

### 3 Moratus

Moratus é um protocolo distribuído que coordena a adaptação coletiva de serviços de transformação de mensagens em um grupo de dispositivos que estejam interagindo entre si. Na maior parte das aplicações móveis, a adaptação se faz necessária como uma forma de reação a uma mudança no contexto de execução do sistema. Assim, o início do processo adaptativo está sempre associado a uma percepção de uma variação das informações de contexto do dispositivo. Em um cenário de comunicação entre vários dispositivos, sempre que for detectada uma variação significativa do contexto de um dispositivo, o protocolo Moratus irá iniciar o processo de adaptação de serviços no grupo.

O protocolo estende o conceito de sensibilidade ao contexto, fazendo com que uma variação no contexto local (de um dispositivo) seja apenas o evento que iniciará a execução do processo adaptativo, mas que a decisão do tipo de adaptação a ser executada dependa de um consenso do contexto entre os membros do grupo. Tal consenso terá como base os contextos locais de cada dispositivo do grupo, e servirá para definir qual tipo de adaptação deve ser realizada. Portanto, Moratus é um protocolo para adaptação coordenada sensível ao contexto, onde esse contexto é global e é determinado através do consenso do grupo.

Após a conclusão da adaptação coordenada do serviço no grupo, todos os membros do grupo deverão ter o mesmo serviço de transformação de mensagens instalado e ativado. Isso permite que a aplicação possa continuar a interação entre os dispositivos usando módulos de transformação de mensagens (codificação/decodificação) mais apropriados ao novo contexto global do grupo. Isto é, antes de enviar uma mensagem para a rede ou recebê-la da rede, a aplicação usará, respectivamente, o módulo codificador e o módulo decodificador do serviço de transformação de mensagens, permitindo uma correta e otimizada comunicação em grupo usando os módulos idênticos de codificação/decodificação de mensagem.

Há três requisitos que foram estabelecidos para o Moratus. Um dos requisitos desse protocolo é que ele execute também em dispositivos móveis conectados através de redes sem fio, baseadas em IP. Em tal tipo de rede é natural que os dispositivos móveis possam eventualmente desconectar-se involuntariamente, devido à variação freqüente da qualidade do enlace sem fio, que por sua vez é dependente da intensidade do sinal de radiofreqüência (Rappaport, 2002). Portanto, pensando nesse problema relacionado às redes sem fio, o Moratus foi desenvolvido como um protocolo tolerante a desconexões involuntárias de dispositivos membros do grupo.

Outro problema apresentado nas redes sem fio, decorrente da variação freqüente da intensidade do sinal é a alta taxa de perda de pacotes de mensagens. Portanto, outro requisito do protocolo é garantir que a troca de mensagens entre os membros do grupo seja confiável, já que a coordenação da adaptação de serviços no grupo depende fundamentalmente do recebimento correto das mensagens de controle do protocolo por todos os membros. Dessa forma o Moratus utiliza um mecanismo de comunicação de grupo confiável.

Por fim, outro requisito do protocolo é que o processo de adaptação de serviços de transformação de mensagens seja transparente para as aplicações de comunicação de grupo que utilizam tais serviços. Portanto, o Moratus possui uma interface uniforme de acesso ao serviço de transformação de mensagens pela qual os módulos codificadores e decodificadores são atualizados pelo Moratus.

### **3.1.Etapas do Protocolo**

A adaptação coordenada de serviços de transformação de mensagens no grupo é dividida em duas etapas: *a eleição do contexto global* e *a adaptação de serviços de transformação de mensagens*.

A primeira etapa, descrita na seção 3.1.1 representa o período em que o grupo determina seu contexto global. A segunda etapa, descrita na seção 3.1.2 representa o período em que o grupo fará a adaptação coletiva de um serviço de transformação de mensagens que tipicamente contém operações para codificação e decodificação de mensagens. Nessa seção serão apresentadas em detalhe essas etapas.

### 3.1.1. Eleição do Contexto Global

Esta etapa do protocolo faz com que todos os membros do grupo determinem um contexto global único, entrando em consenso sobre ele. Como em todo protocolo de consenso, para que isso ocorra, é necessário que os participantes troquem seus contextos locais até que cada um deles obtenha os contextos de todos os demais membros do grupo. A Figura 1 apresenta o diagrama de casos de uso de todas as situações envolvidas nesse protocolo, que serão descritas ao longo dessa seção.

