



Universidade do Minho

Mestrado Integrado em Engenharia Informática

Agentes Inteligentes

AGENTES E SISTEMAS MULTIAGENTE

Gestão do fluxo de tráfego aéreo

Fase 1

Luís Gomes (A78701)

Joel Rodrigues (A79068)

Elisa Valente (A79093)

14 de Novembro de 2018

Resumo

Com o aumento da segurança e fiabilidade dos meios aéreos para a realização de deslocações que envolvam grandes distâncias, estes tornaram-se alvo de grande procura, despoletando um aumento significativo no tráfego aéreo. Com isto, torna-se necessária a existência de novos sistemas, que proporcionem uma gestão eficiente e otimizada do espaço de aviação. Estes sistemas devem ser escaláveis e o seu principal objetivo será evitar a existência de colisões e minimizar os atrasos de voos. Neste documento é apresentado um sistema multiagente que apresenta a capacidade de simular um espaço aéreo e a sua gestão. Para isso são utilizados três tipos de agente: Interface (AI), Aeronave (AA) e Estação (AE). O primeiro tem como função apresentar ao utilizador informações acerca do sistema em tempo-real, enquanto que os outros tipos de agente simulam as respetivas entidades reais, focando a sua atuação em processos de negociação entre eles. É utilizada uma abordagem descentralizada em que cada AA é responsável pela gestão da sua rota em voo, comunicando com as restantes aeronaves com o intuito de controlar possíveis colisões. Em relação aos AE, estes limitam-se a comunicar com as AA a partir do momento que estas enviam um pedido de aterragem.

Conteúdo

1	Introdução	4
2	Estado de arte	5
3	Descrição do problema	7
4	Explicação da abordagem	9
5	Modelação	12
5.1	Diagramas de sequência	12
5.2	Diagrama de classes	18
5.3	Diagrama de estados	19
5.4	Diagrama de atividade	20
6	Conclusão	22

Figuras

1	Previsão de crescimento de tráfego na Europa entre 2018 e 2023.	5
2	Áreas de proximidade de uma aeronave.	9
3	Aeronave entra em <i>Alert Zone</i> não havendo necessidade de efetuar qualquer alteração.	10
4	Aeronave entra em <i>Alert Zone</i> sendo necessário efetuar alterações.	10
5	Áreas de proximidade de um aeroporto.	11
6	Diagrama de sequência de detecção de colisões entre aeronaves.	13
7	Diagrama de sequência de negociação entre aeronaves.	15
8	Diagrama de sequência de negociação de aterragem.	17
9	Diagrama de Classes.	18
10	Diagrama de estados de uma aeronave.	19
11	Diagrama de atividade de uma viagem.	21

1 Introdução

O presente documento, elaborado no âmbito da unidade curricular de Agentes Inteligentes, tem o objetivo de apresentar as decisões tomadas na realização da primeira fase do trabalho prático. Para esta fase foi realizada uma pesquisa sobre a gestão do tráfego aéreo e as abordagens existentes para a sua resolução. Assim, na secção 2, é apresentado o estado da arte no que diz respeito à aplicação de sistemas multiagente neste domínio, bem como alguns dados estatísticos que revelam a necessidade de implementação de sistemas mais eficientes e escaláveis.

De forma a explicitar os pormenores do problema apresentado, são apresentados na secção 3 os objetivos da criação do sistema em estudo, bem como as funcionalidades que devem ser implementadas. Para além disto são apresentadas as características específicas de cada agente.

Para a resolução do problema é adotada uma abordagem descentralizada, sendo apresentada a modelação de um sistema multiagente capaz de gerir de forma autónoma algumas das funcionalidades do controlo de tráfego, como a deteção de colisões entre aeronaves e a gestão de aterragens nos aeroportos. Desta forma, a abordagem utilizada é explicada de forma pormenorizada na secção 4 e a respetiva modelação é apresentada na secção seguinte (5). Esta modelação, efetuada com base na modelação UML direcionada a agentes (AUML), ajuda a perceber o funcionamento do sistema de uma forma simplificada e pretende auxiliar no futuro desenvolvimento.

2 Estado de arte

O aumento da procura de meios aéreos tem provocado uma necessidade de melhorar os sistemas de controlo de aviação. De facto, é previsto que entre 2018 e 2023 o número de voos na zona aérea europeia aumente cerca de 2.8% ao ano, representando assim uma média aproximada de 13 milhões de voos diários em 2023. A figura 1 apresenta estas previsões.

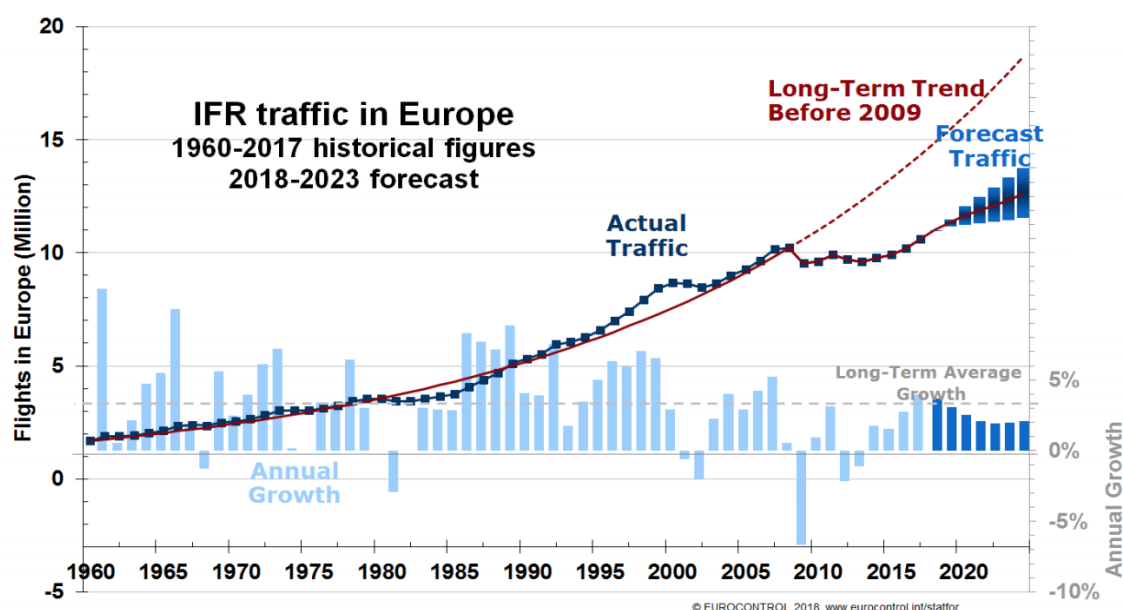


Figura 1: Previsão de crescimento de tráfego na Europa entre 2018 e 2023.

