Grades Computacionais: Uma Introdução Prática

Raphael Y. de Camargo
Ricardo Andrade

Departamento de Ciência da Computação
Instituto de Matemática e Estatística
Universidade de São Paulo, Brasil

São Paulo, 23 de novembro de 2007

Resumo

I. Grades Computacionais
   1. Conceito
   2. Tipos de grades computacionais
   3. Exemplos de sistemas de grade

II. InteGrade
   1. Motivação e características
   2. Arquitetura
   3. Execução de aplicações no InteGrade
   4. Tolerância a falhas

PARTE I

Grades Computationais

Computação de Alto-Desempenho

- Aplicações paralelas
  - Seqüenciamento de genes (genoma)
  - Mineração de dados (mercado financeiro)
  - Enovelamento de proteínas (ind. farmacêutica)
  - Análise de sinais (SETI)
  - Previsão do tempo (INPE/CPTEC)
- Alto poder computacional
- Grandes quantidades de dados

Computação de Alto-Desempenho

- Computação de alto-desempenho
  - Abordagens Tradicionais:
    - Supercomputadores
      - Custam milhões de dólares
      - Alto custo de manutenção
    - *Clusters* dedicados (Beowulf)
      - Computadores pessoais e redes TCP/IP
      - Baixo preço de aquisição e manutenção
      - Alta disponibilidade

Grades Computacionais

- Grades computacionais
  - Infra-estrutura de software que permitem a *interligação* e *compartilhamento* de recursos computacionais.
  - Estes recursos normalmente são:
    - Altamente heterogêneos
      - Servidores de dados
      - *Clusters* de computadores pessoais
      - Supercomputadores
    - Geograficamente dispersos
    - Pertencentes a diferentes instituições

Grades Computacionais

- Infra-estrutura computacional sofisticada
- Principais sistemas de grades para *e-science*
  - Supercomputadores, aglomerados de computadores
    - Recursos dedicados à grade
  - Sistemas de armazenamentos de dados
    - Armazenamento de Terabytes e Petabytes
  - Redes de comunicação de alta-velocidade
    - Largura de banda de vários Gbps

Grades Computacionais

Computação de alto-desempenho	Grades computacionais
▪ Recursos dedicados	▪ Recursos compartilhados
▪ Configuração estática	▪ Configuração dinâmica
▪ Gerenciamento central	▪ Gerenciamento distribuído
▪ Ambiente controlado	▪ Ambiente não controlado
▪ Máquinas homogêneas	▪ Máquinas heterogêneas

Grades Computacionais

Computação de alto-desempenho	Grades computacionais
▪ Dezenas ou centenas de máquinas ▪ Máquinas localizadas no mesmo espaço físico ▪ Falhas pouco freqüentes	▪ Dezenas de milhares de máquinas ▪ Máquinas geograficamente distribuídas ▪ Falhas constantes

Principais Desafios

- Segurança
  - Para os donos dos recursos
  - Para os usuários da grade
- Tolerância a Falhas
  - Para os componentes da grade
  - Para as aplicações em execução na grade
- Escalonamento
  - Determinar onde uma aplicação deve executar

Grades Computacionais

- Gerenciamento de recursos
  - Busca de recursos computacionais
  - Entrada e saída de recursos computacionais
- Gerenciamento de dados
  - Determinar onde dados devem ser armazenados
  - Busca por dados armazenados
  - Disponibilidade e desempenho
- outros desafios

Grades de Dados

- Grades onde a ênfase é no gerenciamento e distribuição de dados
  - Física de Altas Energia
    - Dados gerados em um acelerador de partículas são utilizados por pesquisadores do mundo todo
  - Precisam gerenciar Petabytes de dados
    - Armazenamento e transmissão dos dados
    - Tolerância a falhas (Replicação)
    - Serviços de busca e diretórios de dados

Globus

- O middleware de grade mais conhecido atualmente
  - Pode ser baixado gratuitamento (Versão 4.0.5)
  - Padrão OGSA (Open Grid Services Architecture)
- Utiliza o conceito de *Grid Services*
  - Comunicação baseada em Web Services
    - Baixo acoplamento entre os recursos
    - Desempenho ruim
  - Adiciona funcionalidades a Web Services
    - Descoberta de serviços
    - Serviços nomeados
    - Serviços com estado

Globus

- É composto por um conjunto de serviços
  - Segurança
    - Baseado em GSS + Kerberos
  - GridFTP
    - Transferência eficiente de dados
  - Armazenamento e gerenciamento de réplicas
    - Tolerância a falhas e maior desempenho
  - Monitoramento e descoberta de recursos
  - Escalonamento
    - Provê apenas a interface para o escalonador

Consórcios

- Worldwide LHC Grid (Europa)
  - Criado para permitir a análise de aproximadamente 15 Petabytes de dados que serão gerados no LHC
  - Muitos dados para serem armazenados e analisados por uma única instituição
  - Criar e manter uma infraestrutura de armazenamento e análise dos dados gerados pelo LHC
  - Motivação para uso de Grades:
    - Melhor aproveitamento de recursos
    - Menos pontos únicos de falhas
  - http://lcg.web.cern.ch/LCG/

Consórcios

- Open Science Grid (EUA)
  - Consórcio de provedores de software, serviços e recursos computacionais
  - Prover um sistema distribuído para processamento e armazenamento de dados
  - Interligado ao Worldwide LHC Grid
  - http://www.opensciencegrid.org/
- HEPGrid (Brasil)
  - Permitirá a instituições brasileiras ter acesso a dados do LHC e do Open Science Grid
  - http://www.hepgrid.uerj.br/