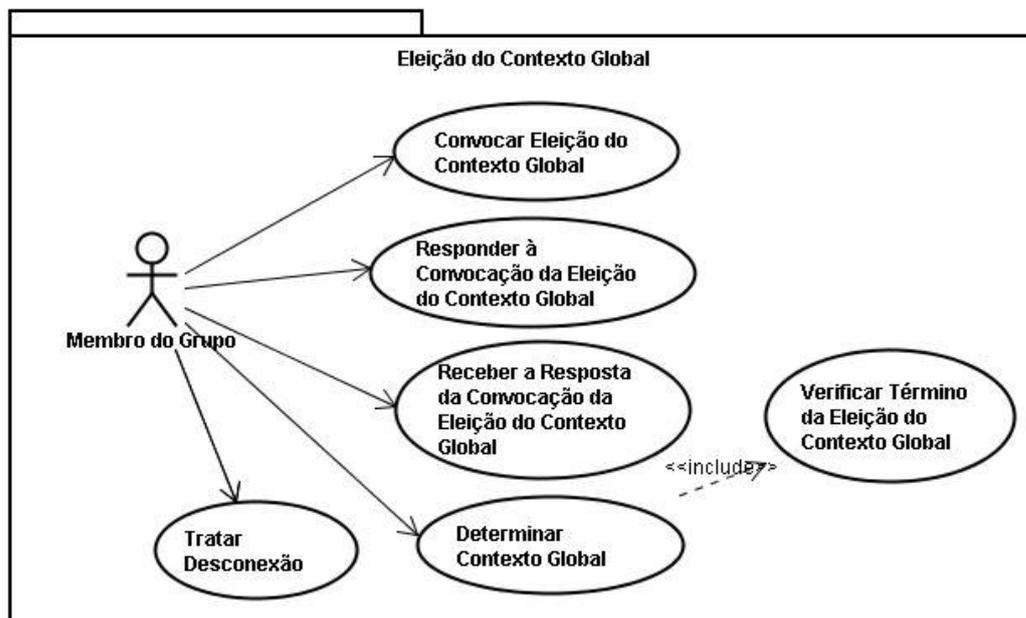


Figura 1 – Casos de uso da fase de eleição do contexto global.

Há duas situações em que o processo de adaptação de serviços é iniciado em um membro do grupo: quando é detectada uma variação significativa no contexto local de um dispositivo, ou quando um membro do grupo recebe uma mensagem de outro membro convocando-o para a eleição do contexto global.

No primeiro caso, quando é detectada uma variação, é iniciada imediatamente uma eleição do contexto global, conforme apresentado no caso de uso *Convocar Eleição do Contexto Global* (Figura 1). Nesse momento, um membro do grupo difunde uma mensagem de convocação do contexto global para o grupo, contendo o contexto local do dispositivo, e notificando-os que uma eleição foi iniciada.

No segundo caso, assim que receber uma mensagem de convocação da eleição do contexto global, o membro do grupo, responderá para o grupo com o próprio contexto local, conforme apresentado no caso de uso *Responder à Convocação da Eleição do Contexto Global* (Figura 1).

Após ter convocado uma eleição do contexto global, ou respondido a uma convocação, um membro do grupo irá apenas receber as respostas da convocação da eleição (caso de uso *Receber a Resposta à Convocação da Eleição do Contexto Global*, que será descrito no capítulo 4) dos demais membros. Dessa forma, ele irá aguardar até adquirir os contextos locais de todos os membros do grupo.

Sempre que um membro do grupo receber uma mensagem com o contexto local de outro membro (mensagem de convocação da eleição ou resposta da convocação da eleição), ele deverá verificar se todos os dispositivos que pertencem ao grupo já enviaram seus contextos para que possa identificar o término da troca de contextos entre o grupo (caso de uso *Verificar Término da Eleição do Contexto Global*, que será descrito no capítulo 4). Caso isso tenha ocorrido, cada membro do grupo utilizará todos os contextos recebidos para determinar localmente qual é o contexto global do grupo.