Os sistemas de controlo de tráfego aéreo convencionais (*Air Traffic Controller* - ATC) utilizam sistemas centralizados em que existem diversas entidades responsáveis pela monitorização e gestão das rotas das aeronaves. Estes sistemas exibem uma capacidade de escalabilidade limitada uma vez que é necessário que estas entidades conheçam todas as aeronaves do seu domínio, sendo que a complexidade da resolução de conflitos aumenta com o crescimento do número de aeronaves.

De forma a promover um melhoramento nos ATCs, surgem abordagens baseadas em sistemas multiagente. Estes têm duas formas de atuar:

- **centralizada** - existe um conjunto de agentes de gestão que irá efetuar o controlo do tráfego, comunicando com os agentes de voo que executam as ações exigidas;
- **descentralizada** - os vários agentes de voo são responsáveis por monitorizar uma determinada área circundante, comunicando entre si de forma a efetuarem negociações em caso de possíveis colisões.

Da mesma forma que os sistemas ATC convencionais, a primeira abordagem tem o problema da escalabilidade limitada e uma fraca tolerância a falhas, uma vez que uma falha nos gestores pode comprometer o funcionamento do sistema. A abordagem descentralizada apresenta uma maior autonomia e independência, conferindo às aeronaves o poder de decisão para a alteração da sua rota em tempo-real. A maior desvantagem deste tipo de sistema é a restrição no conhecimento do sistema como um todo, estando cada aeronave limitada a um conjunto de variáveis que lhe dão uma visão apenas da área envolvente. Assim, podem ser tomadas decisões ótimas do ponto de vista local, que têm um impacto negativo do ponto de vista global. Este tipo de abordagem é conhecida por *Free Flight*. [1] [2]

3 Descrição do problema

O problema proposto tem como objetivo a criação de um sistema multiagente, apresentando como características principais uma estrutura distribuída, descentralizada e adaptativa, capaz de gerir o fluxo do tráfego aéreo. Nestes sistemas pretende-se que existam vários agentes, sendo eles:

- **Agente Estação (AE):** Representam os aeroportos e são responsáveis por gerir a ordem de aterragem dos agentes aeronave. Para a realização desta gestão poderão ter de influenciar a velocidade de viagem ou a rota dos agentes aeronaves ativos no sistema. Estes agentes apresentam:
 - localização GPS fixa;
 - número de pistas de aterragem disponíveis;
 - número limite de aeronaves estacionadas;
 - número de aeronaves estacionadas.
- **Agente Aeronave (AA):** Representam as aeronaves ativas no sistema. Estes monitorizam o seu estado e a localização GPS, influenciando a tomada de decisão relativa à trajetória aérea a percorrer. Para além disso também calculam a distância a percorrer até ao aeroporto destino com base na sua posição e destino. Estes agentes apresentam:
 - localização não estacionária, sendo que exibem capacidade de se moverem de aeroporto para aeroporto;
 - conhecimento relativo aos aeroportos e aeronaves existentes no sistema;
 - definição da rota a percorrer;
 - função de negociação com os agentes vizinhos em situações de risco.
- **Agente Interface (AI):** Representa a interface com a qual o utilizador vai interagir com as aeronaves de forma a observar o *status* e as tomadas de decisão.

A construção de um sistema multiagente para a resolução desta problemática é particularmente complexa porque exige a incorporação e coordenação de inúmeros fatores, nomeadamente a gestão de dados em tempo real (por exemplo as condições meteorológicas) o controlo de situações conflituosas (por exemplo a gestão de colisões) e ainda a existência de recursos limitados (por exemplo o número de pistas de aterragem).

De entre todos os aspetos influentes na gestão do tráfego aéreo através de um sistema descentralizado, os mais preponderantes são:

- **Gestão de aterragens de aeronaves nos aeroportos:** Deve existir comunicação entre as aeronaves e os aeroportos, informando a intenção da aeronave de aterrar. Por sua vez o aeroporto irá efetuar o gestão dos pedidos de aterragem através da tomada de decisão.
- **Possibilidade de ocorrência de colisões:** O sistema deve evitar colisões entre aeronaves através de uma solução flexível de deteção de colisão, baseada em soluções de tomada de decisão eficientes e personalizadas.

Estes dois processos do sistema devem ser tão eficientes quanto possível, tendo em conta as várias características dos agentes intervenientes, objetivando-se alcançar resultados positivos na gestão do tráfego aéreo, particularmente a diminuição do tempo de espera das aeronaves e evitar a existência de colisões.

4 Explicação da abordagem

Neste contexto, em que cada aeronave deve ser capaz de perceber o ambiente em que se encontra e influenciar a tomada de decisão relativa à sua trajetória, estamos num caso em que deve ser implementado um sistema multiagente descentralizado. Deste modo, foi pensado um sistema em que as aeronaves estão em comunicação constante, trocando informações sobre a sua localização periodicamente, verificando cada uma delas a possibilidade de colisão. Esta possibilidade é calculada de acordo com a distância a que se encontram uma da outra, existindo duas áreas de proximidade:

- **Alert Zone** - Primeira área de proximidade. Nesta área as aeronaves entram em negociação de forma a encontrarem a melhor forma de evitar uma possível colisão. Esta solução pode passar pela alteração das velocidades, de uma das rotas ou não efetuar qualquer alteração, quando não existe perigo de colisão;
- **Protected Zone** - Segunda área de proximidade. Neste caso deve existir sempre alguma alteração, uma vez que não é permitido a uma aeronave circular na área protegida de outra. As ações a tomar incluem as mesmas da *Alert Zone*.

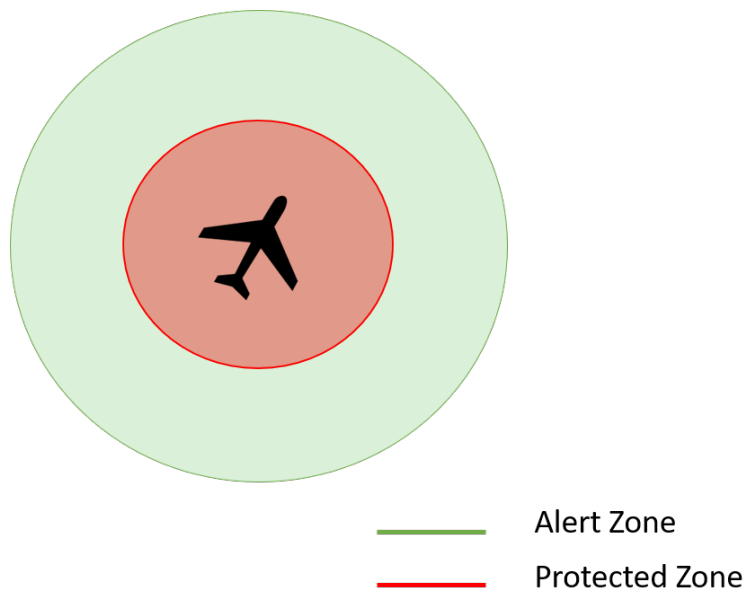


Figura 2: Áreas de proximidade de uma aeronave.