Grades Oportunistas

- Foco na utilização ciclos computacionais ociosos estações de trabalho compartilhadas
  - Máquinas de laboratórios, professores, etc.
  - Deve manter a Qualidade de Serviço dos donos das máquinas compartilhadas
  - Máquina passa do estado ocioso para utilizada
    - Aplicações da grade devem ser migradas para outras máquinas

Grades Oportunistas

- Vantagens
  - ✔ Baixo custo: utiliza hardware já existente
  - ✔ Economia de recursos naturais
    - ✔ Eletricidade, refrigeração, espaço físico.
- Desvantagens
  - ✗ Gerenciamento de recursos é mais complicado
  - ✗ Menor desempenho: Utiliza apenas períodos ociosos das máquinas

Grades Oportunistas: Desafios

- Segurança
  - Donos de recursos compartilhados
  - Usuários da grade
- Gerenciamento de recursos
  - Escalonamento de aplicações
- Qualidade de serviço
  - Máquinas compartilhadas

Grades Oportunistas: Desafios

- Tolerância a falhas
  - Componentes da grade
  - *Execução robusta de aplicações paralelas*
- Dados de usuários e aplicações
  - Gerenciamento de repositórios de dados
  - Gerenciamento dos dados armazenados

Exemplo: SETI@HOME

- Sistema de computação distribuída
  - Análise de sinais de rádio-telescópios
  - Objetivo é por procurar por padrões não-naturais nos sinais obtidos
- Quebra o problema em blocos independentes
  - Não existe comunicação entre os nós
- Distribui grupos de blocos a cada computador
  - Computador realiza análise dos dados contidos nos blocos recebidos
  - Dados são enviados de volta a um servidor central

Exemplo: SETI@HOME

- Ótimo exemplo do poder computacional
  - Desempenho total até Janeiro de 2006
    - 7.745.000.000.000 Gflops
    - Mais de 5 milhões de usuários
  - Core 2 Duo (2.16GHz): ~ 3 Gflop/s
    - 259.200 Gflops por dia
  - Computador mais rápido do mundo:
    - Blue Gene/L (212.992 processadores)
    - 478.200 Gflops/s
    - 187 dias no Blue Gene/L ↔ Seti@Home

Exemplo: Folding@home

- Folding@home
  - Sistema para realizar simulações computacionais do enovelamento de proteínas
  - Aplicações: cura de doenças, como o câncer, Alzheimer, Parkinson, etc.
  - Possui versão que pode ser executada em Playstation 3.

Exemplo: Condor

- Grade oportunista
  - Desenvolvido na University of Wisconsin-Madison
  - Permite utilizar ciclos ociosos de estações de trabalho compartilhadas
- Condor pools: grupos de computadores
  - Condor pools podem ser conectados entre si
- Suporte a aplicações seqüencias, bag-of-tasks e paralelas MPI

Exemplo: Condor

- Computadores fazem anúncios dos recursos disponibilizados
  - Estes recursos são então monitorados pelo Condor
- Aplicação é submetida para execução
  - *Match-maker* repassa a execução a máquinas que possuam os recursos necessários para executar a aplicação
- Caso uma máquina seja requisitada pelo dono
  - Aplicação é migrada para outro nó
  - Aplicações paralelas rodam em nós dedicados

Exemplo: OurGrid

- Grade oportunista do tipo peer-to-peer
  - Desenvolvida na UFCG
  - Parceria com a HP Labs
- Suporte a aplicações paralelas onde os processos não se comunicam
  - *Bag-of-tasks*
- Mecanismo para estimular a doação de recursos
  - Rede de favores