Como os membros do grupo são dispositivos móveis, alguns deles podem desconectar-se involuntariamente, devido a alguns fatores, tais como a atenuação do sinal da rede sem fio ou o esgotamento de sua fonte de energia. Caso algum tipo de desconexão de um dispositivo ocorra durante a etapa de eleição do contexto global, pode surgir o problema da *espera indefinida*, onde o grupo espera pelo contexto de um dispositivo que está desconectado, dado que qualquer consenso tipicamente requer a contribuição de cada participante. Portanto, assim que se detecta que um membro se desconectou, a camada de comunicação e gerenciamento de grupo atualiza a visão do grupo e o Moratus solicita que seja verificado novamente o término da eleição do contexto global (caso de uso *Tratar Desconexão*, Figura 1). Como o dispositivo que foi desconectado foi removido da visão do grupo, o grupo constatará o término da troca de contextos para os membros conectados na próxima verificação.

Como mencionado, a etapa de eleição do contexto global consegue tratar a desconexão de um dispositivo antes de enviar seu contexto. Porém, quando a situação contrária acontece, ou seja, quando o dispositivo envia seu contexto e se desconecta, esta etapa do protocolo irá considerar o contexto do dispositivo que já

se desconectou na determinação do contexto global. Apesar deste funcionamento não ser apropriado para algumas aplicações (por levar em conta o contexto de um membro que não faz mais parte do grupo), ele garante a terminação da etapa de eleição do contexto global.

Por exemplo, considere a situação onde dois membros de um grupo  $m1$  e  $m2$  participam da eleição do contexto global. Considere que  $m1$  foi o responsável por convocar a eleição do contexto global, enviando seu contexto para os demais membros do grupo, nesse caso apenas  $m2$ . Em seguida  $m1$  sofre uma desconexão. No momento em que  $m2$  receber o contexto de  $m1$ ,  $m2$  irá terminar a eleição e determinar localmente o contexto global do grupo. Porém, a transmissão do contexto de  $m1$  e o processamento de  $m2$  podem ter sido tão rápidos de modo que  $m2$  não tenha recebido a visão atualizada do grupo. Portanto, nesse caso,  $m2$  considerará o contexto de  $m1$  na determinação do contexto global.

Finalmente, de posse dos contextos locais de todos os membros do grupo, a próxima ação é definida pelo caso de uso *Determinar Contexto Global* (Figura 1), no qual um membro do grupo utilizará todos os contextos locais para decidir localmente o contexto global do grupo. Como todos os membros do grupo executarão o mesmo algoritmo com a mesma entrada, o resultado será o mesmo para todos os membros, e, portanto, o contexto global será único no grupo.

### 3.1.2. Adaptação de Serviços de Transformação de Mensagens

Na etapa de adaptação de serviços de transformação de mensagens ocorre a instalação e ativação de um serviço de transformação de mensagens em cada um dos membros do grupo.

Esta etapa foi subdividida em quatro fases para permitir a adaptação de um serviço de forma transparente<sup>1</sup> para a aplicação usuária do Moratus. Tais fases são as seguintes (executadas na ordem abaixo):

1. *Instalação do Serviço*. Essa é a fase em que os membros do grupo irão obter o serviço de processamento de mensagens remotamente.

---

<sup>1</sup> A transparência da adaptação de serviços no Moratus não considera a transferência de estado entre serviços, como é feito, por exemplo, no NeCoMan (Janssens, 2004). Mais informações sobre o NecoMan podem ser obtidas no Capítulo 6.

2. *Ativação do Novo Decodificador.* Nessa fase, o novo módulo decodificador do novo serviço será carregado. Nesse momento os dois módulos decodificadores, o antigo e o novo, estarão simultaneamente ativos. Dessa forma, durante um certo período de tempo a aplicação usuária do Moratus estará apta a decodificar mensagens de dois tipos diferentes.
3. *Ativação do Novo Codificador.* Nessa fase, o novo módulo de codificação será ativado em substituição ao antigo.
4. *Desativação do Antigo Decodificador.* Nessa fase, o antigo módulo decodificador será removido.