Um exemplo de quando uma aeronave entra na *Alert Zone* mas não há perigo de colisão pode ser verificado na figura 3, sendo que neste caso não há necessidade de efetuar qualquer alteração. Outro exemplo é dado pela figura 4, onde uma aeronave entra na *Alert Zone* de outra e as suas rotas se intersectam. Neste caso é detetada uma colisão, sendo necessário realizar uma alteração à trajetória ou à velocidade das aeronaves.

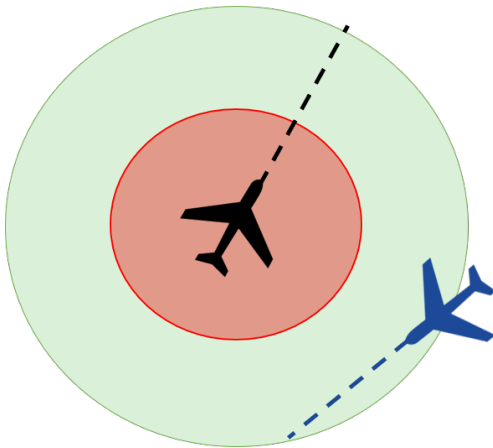


Figura 3: Aeronave entra em *Alert Zone* não havendo necessidade de efetuar qualquer alteração.

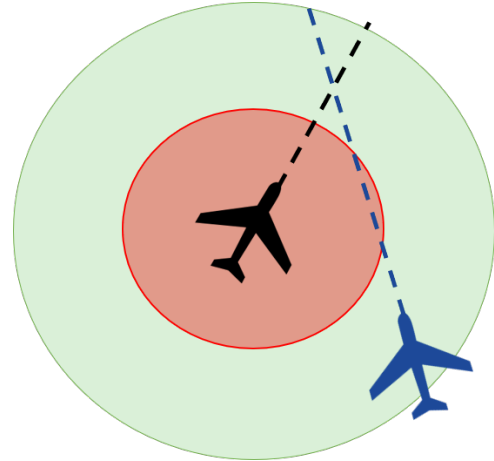


Figura 4: Aeronave entra em *Alert Zone* sendo necessário efetuar alterações.

No que diz respeito à gestão de aterragem, temos dois tipos de agente diferentes a comunicar. As diferentes aeronaves que têm intenção de aterrar devem enviar um pedido à respetiva estação. Esta, é responsável por fazer uma gestão eficiente das chegadas, evitando esperas no momento de aterragem, e alocando os recursos necessários (pistas e estacionamentos) para a realização do processo.

Deste modo, cada AE apresenta 3 áreas de proximidade:

- ***Request Zone*** - Zona em que as aeronaves devem efetuar os pedidos de aterragem. Esta zona é do conhecimento das aeronaves que apresentam como destino uma determinada estação. Quando uma aeronave entra nesta zona o aeroporto controla a sua velocidade, caso seja necessário.
- ***Alert Zone*** - Ao entrarem nesta zona, as aeronaves devem enviar todas as suas

informações à estação para possíveis decisões futuras. Quando uma aeronave entra nesta zona o aeroporto controla a sua rota, caso seja necessário.

- **Protected Zone** - Esta é considerada a zona de aterragem, existindo um número limite de aeronaves que podem estar simultaneamente no seu interior. Quando uma aeronave tem permissão para entrar nesta zona os recursos disponíveis devem ser atualizados.

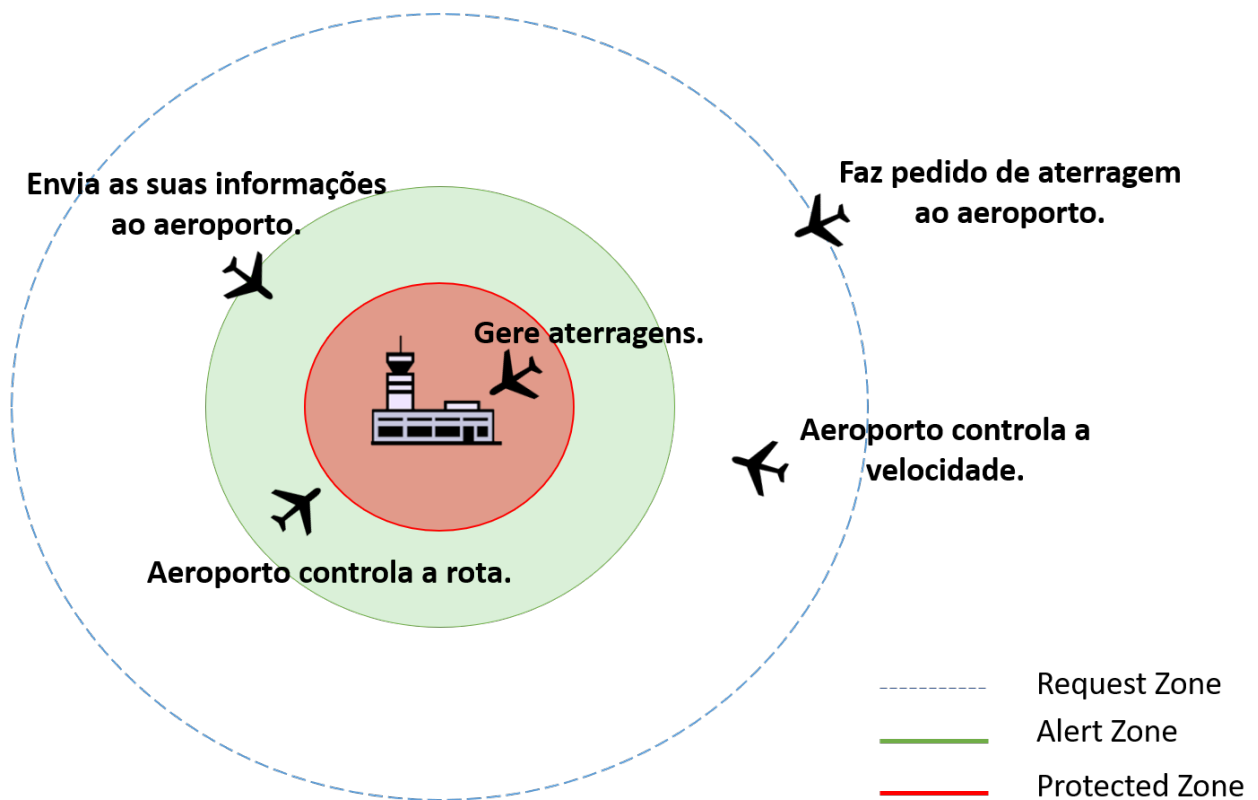


Figura 5: Áreas de proximidade de um aeroporto.