Exemplo: OurGrid

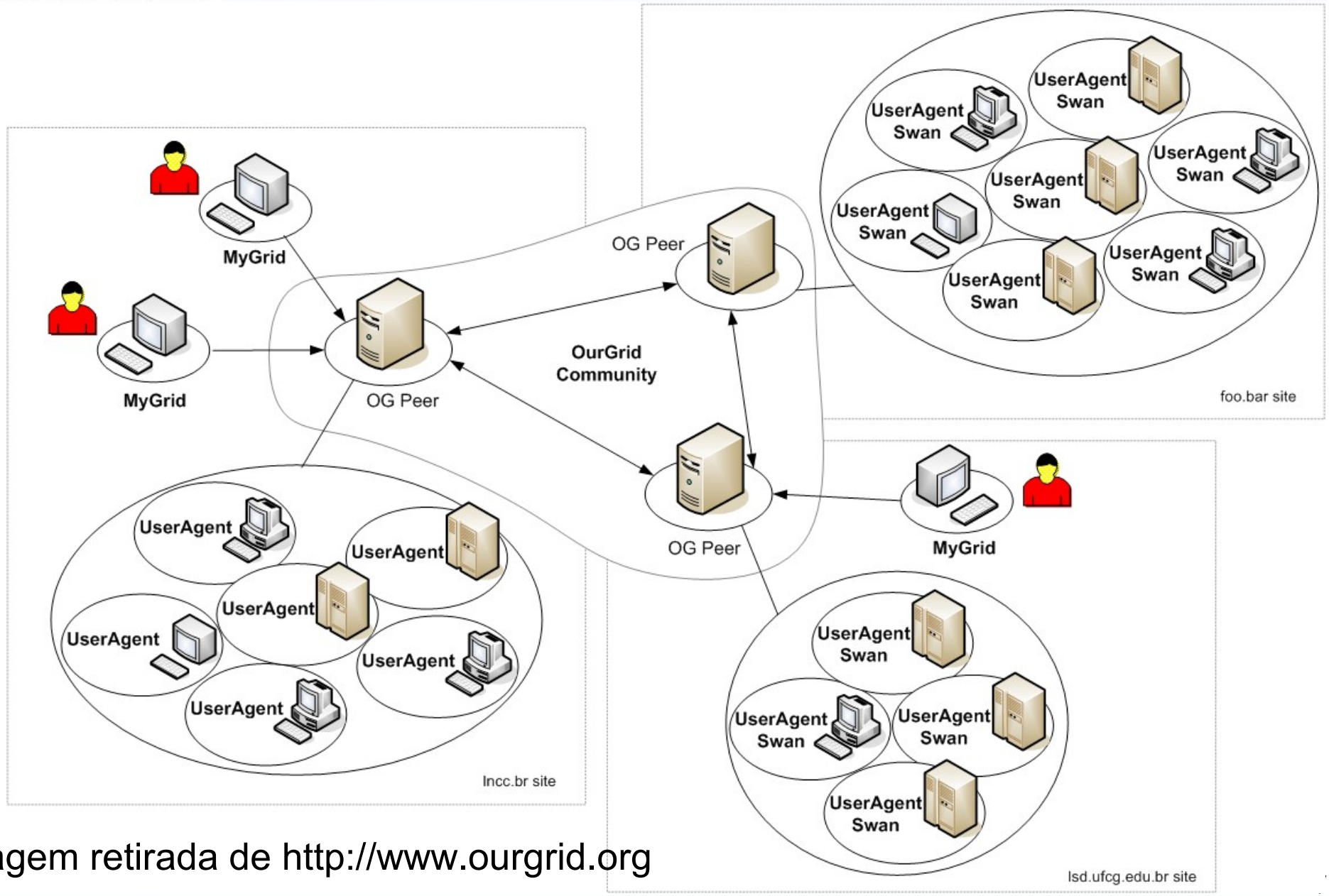


Imagem retirada de http://www.ourgrid.org

PARTE II

InteGrade

Infra-estrutura de software para Grades Oportunistas

InteGrade

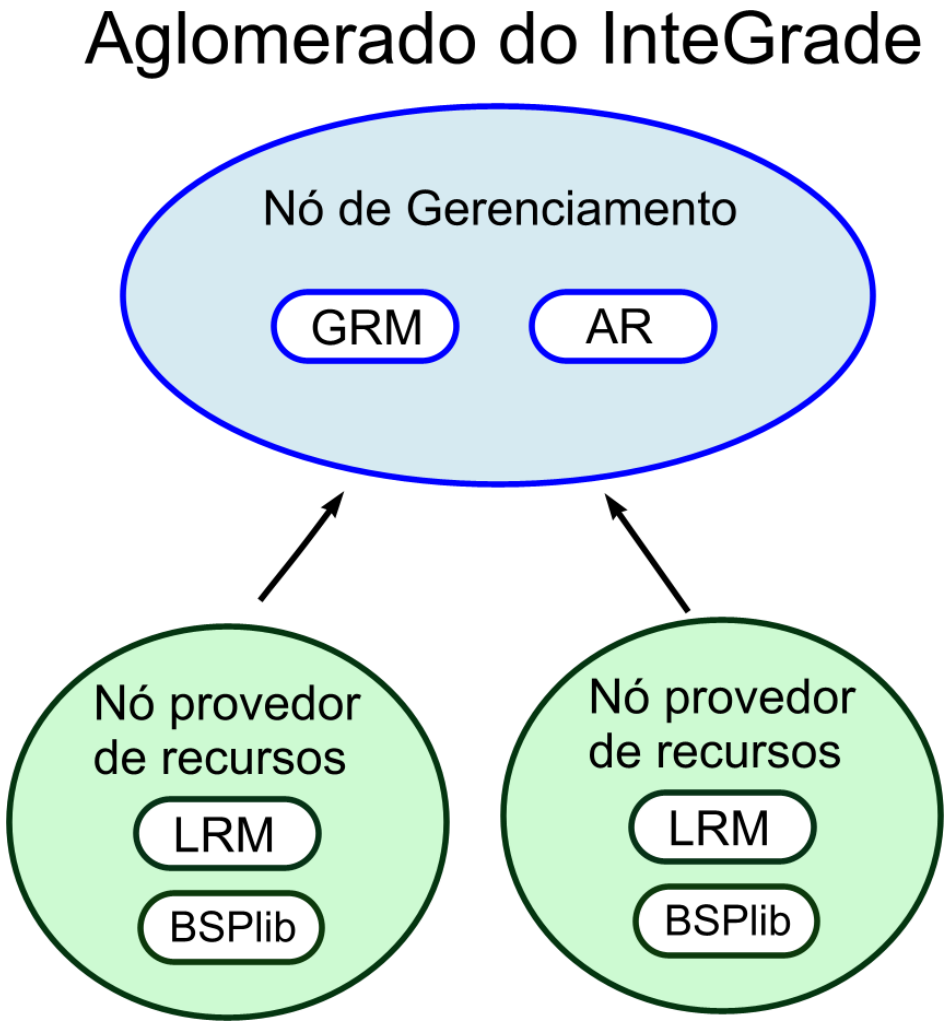
- Motivação
  - Desenvolver um middleware que permita utilizar recursos ociosos de máquinas compartilhadas
  - Objetivo é realizar a execução de aplicações paralelas computacionalmente intensivas
  - Armazenamento de dados de aplicações no espaço livre em disco das máquinas compartilhadas
- Importante para instituições com recursos financeiros escassos

InteGrade: Características

- Foco na utilização de computadores pessoais
- Suporte a aplicações seqüenciais e paralelas
  - Bag-of-tasks, BSP e MPI
- Portal web para submissão de aplicações
- Em desenvolvimento:
  - Armazenamento distribuído de dados
  - Preservação da Qualidade de Serviço dos donos de máquinas compartilhadas
  - Segurança baseada em redes de confiança

InteGrade: Arquitetura

- Arquitetura orientada-a-objetos baseada em CORBA
  - Java, C++ e Lua
- Aglomerados compostos por grupos de máquinas



