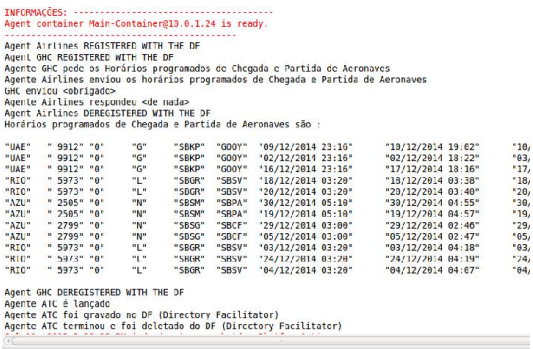


Figura 6 – Troca de dados entre os agentes: air- lines e GH coordinator

7 CONCLUSÃO

A fim de atender a crescente demanda do trafego aéreo é necessário reduzir o tempo



Figura 7 – Agente ATC com os horários dos voos repetitivos

das atividades em solo das aeronaves nos aero- portos (IP et al.,2010).

Nesse trabalho, apresentamos uma pro- posta para auxiliar na melhoria das operações de *ground handling*usando um processo de de- liberação que escolhe e organiza as ações dos parceiros envolvidos, antecipando os resultados esperados. Um modelo de simulação multi-agente foi construído e baseado em dados reais conse- guimos avaliar a troca de informações entre os diferentes interessados na gestão das atividades de *ground handling* nos aeroportos.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. P.; WEIGANG, L.; SOUZA, B. B. Reinforcement learning to support meta-level control in air traffic management. In: WEBER, C.; ELSHAW, M.; MAYER, N. M. (Ed.). *Rein- forcement Learning*. [S.l.]: I-Tech Education and Publishing, 2008.

ASHFORD, N. J.; COUTU, P.; BEASLEY, J. *Airport operations*. [S.l.]: McGraw Hill, 2013.

BELLIFEMINE, F.; POGGI, A.; RIMASSA, G. Jade–a fipa-compliant agent framework. In: *Prac- tical Application of Intelligent Agents and Multi- Agent Technology*. [S.l.: s.n.], 1999. p. 97–108.

BOEING. *777-200LR/-300ER/-Freighter Air- plane Characteristics for Airport Planning. D6-58329-2*. 2015. Disponível em:<goo.gl/obljKC>. Acesso em: Setembro 2015.

CENTER, A. R. *Study on the impact of directive 96/67/ec on ground handling services 1996-2007*. 2009. Disponível em:<goo.gl/qfJFLV>. Acesso em: Setembro 2015.

CHANG, K. et al. Enhancements to the faa ground-delay program under collaborative de- cision making. *Interfaces*, INFORMS, v. 31, n. 1, p. 57–76, 2001.

DOHN, A.; KOLIND, E.; HAYWOOD, J. Optimizing manpower allocation for ground handling tasks in airports using column generation. In: *8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent System*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 2–11.

DU, Y.; ZHANG, Q.; CHEN, Q. Aco-ih: An improved ant colony optimization algorithm for airport ground service scheduling. In: *IEEE International Conference on Industrial Technology*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 1–6.

EUROCONTROL. *Airport CDM Implementa- tion - The Manual for Collaborative Decision Making*. 2010. Disponível em:<goo.gl/UbfF0w>. Acesso em: Setembro 2015.

FITOURI-TRABELSI, S. *Contribution à l'organisation des opérations d'escale dans une plateforme aéroportuaire*. Tese (thesis) — Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT, 2013.

FITOURI-TRABELSI, S. et al. Integrated deci- sion making for ground handling management. *Global Journal of Science Frontier Research: Mathematics and Decision Sciences*, Global Jour- nals inc., v. 15, n. 1, p. 17–31, 2015.

FRICKE, H.; SCHULTZ, M. Delay impacts onto turnaround performance. In: *USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–10.

IP, W. et al. A multi agent based model for airport service planning. *International Journal of Engineering Business Management*, InTech, v. 2, n. 2, p. 93–100, 2010.

JADE. *JAVA Agent DEvelopment Framework*. 1999. Disponível em:<jade.tilab.com>. Acesso em: Setembro 2015.

KUSTER, J.; JANNACH, D. Handling airport ground processes based on resource-constrained project scheduling. In: *Advances in Applied Arti- ficial Intelligence*. [S.l.]: Springer, 2006. p. 166– 176.

WOOLDRIDGE, M. *An Introduction to Multi- Agent Systems*. 2nd. ed. [S.l.]: Wiley Publishing, 2009.