Quando a aeronave alcança a localização exata do aeroporto é assumido que a aterragem está concluída, libertando assim uma pista de aterragem. Da mesma forma, quando uma aeronave abandona uma estação, é libertado um estacionamento.

5 Modelação

De forma a melhorar o entendimento do sistema a implementar foram desenvolvidos alguns diagramas AUML, que serão mais tarde utilizados como ferramenta de suporte para o desenvolvimento de código.

5.1 Diagramas de sequência

Nesta secção são apresentados todos os diagramas de sequência realizados. Estes têm como objetivo a representação das interações entre agentes, mais concretamente as mensagens que são trocadas quer para a troca de informações, quer para possíveis negociações (por exemplo, pedido de execução de ações).

Na figura 6 é representado o comportamento de duas aeronaves.

A primeira (AA1), calcula as distâncias às outras aeronaves através das localizações recebidas e após detetar a presença de uma aeronave na sua área de proximidade (AA2) desencadeia uma troca de mensagens com esta.

Caso a distância calculada seja menor que o raio da *Alert Zone*, ou seja, caso AA2 se encontre na *Alert Zone* de AA1, esta pede a direção e sentido a AA2 que responde com as informações pedidas. Com estas informações, AA1 verifica a possibilidade de colisão e em caso afirmativo (exemplo na figura 4) as aeronaves passam à fase de negociação.

Caso a distância calculada seja menor que o raio da *Protected Zone*, ou seja, AA2 se encontre na *Protected Zone* de AA1, AA1 informa AA2 de colisão e esta envia todas as informações acerca da sua aeronave. Após isto, passam à fase de negociação.

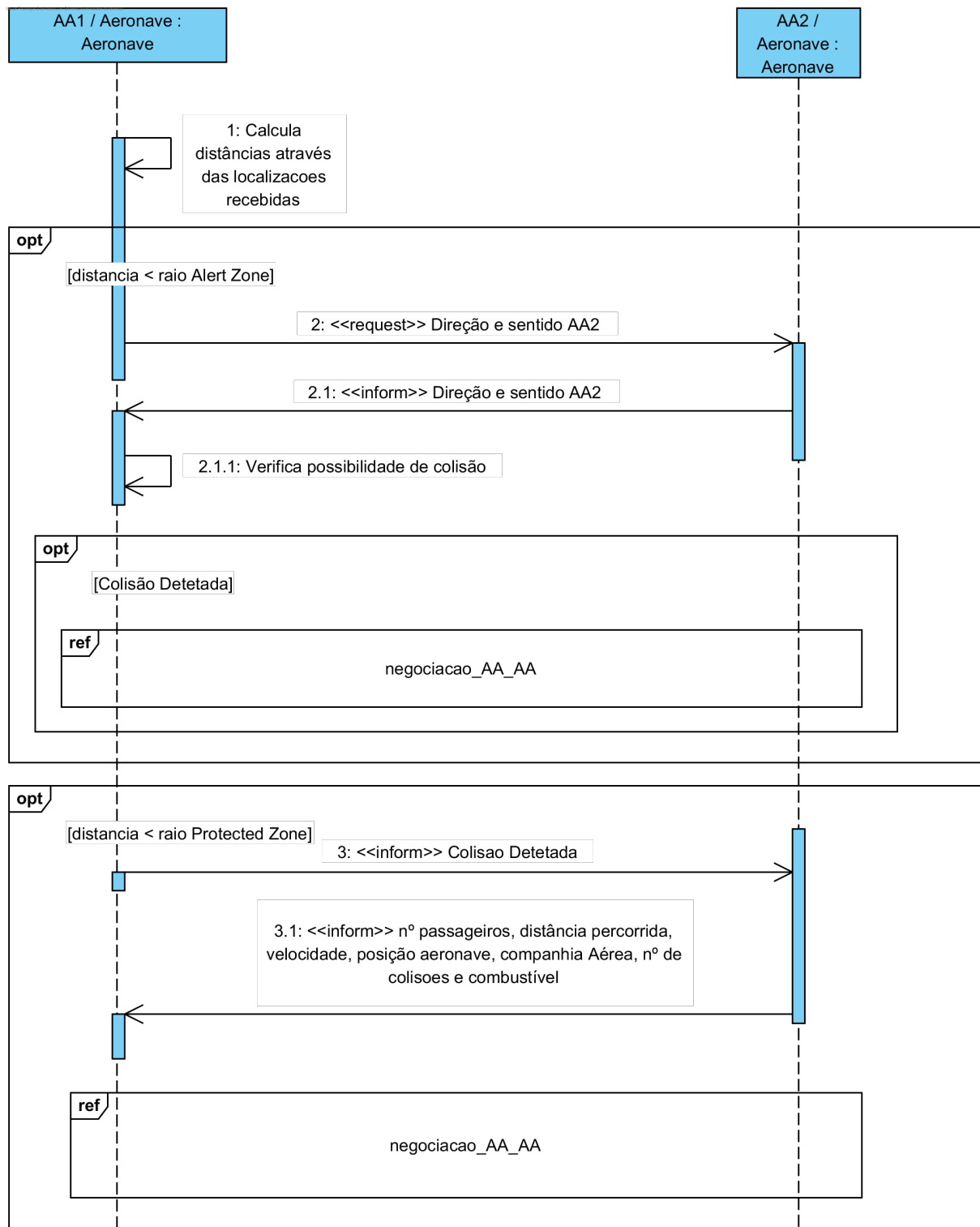


Figura 6: Diagrama de sequência de detecção de colisões entre aeronaves.

Na figura 7 apresenta-se o processo de negociação entre duas aeronaves após a detecção de uma colisão. Esta negociação é desencadeada pela aeronave que detecta mais cedo a colisão, sendo esta a decisora da ação que deve ser executada.