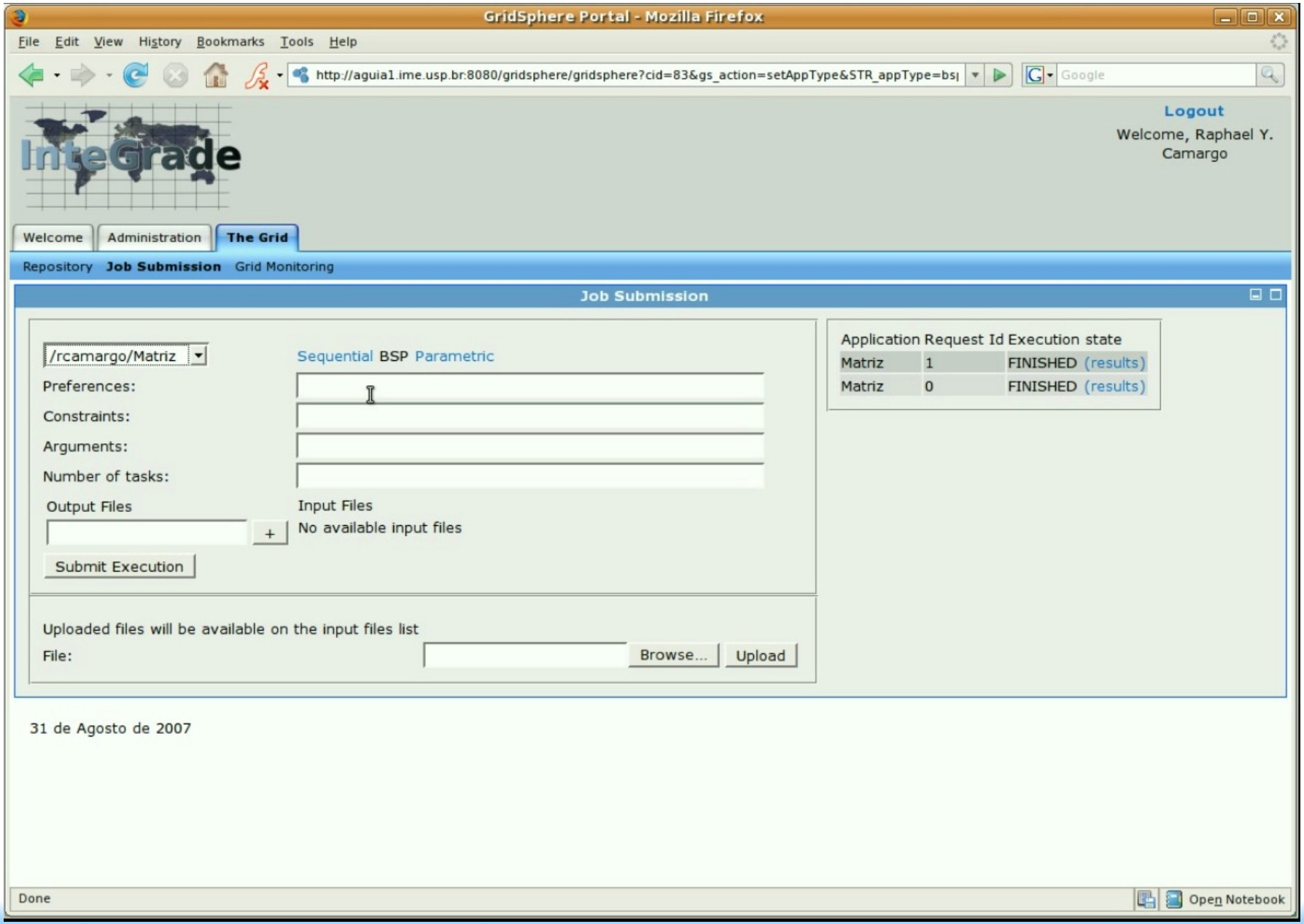
Principais componentes

- Global Resource Manager (GRM)
  - Gerencia os recursos de um aglomerado
  - Seleciona em quais máquinas cada aplicação submetida será executada
- Local Resource Manager (LRM)
  - Gerencia uma máquina provedora de recursos
  - Inicia a execução de aplicações na máquina
- Application Repository (AR)
  - Armazena os binários das aplicações dos usuários