No início da etapa de adaptação de serviços de transformação, antes da instalação do serviço propriamente dita, todos os membros do grupo devem decidir quais deles assumirá o papel de coordenador para a adaptação coordenada. Tal papel é importante durante o processo de adaptação de serviços, pois o coordenador irá garantir que todos os membros do grupo mantenham-se sincronizados na passagem de uma fase para a próxima. No Moratus, convencionou-se que o coordenador será o primeiro membro do grupo.

Após cumprir cada fase, cada membro do grupo deve enviar uma mensagem para o coordenador, notificando-o da conclusão (com sucesso) da execução da fase. Após receber todas as confirmações de conclusão de fase de todos os membros do grupo, o coordenador solicitará aos membros que iniciem a próxima fase, ou no caso da fase 4 determinar que a adaptação terminou.

A etapa de adaptação de serviços de transformação de mensagens também está preparada para tratar desconexões, assim como a etapa de eleição do contexto global. O mecanismo para tratar dispositivos desconectados é exatamente o mesmo do que foi descrito na seção 3.1.1, ou seja, o membro do grupo é removido da visão do grupo e desta forma evita-se a espera indefinida por parte do coordenador. A única diferença é que nessa etapa o protocolo deve saber tratar a desconexão de um dispositivo que tenha assumido o papel de coordenador. Nesse caso, o procedimento que o protocolo assume é recomençar a etapa de adaptação com a visão do grupo atualizada.

### 3.2. Serviço de Adaptação Coordenada de Serviços de Transformação de Mensagens

O serviço distribuído de *middleware*, denominado *Serviço de Adaptação Coordenada de Serviços de Transformação de Mensagens* (SACS) implementa o protocolo Moratus. Tal serviço de *middleware* permite que as aplicações que sigam o paradigma de comunicação de grupo o utilizem para modificarem a forma como elas se comunicam com o grupo, utilizando os serviços de transformação de mensagens, conforme apresentado na Figura 2. Essas aplicações serão referenciadas no restante deste texto como *aplicações usuárias do SACS*.

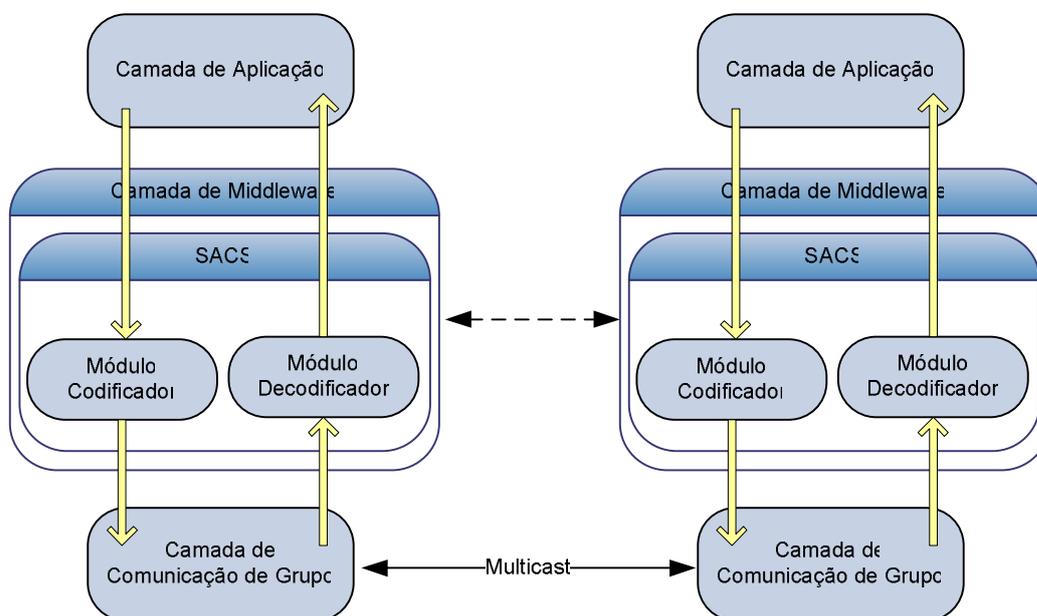


Figura 2 – Utilização do Serviço de *Middleware* SACS.