Após detectada a colisão, a aeronave AA1 calcula a melhor alternativa para a evitar. Esta alternativa pode ser uma de três opções:

- **Alteração da rota de AA1** - Neste caso, AA1 calcula a melhor rota, altera a rota e informa AA2 da alteração da sua rota.
- **Alteração da rota de AA2** - Caso a melhor opção seja a alteração da rota de AA2, numa primeira instância AA1 pede para AA2 alterar a sua rota e posteriormente AA2 confirma o pedido. AA2, inicia o processo de cálculo da melhor rota, altera-a e conclui o processo informando AA1 de alteração efetuada.
- **Alteração de velocidades** - Quando a melhor alternativa é alterar as velocidades, AA1 pede a AA2 para alterar a sua velocidade e AA2 confirma tal pedido. Seguidamente ambos confirmam a alteração das suas velocidades informando o outro com uma mensagem.

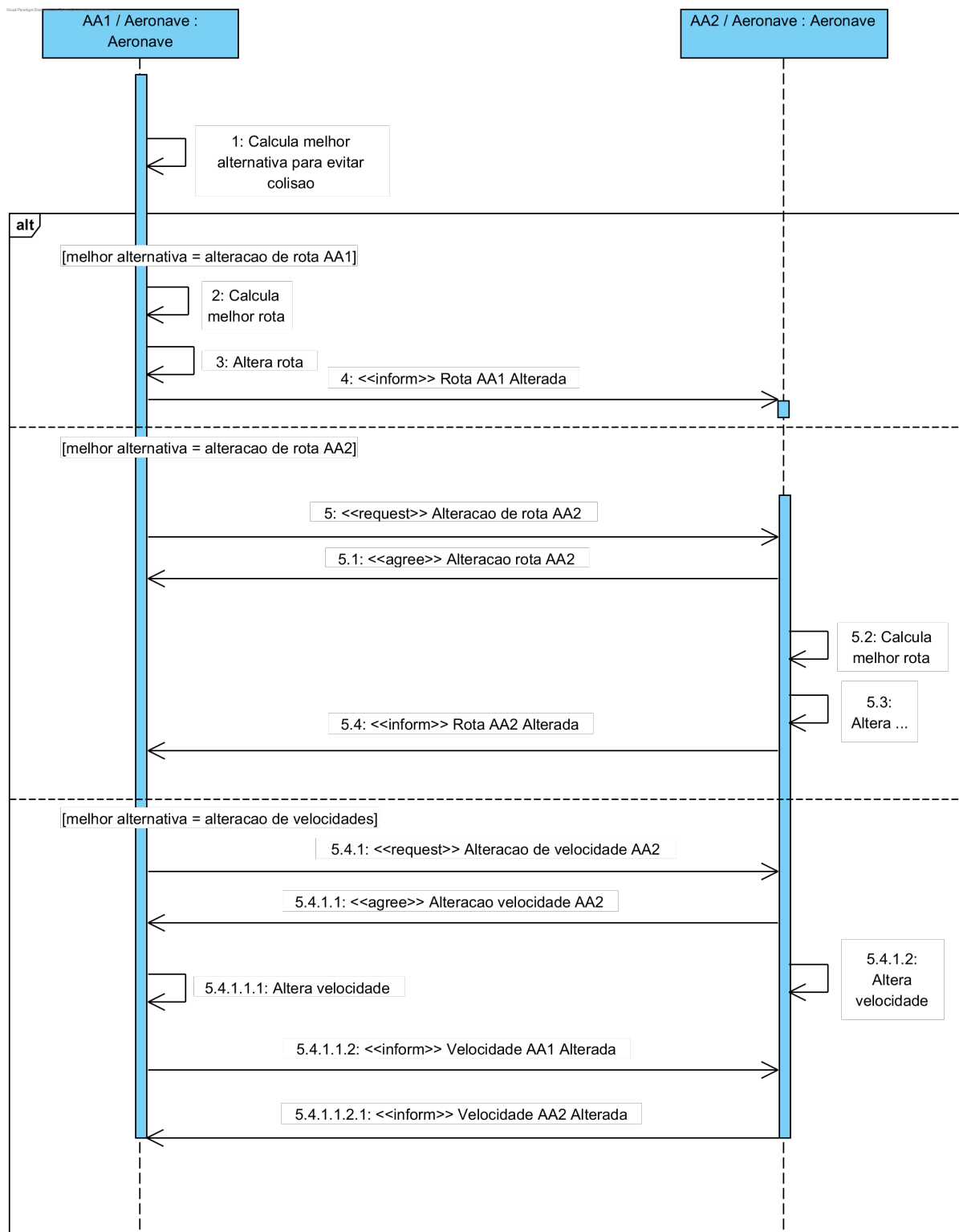


Figura 7: Diagrama de sequência de negociação entre aeronaves.

No último diagrama (figura 8), apresenta-se uma comunicação referente ao processo de aterragem, desde o momento em que uma aeronave dá entrada na *Request Zone*, efetuando o pedido de aterragem até ao momento final em que concretiza a aterragem.

Este processo inicia-se através do cálculo da distância da aeronave ao aeroporto. Dependendo deste cálculo são efetuadas diferentes ações que vão de encontro à zona em que a aeronave se encontra:

- **Antes de atingir a *Request Zone*** - Enquanto a aeronave não atingir a *Request Zone* do aeroporto destino calcula periodicamente a distância ao mesmo.
- **Dentro da *Request Zone*** - Quando a aeronave entrar na *Request Zone* informa o aeroporto da intenção de aterrar. Durante o período em que esta se encontra nesta zona efetua periodicamente o cálculo do tempo de chegada e envia essa informação ao aeroporto. Este, por sua vez, verifica se existem tempos de chegada iguais, ou seja, se há aeronaves que pretendem aterrar simultaneamente. Em caso afirmativo envia um pedido de alteração de velocidade para a aeronave.
- **Dentro da *Alert Zone*** - Assim que a aeronave atingir esta zona informa o aeroporto sobre o nº passageiros que transporta, a distância percorrida, a velocidade a que circula, a sua posição, a companhia aérea, nº colisões até ao momento e combustível disponível. Nesta zona continua a realizar o cálculo do tempo de chegada e a transmitir esta informação ao aeroporto. Este, verifica disponibilidade de aterragem (pistas disponíveis e estacionamentos disponíveis). Caso não haja disponibilidade pede alteração de rota à aeronave em questão e aguarda confirmação por parte desta.
- **Dentro da *Protected Zone*** - Quando a aeronave atinge esta zona, o aeroporto atualiza temporariamente as informações acerca das pistas de aterragem disponíveis e o nº de aeronaves estacionadas. Entretanto a aeronave efetua o processo de aterragem e após isto o aeroporto atualiza, novamente, as pistas de aterragem disponíveis.