Principais componentes

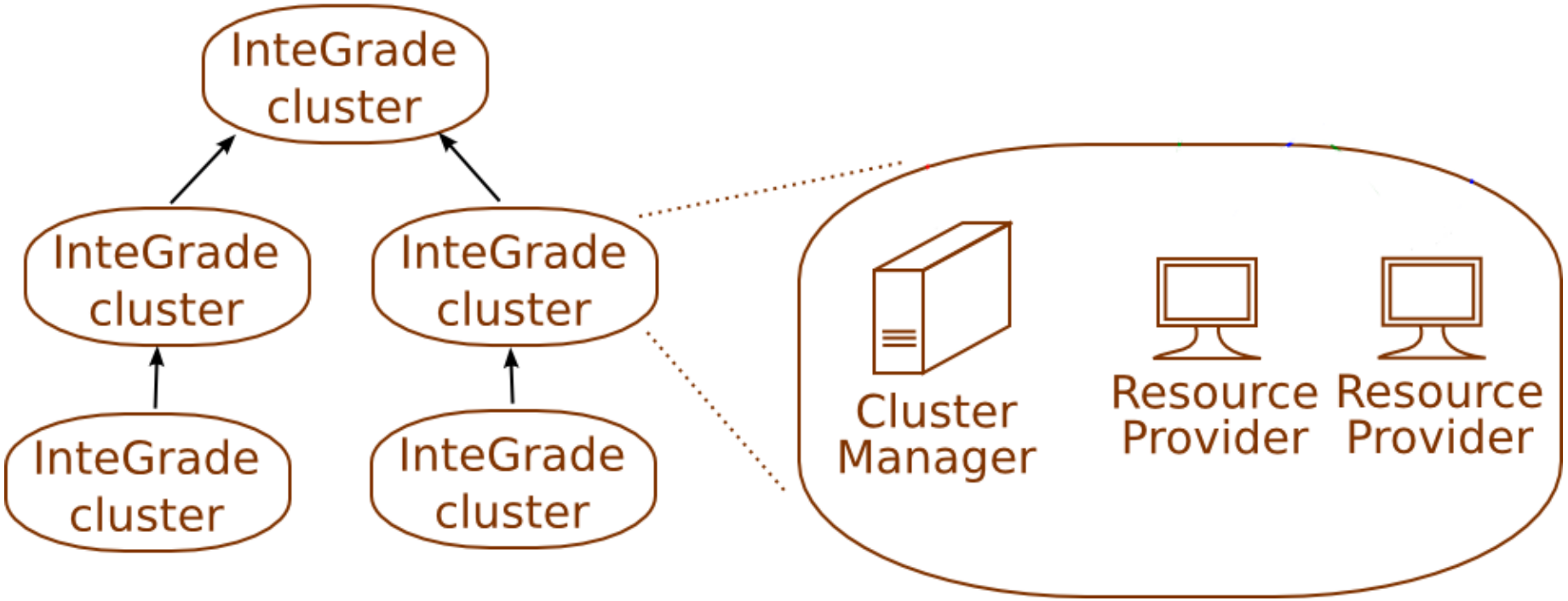
- Application Submission and Control Tool (ASCT)
  - Permite a submissão de aplicações e a obtenção e visualização de resultados
- Portal Web
  - Versão web da ferramenta ASCT
- Local Usage Pattern Analyser (LUPA)
  - Analisa o padrão de uso das máquinas da grade
  - Permite ao escalonador realizar melhores escolhas no momento de definir máquinas que executarão uma aplicação

Portal InteGrade

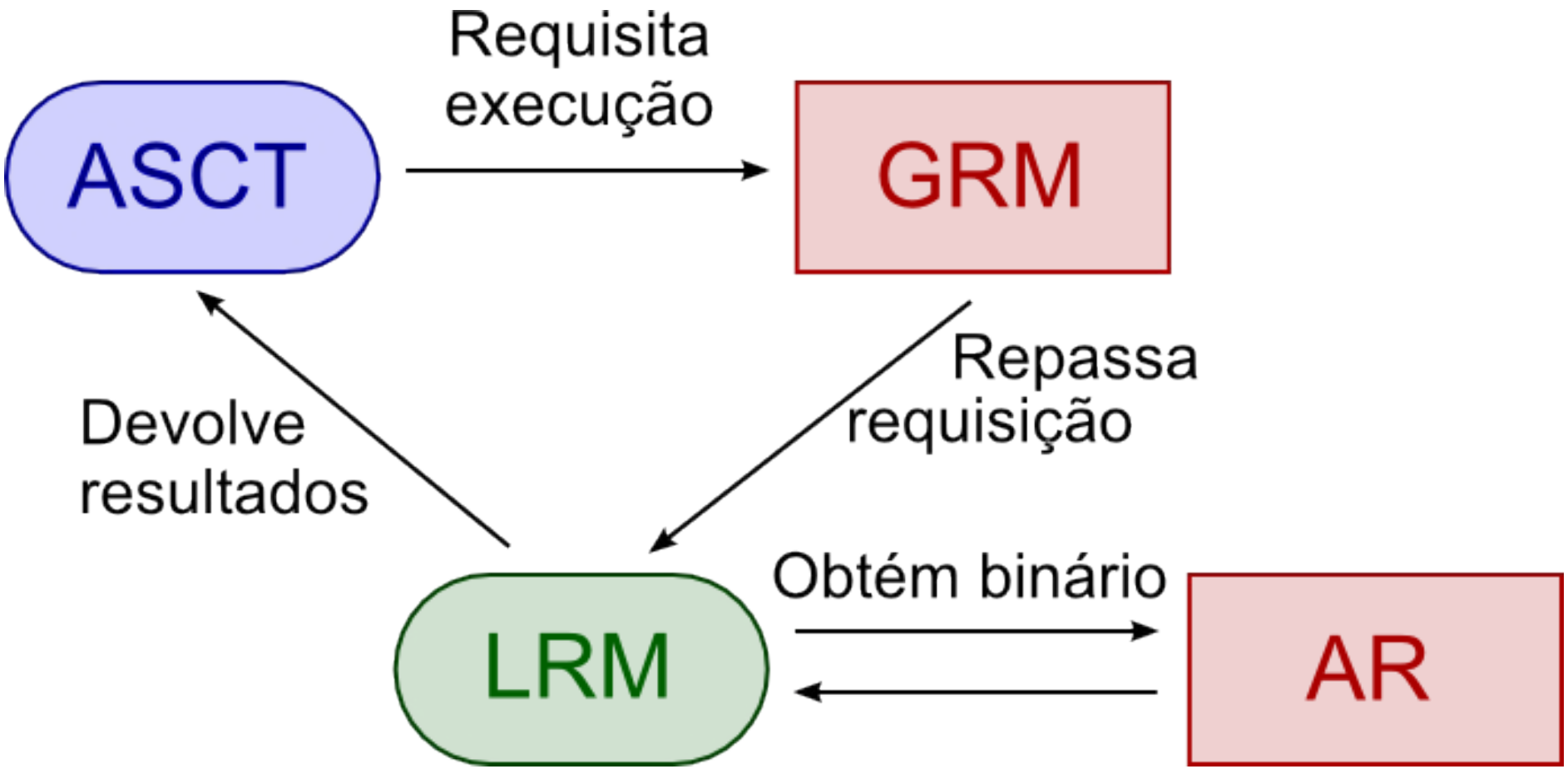


Federação de Aglomerados

- Federação de aglomerados
  - Aglomerados conectados em estrutura hierárquica
- Aglomerados possuem informações aproximadas sobre recursos disponíveis em aglomerados filhos