Como o protocolo Moratus é responsável por coordenar a adaptação coletiva dos serviços no grupo, todas as aplicações usuárias do SACS presentes nos membros do grupo conseguirão se comunicar usando o mesmo serviço de transformação de mensagens acordado pelo grupo. Além disso, como o Moratus executa a adaptação de serviços de forma transparente, nenhuma das aplicações usuárias do SACS perceberá que há um processo adaptativo sendo executado para substituir o serviço de transformação de mensagens que elas estejam usando. A execução da adaptação de serviços de forma transparente é garantida por uma interface uniforme para uso dos módulos codificadores e decodificadores do

serviço de transformação de mensagens, bem como pela forma gradual que os módulos são trocados na etapa de adaptação (conforme seção 3.1.2).

Como a adaptação dinâmica e transparente de software é uma característica importante de *middlewares* que se baseiam em comunicação de grupo, o SACS foi desenvolvido como um serviço de middleware para que seja incorporado em outros *middlewares* desse tipo.

### 3.2.1.Arquitetura

Essa seção irá apresentar a arquitetura completa do SACS, conforme ilustrado na Figura 3. Inicialmente, serão descritas cada uma das componentes presentes nos dispositivos móveis e em seguida será apresentado o Serviço de Provisão de Serviços (SPS).

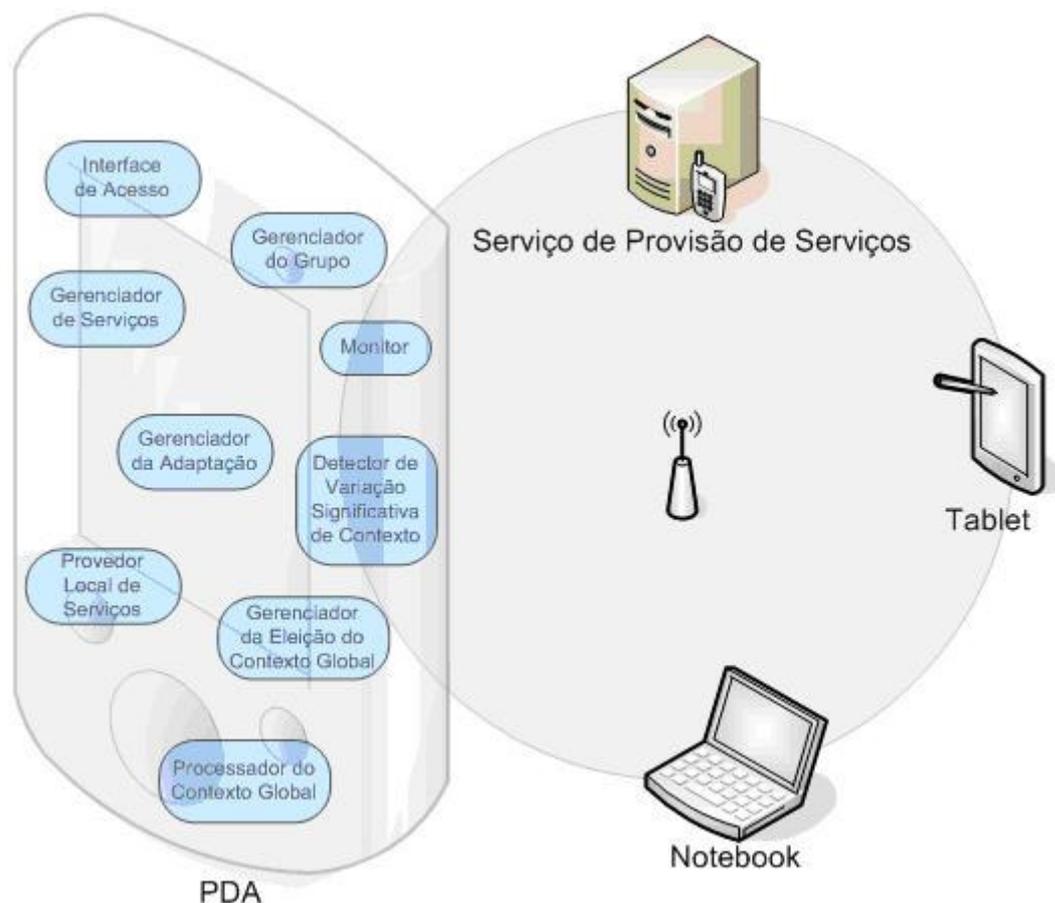


Figura 3 – Arquitetura do Serviço de Adaptação Coordenada de Serviços de Transformação de Mensagens (SACS).