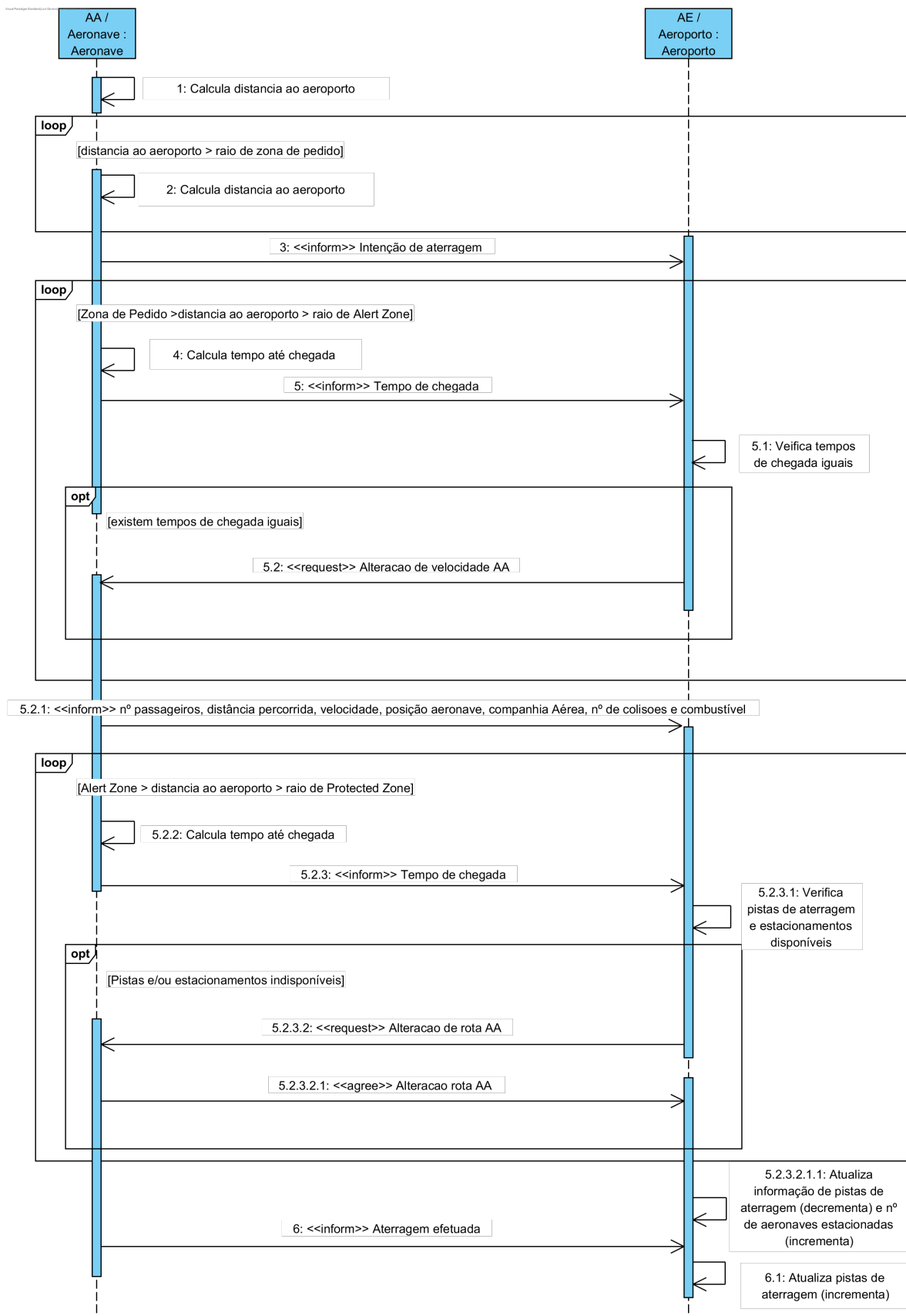


Figura 8: Diagrama de sequência de negociação de aterragem.

5.2 Diagrama de classes

Analisando os diagramas de sequência anteriores fica-se com uma ideia do tipo de atributos e ações que cada agente deve possuir e implementar. Para além disso é visível também a relação que estes apresentam entre si. Com esta informação é representado um diagrama de classes, figura 9, onde são identificados os três tipos de agente e as suas respetivas características. Estas são a base para conceção das classes que serão implementadas no sistema multiagente.

Em cada classe são apresentadas as variáveis e métodos que se perspetiva serem necessários para a implementação do sistema. Relativamente ao agente Aeronave, é de realçar a variável combustível que surgiu com o interesse de tornar o sistema mais realista. No entanto, esta é considerada como um extra e como tal, só lhe será dada a devida importância caso todos os requisitos exigidos estejam implementados.