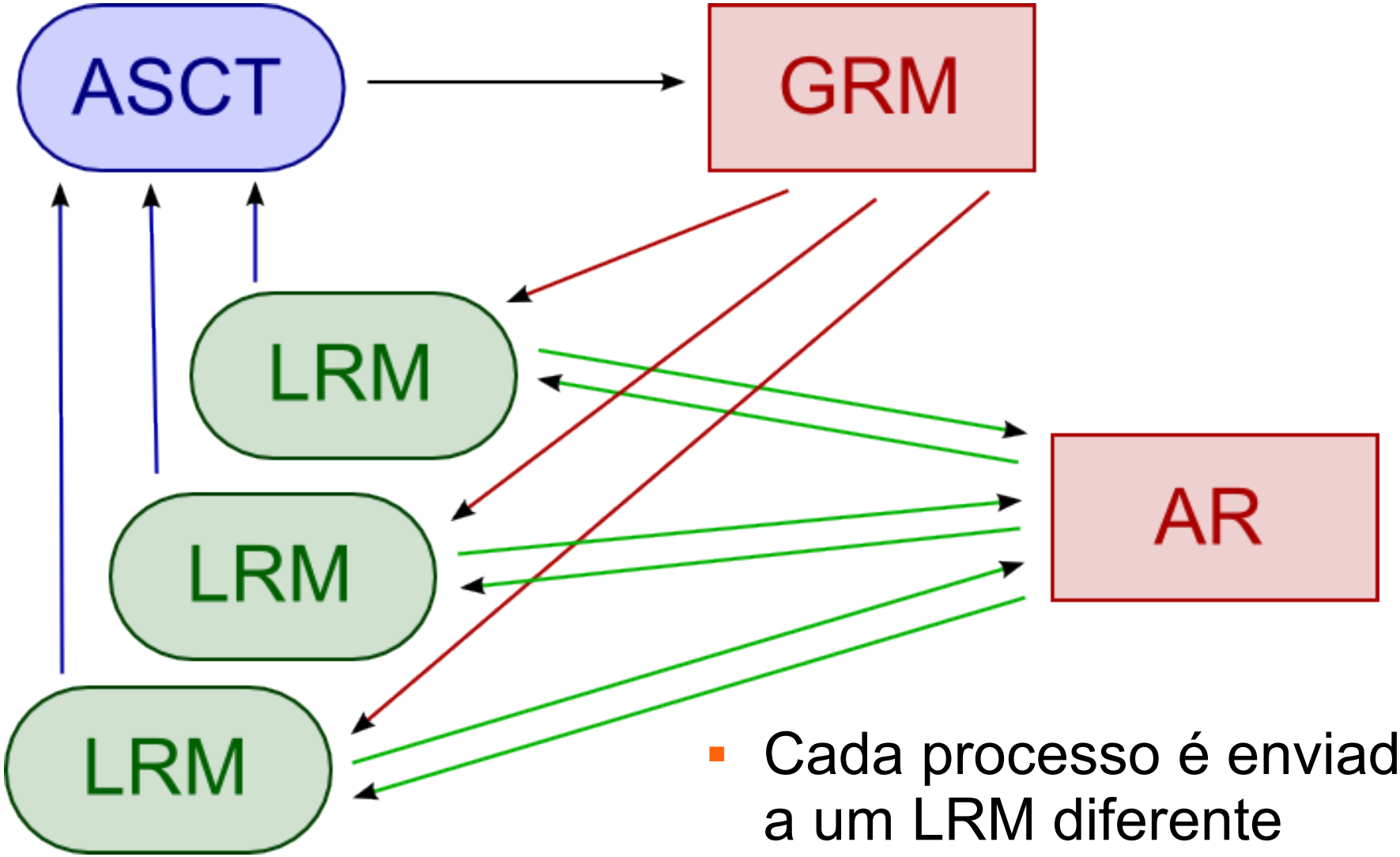
Execução de Aplicações



Execução de Aplicações

1. Usuário submete aplicações através do Portal
   - Pode ser executado a partir de qualquer máquina
2. GRM determina em quais máquinas a aplicação será executada (escalonamento)
3. Requisição é repassada para as máquinas selecionadas
4. Máquinas obtêm dados de entrada e os binários da aplicação e realizam sua execução
5. Após o término da execução, arquivos de saída são enviados à máquina executando o portal

Execução de Aplicações Paralelas



- Cada processo é enviado a um LRM diferente

Execução Robusta de Aplicações

- Aplicações executadas durante ciclos ociosos de máquinas não-dedicadas
  - Podem ficar indisponíveis ou mudar de ociosa para ocupada inesperadamente
  - Execução da aplicação é comprometida
    - É preciso reiniciar a execução do início
- Mecanismo de tolerância a falhas
  - Permite reiniciar a aplicação de um ponto intermediário de sua execução

Recuperação por Retrocesso

- Recuperação por retrocesso baseada em *checkpointing*
  - *Checkpoints* contendo o estado da aplicações são gerados periodicamente
  - *Checkpoints* são armazenados nas máquinas do aglomerado
  - Em caso de falha durante execução, aplicação é reiniciada a partir do último checkpoint gerado