O *Gerenciador da Adaptação* é a componente central do SACS. Ela é responsável por gerenciar localmente as mudanças de etapa do protocolo e interpretar as mensagens recebidas do grupo para então encaminhá-las para a componente responsável pela etapa correspondente na qual o grupo se encontra.

O *Gerenciador do Grupo* é a componente responsável pela comunicação entre os membros do grupo. Como o protocolo usa um serviço de pertinência a grupos e um de comunicação de grupo confiável, essa componente age apenas como um encapsulador de tais serviços. O Gerenciador do Grupo é responsável por: gerenciar a entrada e a saída de membros ao grupo; manter atualizada a visão do grupo; notificar desconexões de dispositivos do grupo; e permitir a troca confiável de mensagens entre os membros do grupo.

O *Monitor* é a componente responsável por obter periodicamente os dados de contexto de sistema associados ao dispositivo. Assim, essa componente estará sempre atualizada em relação ao contexto do dispositivo. No escopo deste trabalho, o Monitor irá coletar apenas a intensidade do sinal da rede sem fio do dispositivo (RSSI), mas em princípio, qualquer outro contexto do dispositivo (por exemplo, energia residual), poderia ser usado como base para uma adaptação coordenada.

O *Detector da Variação Significativa de Contexto (DVSC)* é a componente responsável por implementar a condição que define o quanto de variação de uma informação de contexto deve ser considerada significativa para uma adaptação. Frequentemente, o Monitor invoca essa componente para que ela verifique se houve alguma variação significativa, de acordo com a regra que ela implementa. Caso ocorra tal variação, essa entidade iniciará o processo adaptativo no grupo.

Por exemplo, no protótipo deste trabalho o DVSC foi implementado de forma a definir intervalos de valores de RSSI, como os apresentados nos dois intervalos de valores de RSSI, apresentados na Tabela 1.

Identificação do Intervalo	Faixa de Valores do Intervalo	Serviço de Transformação de Mensagens Adequado à faixa de Valores
Intervalo A	0dB à -50dB	Serviço A
Intervalo B	-51dB à -100dB	Serviço B

Tabela 1 – Definição dos intervalos da variação da intensidade do sinal.

É importante que os intervalos de valores de uma variável de contexto (no caso do RSSI) sejam disjuntos, para evitar inconsistência sobre o serviço de transformação de mensagens que será instalado no grupo. Se dois serviços de transformação de mensagens estiverem associados a um mesmo valor medido, os membros do grupo poderiam instalar qualquer um dos dois serviços, o que poderia comprometer a comunicação entre os membros do grupo.

Também é aconselhável que todo o espectro de valores possíveis de RSSI esteja associado a serviços de transformação de mensagens. Um intervalo de valores que não esteja associado a um serviço pode fazer com que não seja executada uma adaptação de serviços que seria necessária para otimizar a comunicação entre os membros do grupo.

Se o DVSC identificar que valores sucessivos do RSSI, coletados pelo Monitor, estão dentro do mesmo intervalo, isto indica que não ocorreu uma variação significativa no valor da RSSI. No entanto, caso as próximas medidas indiquem uma certa estabilização em um novo intervalo, essa componente inicia o processo adaptativo no grupo<sup>2</sup>.

Além do seu papel de iniciador de adaptações, essa entidade ainda possui uma outra função importante, que é a de associar a cada intervalo de valores da variável de contexto a um serviço de transformação de mensagens (Tabela 1). Dessa forma, quando for determinado o contexto global do grupo (por exemplo, uma média de todos os valores de RSSI do grupo), esta componente será consultada para fornecer o identificador do serviço associado a esse contexto global, permitindo, assim, que todos os membros do grupo instalem o novo serviço de transformação de mensagens.

O *Gerenciador da Eleição do Contexto Global* é a componente responsável por implementar o protocolo que fará com que cada membro do grupo obtenha todos os contextos locais dos demais membros, pois somente com esses dados o contexto global poderá ser determinado. Mais detalhes acerca do funcionamento desta etapa pode ser obtido na seção 3.1.1.