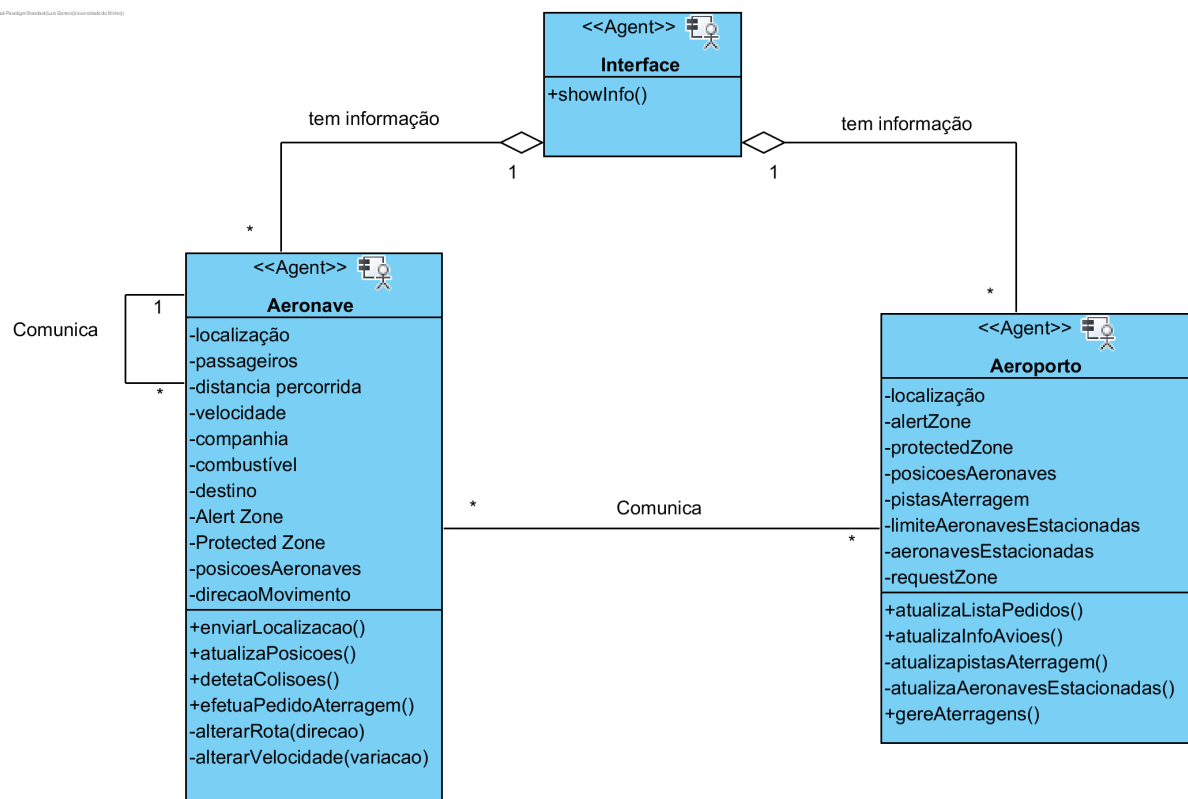


Figura 9: Diagrama de Classes.

No que diz respeito aos métodos, destacam-se o *alterarRota(direcao)* e o *alterarVelocidade(variacao)* que resultam do processo de negociação. Estes são os únicos que apresentam atributos uma vez que, quando um agente envia um pedido de alteração de rota ou de velocidade tem de informar o outro agente de qual a direção que deve ser seguida ou qual a variação da velocidade que deve ser implementada.

5.3 Diagrama de estados

O diagrama de estados tem como foco os diferentes estados em que uma determinada entidade pode estar. Para o estudo deste caso em específico existe uma necessidade de modelar a mudança de estados de um AA desde o momento em que é criado até ao momento da sua destruição. A partir deste diagrama pode-se inferir que existem dois estados principais, viagem e repouso. Após a criação de um AA, este encontra-se no estado de repouso e, após iniciar uma viagem, não pode ser eliminado do sistema até esta estar concluída. Este diagrama encontra-se representado na figura 10.

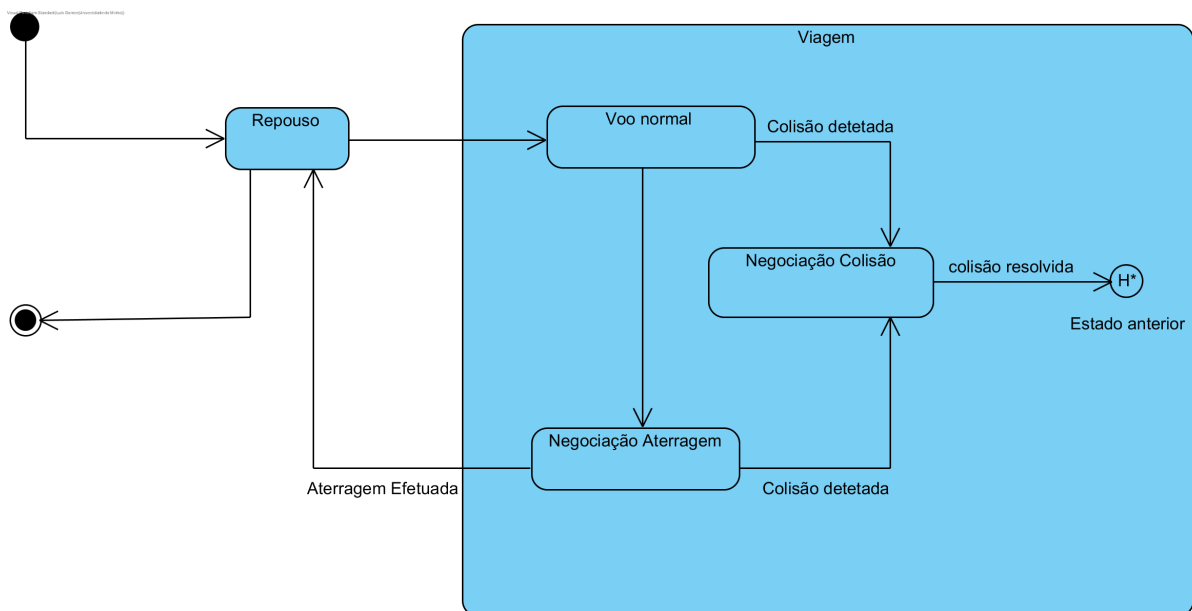


Figura 10: Diagrama de estados de uma aeronave.

5.4 Diagrama de atividade

Nesta secção é apresentado um diagrama de atividade representativo da realização de uma viagem. Este diagrama, representado na figura 11, reflete o fluxo de ações executadas por dois agentes (Aeronave e Aeroporto) desde o momento em que a viagem é iniciada até ao momento de aterragem. Da sequência cronológica de eventos representados destacam-se três pontos-chave, correspondendo à entrada da aeronave nas áreas de proximidade do aeroporto.

Ao iniciar uma viagem, a aeronave começa por calcular a rota que deve efetuar para chegar ao destino pretendido. Durante a fase de voo esta envia periodicamente a sua posição atual para as restantes aeronaves ativas no sistema, estando ao mesmo tempo à procura de possíveis colisões (esta procura é feita através do cálculo da distância a que ela se encontra de outras aeronaves, que também estão a enviar periodicamente as suas coordenadas). Quando detetada uma colisão, passa-se à fase de negociação onde se pretende resolver a possível colisão através de alterações de rota ou velocidade. Estes processos estarão a ser executados ciclicamente até a aeronave chegar à *Protected Zone* do aeroporto destino.

Quando a aeronave entra na *Request Zone* do aeroporto destino efetua o pedido de aterragem. O aeroporto recebe esse pedido e passa a gerir a velocidade da aeronave, caso seja necessário. Quando a aeronave avança para a *Alert Zone* do aeroporto, este atualiza as informações acerca da aeronave (nº passageiros, distância percorrida, velocidade, posição aeronave, companhia aérea, nº colisões e combustível) e comunica com a aeronave com o intuito de gerir a sua rota, caso necessário. Assim que a aeronave entra na *Protected Zone* o aeroporto atualiza as pistas disponíveis (decrementando uma unidade) e a aeronave efetua a aterragem. Quando esta aterra considera-se que vai para um local de estacionamento sendo que o aeroporto atualiza novamente as pistas de aterragem disponíveis (incrementando uma unidade) e os estacionamentos disponíveis (decrementa uma unidade).