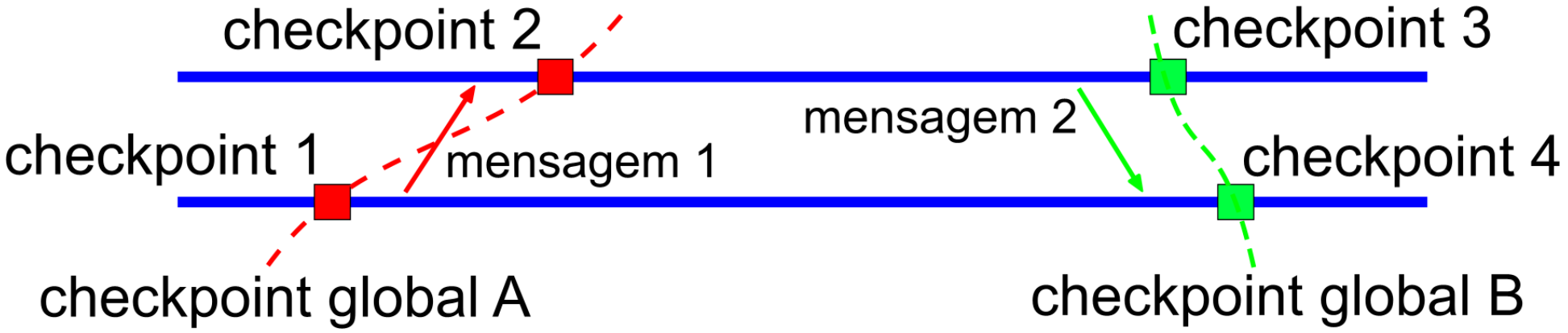
Abordagens para checkpointing

- O estado de uma aplicação pode ser obtido de diferentes modos
- Checkpointing no nível do sistema
  - Dados obtidos diretamento do espaço de memória
    - Transparente à aplicação
    - Requer uso de máquinas homogêneas
- Checkpointing no nível da aplicação
  - Aplicação fornece dados a serem salvos
    - Checkpoints portáveis
    - Precisa modificar código-fonte da aplicação

Checkpointing de Aplicações Paralelas

- Checkpoints locais → checkpoint global
- Aplicações paralelas desacopladas
  - Aplicações bag-of-tasks
  - Basta gerar um checkpoint para cada processo
- Aplicações paralelas acopladas
  - Aplicações BSP e MPI
  - Dependências entre processos
  - É preciso coordenar a criação de checkpoints locais

Checkpointing de Aplicações Paralelas



- Checkpoint 1 é *inconsistente* e 2 é consistente
- Protocolo coordenado de checkpointing
  - Sincroniza os processos antes de gerar checkpoint
  - Deste modo os checkpoints gerados são sempre consistentes

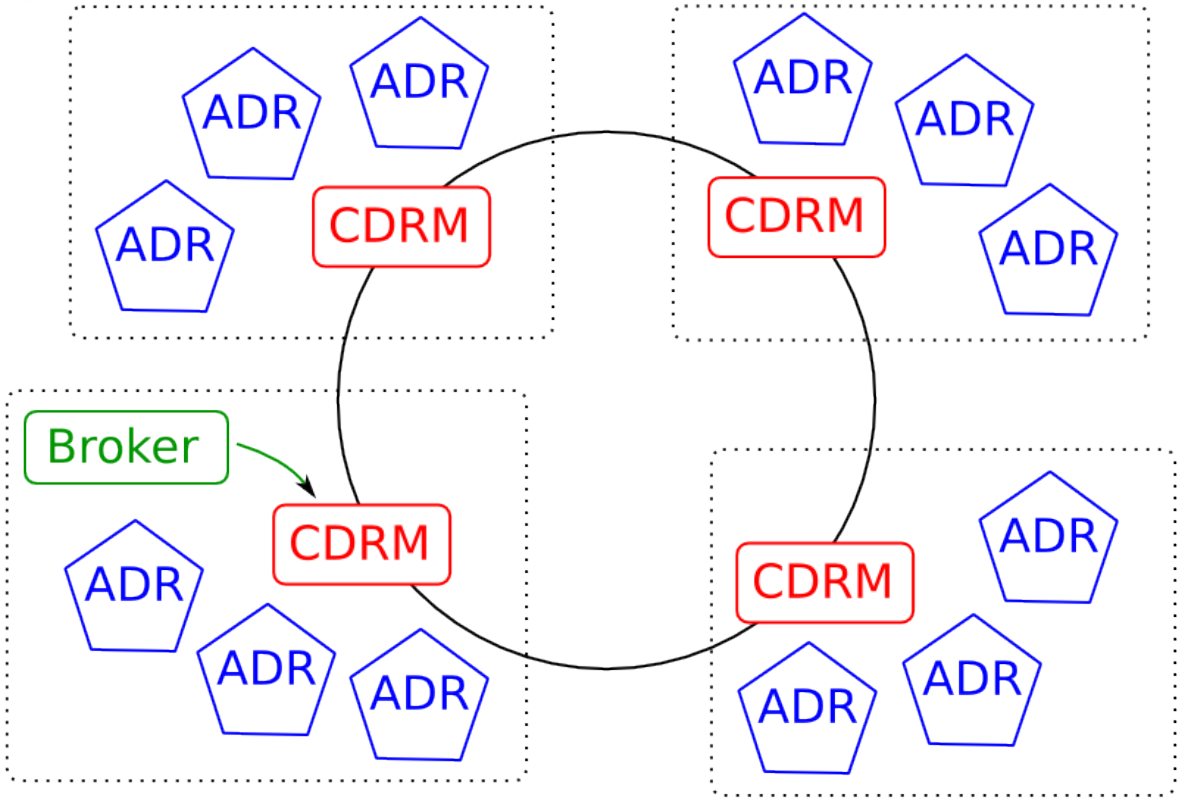
Armazenamento Distribuído

- Aplicações da grade podem utilizar ou produzir grandes quantidades de dados
  - Dados de aplicações podem ser compartilhados
- Abordagem tradicional: servidores dedicados
- Grade oportunista
  - Máquinas com grandes quantidade de espaço livre
  - Ambiente altamente dinâmico
    - Composto por dezenas de milhares de máquinas
    - Utilizar somete períodos ociosos
    - Máquina entram e saem do sistema continuamente