O *Processador do Contexto Global* é a componente responsável por definir como o contexto global do grupo será computado a partir dos contextos locais

---

<sup>2</sup> A indicação da estabilização do valor do RSSI em um intervalo é considerado um trabalho complexo e foge o escopo desta dissertação.

obtidos de todos os membros do grupo. Essa componente foi definida separadamente do Gerenciador da Eleição do Contexto Global para permitir que diferentes funções para determinação do contexto global fossem facilmente incorporadas no Moratus sem a necessidade de modificação do restante do protocolo. No escopo de implementação do protótipo, optou-se por definir o contexto global como sendo o menor valor da variável de contexto RSSI de todos os membros do grupo.

O *Gerenciador de Serviços* é a componente responsável por coordenar no grupo o processo de adaptação dos serviços de transformação de mensagens. Após a determinação do contexto global na etapa anterior, essa componente obtém o objeto Java que representa o serviço de transformação de mensagens associado a esse contexto, e em seguida todos os membros do grupo executam juntos o processo de adaptação de serviços de forma coordenada.

O *Provedor Local de Serviços* é a componente que se comunica com o Serviço de Provisão de Serviços. Essa componente é responsável pelas seguintes tarefas: obter junto ao SPS o identificador do serviço de transformação de mensagens em uso no grupo em questão; obter o objeto java que representa um novo serviço que está no repositório do SPS; atualizar junto ao SPS o registro do serviço que será usado pelo grupo; e bloquear e desbloquear o SPS no início e no final de um processo adaptativo. O bloqueio do SPS é necessário para evitar que algum novo membro do grupo que esteja se conectando durante o processo adaptativo obtenha um serviço que está prestes a ser modificado.

A componente *Interface de Acesso* é o ponto de acesso entre o SACS e as aplicações que o utilizam. Sua função é permitir que a aplicação usuária do SACS utilize o serviço de transformação de mensagens que está sendo utilizado pelo grupo no momento. Isso é feito através das APIs padronizadas codificar e decodificar da Interface de Acesso, que utilizam respectivamente o módulo codificador e decodificador de um serviço de transformação de mensagens. A troca destes módulos é feita transparentemente pelo Gerenciador de Serviços.

### **3.2.2. Serviços de Apoio ao Moratus**

O SACS depende de um outro serviço de apoio denominado *Serviço de Provisão de Serviços* (SPS). Este serviço é responsável por disponibilizar uma

biblioteca de serviços de transformação de mensagens para instalação remota pelos membros de um grupo.

A instalação de serviços é o único momento em que o SACS muda do modelo de comunicação de grupo para o modelo cliente/servidor.

Uma funcionalidade importante do SPS é a de estar sempre atualizado em relação ao serviço de transformação de mensagens atualmente sendo usado por um grupo para permitir que novos membros do grupo instalem sempre o serviço de transformação corrente do grupo. Assim, a primeira ação de um membro que acabou de se conectar ao grupo é obter do SPS o serviço de transformação de mensagens, para que a aplicação usuária do SACS, presente nesse membro, já inicie corretamente a comunicação com as demais instâncias de aplicação usuárias do SACS executando nos demais membros do grupo.

Outra funcionalidade importante do SPS é impedir o envio de serviços de transformação de mensagens durante o processo adaptativo para membros que acabaram de se conectar ao grupo. Assim, evita-se a situação em que um membro do grupo, que acabou de se conectar ao grupo, obtenha o serviço de transformação de mensagens do grupo, que está prestes a ser substituído. Portanto, o SPS é bloqueado assim que o processo adaptativo é iniciado (convocação da eleição do contexto global) e desbloqueado quando o processo adaptativo é finalizado (finalização da adaptação de serviços).

O SPS é inicializado com um serviço de transformação de mensagens padrão que simplesmente repassa as mensagens originais e não executa nenhum método de codificação ou decodificação sobre as mesmas. A inicialização com esse serviço padrão é uma forma de garantir que ao se conectar a um grupo que ainda não executou nenhum processo adaptativo, um membro obtenha esse serviço padrão para iniciar sua comunicação com os demais membros.