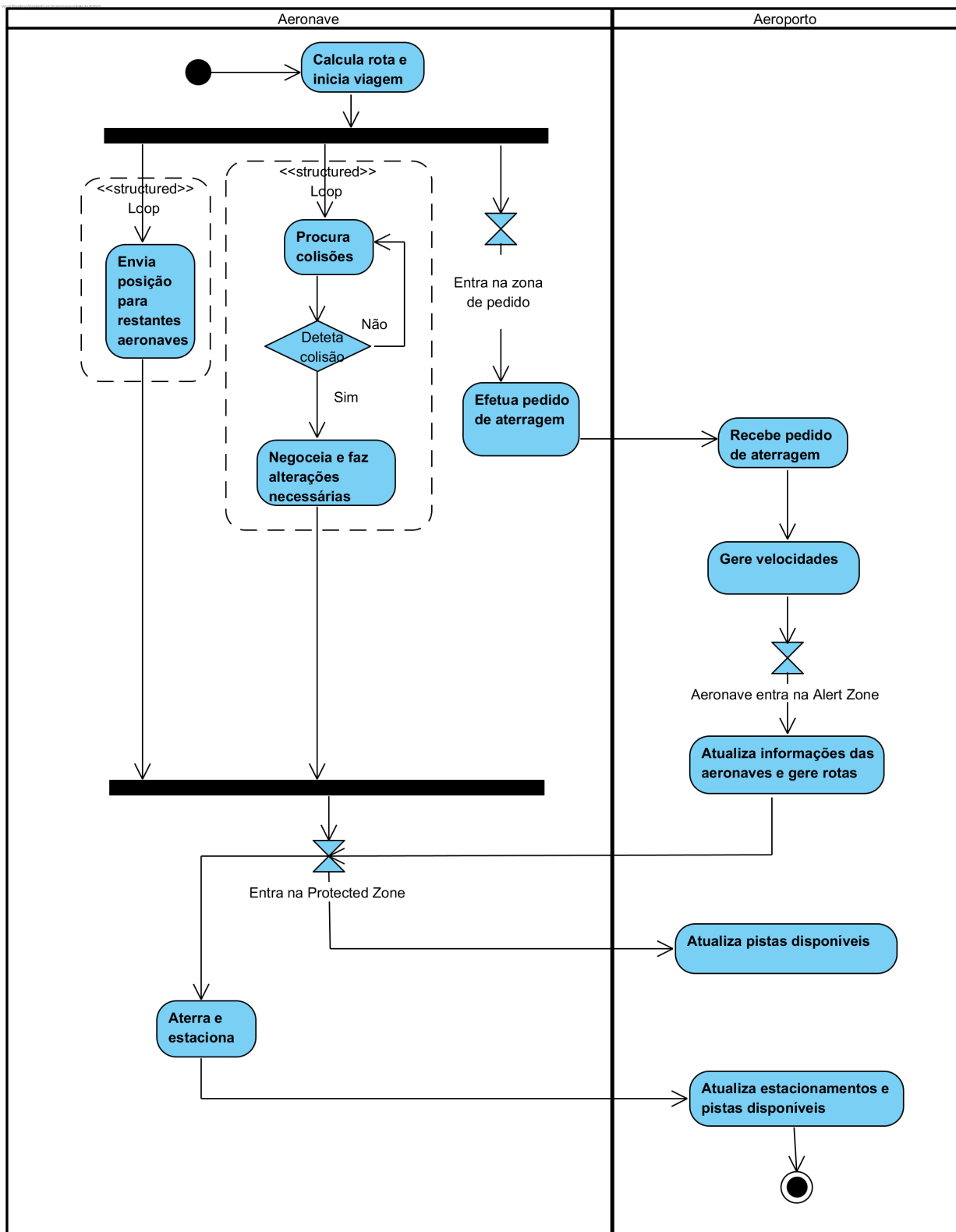


Figura 11: Diagrama de atividade de uma viagem.

6 Conclusão

Nesta primeira etapa foi realizado um estudo das técnicas de gestão de tráfego aéreo existentes que mostram algumas vulnerabilidades no que diz respeito ao aumento do número de aeronaves devido à sua escalabilidade limitada. A utilização de sistemas multiagente para a resolução destes problemas tem vindo a afirmar-se e a ser alvo de grande investigação, uma vez que o uso destes sistemas aliado a uma abordagem descentralizada apresenta uma maior autonomia, independência e escalabilidade, contrariamente às técnicas usadas atualmente.

Após a compreensão do funcionamento de um sistema multiagente descentralizado, procedeu-se à elaboração esquematizada da solução para o problema proposto, onde se definiram as funcionalidades, estrutura e aplicabilidade dos agentes.

Posteriormente, tendo como propósito expressar detalhadamente o funcionamento do sistema, iniciou-se a sua modelação. Nesta modelação foram identificados e especificados os diversos agentes assim como as interações entre eles. Para além disso também se definiram as classes e os respetivos atributos e métodos que irão ser utilizados na segunda fase do trabalho.

Face ao trabalho realizado, infere-se que a fase de modelação de um sistema é fundamental para identificar todas as características e especificações do sistema a implementar, o que é uma mais valia para a fase de implementação do sistema. Esta será a próxima etapa, onde será utilizada a linguagem de programação *JAVA* com recurso à interface *JADE*.

Referências

- [1] C. Hill, J., J. F., J. K., R. L., e W. C. (2005). A cooperative multiagent approach to free flight. Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems, Electrical and Computer EngineeringBrigham Young UniversityProvo, UT 84602 USA.
- [2] A.C., D.C.S., E.O. e P.H.A. COMPARING CENTRALIZED AND DECENTRALIZED MULTI-AGENT APPROACHES TO AIR TRAFFIC CONTROL. Department of Informatics Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto / LIACC – Artificial Intelligence and Computer Science Laboratory e Department of Informatics Engineering, Faculty of Sciences and Technology, University of Coimbra / CISUC – Centre for Informatics and Systems, University of Coimbra, Portugal.
- [3] Álvaro Luiz Panarra das Neves Câmara (2013). Controlo de Tráfego Aéreo usando o Microsoft Flight Simulator X. Departamento de Engenharia Informática, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Coimbra, Portugal.
- [4] Marcos Vinícius Pinheiro Dib e Daniel Amaral Cardoso e Li Weigang (2005). Sistema para sincronização e gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo multi-agentes. Politec Informática e Universidade de Brasília, Brasil.
- [5] National Research Council Panel on Human Factors in Air Trac Control Automation, C. D. Wickens, A. S. Mavor, R. Parasuraman, and J. P. McGee, Eds., The Future of Air Trac Control: Human Factors and Automation. National Academy Press, 1998.
- [6] Odell, J., Parunak, H. V. D., Bauer, B. (2000). Extending UML for agents. Ann Arbor , 1001 , 48103.