OppStore

- Middleware que permite o armazenamento distribuído de dados da grade
  - Provê armazenamento confiável e eficiente
  - Utiliza o espaço livre de máquinas compartilhadas
- Organizado como federação de aglomerados
  - Similar à maioria das grades oportunistas
    - Aglomerados do OppStore são mapeados em aglomerados da grade oportunista
  - Facilita o gerenciamento do dinamismo do sistema
  - Aglomerados conectados por uma rede *peer-to-peer*

Arquitetura do OppStore



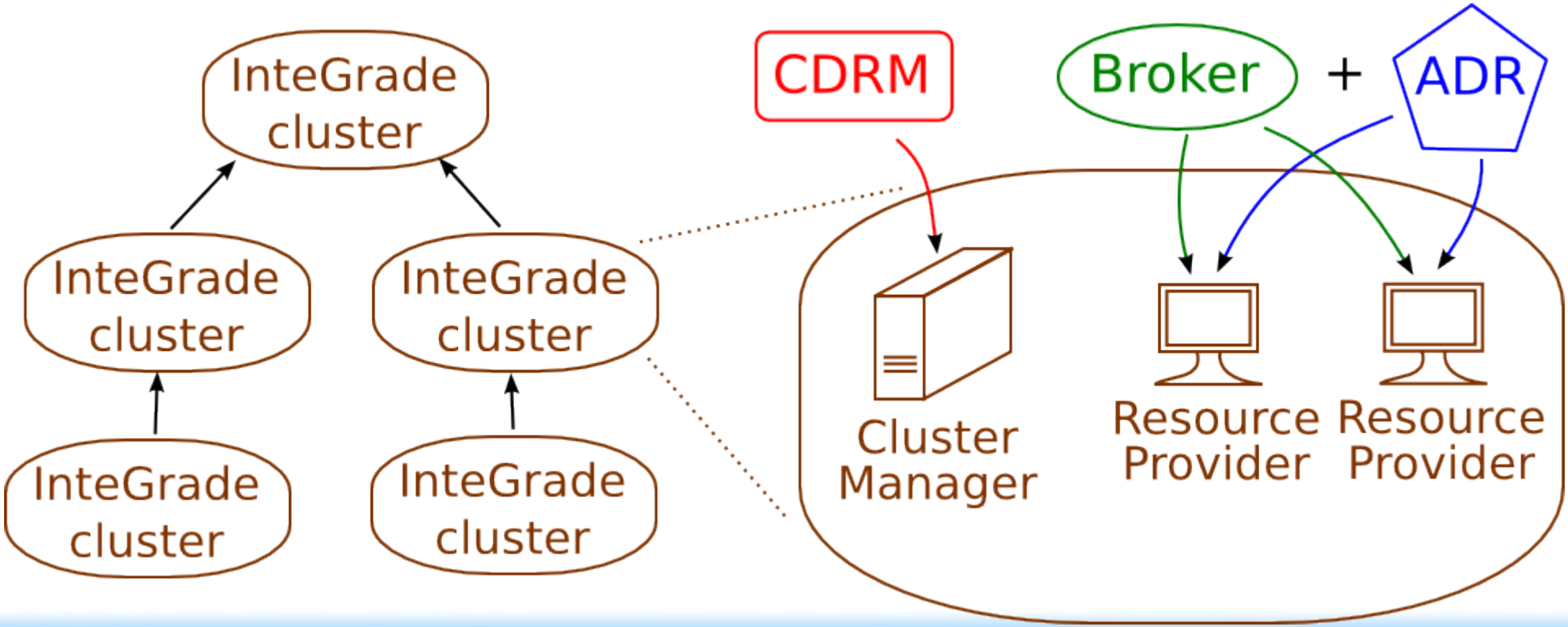
- Repositório Autônomo de Dados (ADR)
- Gerenciador de Repositórios de Dados (CDRM)
- Intermediador de Acesso (Access Broker)

Armazenamento de arquivos

- Arquivos codificados em fragmentos redundantes
  - Fragmentos armazenados em aglomerados distintos
- Vantagens
  - Maior tolerância a falhas
  - Bom desempenho, pois fragmentos são transferidos em paralelo

Implantação sobre o InteGrade

- CDRM → Máquina gerenciadora do aglomerado
- ADRs e Brokers → Provedores de recursos
- Interface com o InteGrade em desenvolvimento



Estado Atual do OppStore

- Estamos realizando a integração do InteGrade com o OppStore
  - Dados de entrada e saída de aplicações passarão a ser armazenados no sistema de armazenamento distribuído
  - Máquina de onde aplicação foi submetida deixa de ser um ponto único de falhas

Estado Atual do InteGrade

- Atualmente na versão 0.4
- Execução em dois aglomerados do IME-USP e em aglomerados de outras universidades
- Portal permite realizar remotamente requisições de execução
- Permite execução de aplicações paralelas
  - MPI, BSP e *Bag-of-tasks*
- Precisam ser realizados mais testes
  - Para tal, precisamos de mais usuários

Resumo

- Grades Computacionais
- Grades de Dados
- Grades Oportunistas
- InteGrade
- Protocolo de execução
- Armazenamento distribuído de dados

Mais informações

- Sítio do InteGrade
  - http://www.integrade.org.br
- Suporte do InteGrade
  - integrade-support@integrade.org.br