

# Arquitectura para uma Computação em Nuvem Colaborativa entre Dispositivos Móveis\*

Nuno Cruz <sup>1,2</sup> e Hugo Miranda <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

<sup>2</sup> Universidade de Lisboa

Faculdade de Ciências

LaSIGE – Large-Scale Informatics System Laboratory

`ncruz@deetc.isel.ipl.pt`, `hmiranda@di.fc.ul.pt`

**Resumo.** A execução de algumas aplicações em dispositivos móveis tem ainda um custo proibitivo, apesar do crescente poder computacional que tem vindo a caracterizar cada nova geração de telemóveis inteligentes e da relevância destas aplicações para os utilizadores. As concretizações actuais destas aplicações delegam o esforço de computação em servidores na Internet, o que pressupõe uma conectividade permanente e implica uma latência não negligenciável.

A computação em nuvem é um paradigma de computação inovador em que os recursos de um conjunto de servidores são partilhados de forma transparente por um conjunto de utilizadores. A gestão dos recursos é simplificada, criando o conceito de computação elástica, em que cada utilizador pode aumentar ou diminuir facilmente os recursos que lhe estão atribuídos.

Este artigo faz um ensaio sobre as vantagens e desafios colocados à aplicação do conceito de computação na nuvem a redes sem fios, beneficiando dos períodos de inutilização dos dispositivos móveis na vizinhança dos utilizadores.

**Palavras-Chave:** Computação em nuvem, redes móveis.

## 1 Motivação

A Computação em Nuvem é uma tendência recente onde as empresas delegam todas as tarefas de gestão de um centro de dados a fornecedores de serviços de computação em nuvem. Estes fornecedores comercializam poder computacional e armazenamento de uma forma comparável a outros serviços básicos, como o fornecimento de água ou electricidade, criando assim uma noção de *everything-as-a-service* [1] onde o consumidor só paga o que necessita.

Para fazer face às limitações de computação e armazenamento dos dispositivos, quer as aplicações de cartografia, quer as de controlo do dispositivo por reconhecimento de voz, no sistema operativo Android, utilizam a nuvem de computação da

---

\* O trabalho descrito neste artigo foi parcialmente suportado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através do projecto PTDC/EIAEIA/103751/2008 - PATI

Google enquanto repositórios de informação e de poder computacional [2]. Contudo, uma limitação natural destas aplicações, ainda sem solução, é a necessidade de conectividade à Internet, sem a qual estes serviços ficam indisponíveis.

O número crescente de dispositivos móveis<sup>1</sup> sugere que, em pontos onde ocorre uma concentração significativa de indivíduos (centros comerciais, grandes eventos), é possível encontrar poder computacional nos ciclos de CPU não utilizados nos dispositivos de outros utilizadores. Adicionalmente, entre dispositivos próximos a probabilidade de encontrar tarefas comuns aumenta [3] pelo que, no global, a execução partilhada pode poupar ciclos de CPU a cada um dos dispositivos.

O objectivo do nosso trabalho é definir uma arquitectura para aplicações móveis que requeiram elevado poder computacional, beneficiando do conceito de computação em nuvem colaborativa (CNC) que dispensa a conectividade à Internet dos dispositivos móveis. Numa CNC, o poder computacional é obtido a partir de um conjunto de dispositivos móveis, que se coordenam entre si para atingir um objectivo comum – a execução de um conjunto de tarefas propostas por um ou mais participantes. Espera-se que a utilização da nuvem colaborativa permita, por um lado, obter resultados num tempo inferior ao que leva a delegação da tarefa na nuvem comercial e, por outro, atenuar o impacto das situações em que o acesso à Internet não se encontra disponível.

A contribuição desta arquitectura é justificada pelo seguinte caso de estudo:

*O João está de férias na Turquia e encontra-se a visitar as ruínas da antiga cidade de Ephesus. À entrada foi-lhe disponibilizado um áudio guia onde o turco e o inglês são as únicas opções. Não dominando nenhuma destas línguas, João vai tentar utilizar a aplicação de tradução de áudio do seu smartphone. Infelizmente a sua ligação à Internet tem uma qualidade muito reduzida e a latência e largura de banda que apresenta não é suficiente para uma tradução em tempo real. Uma vez que existem mais utilizadores na mesma excursão interessados na tradução, os dispositivos móveis organizam-se para conseguir o poder computacional necessário e todos os utilizadores acompanham a visita em português. O resultado da tradução é também ele armazenado na CNC, ficando disponível para outros utilizadores.*

Os autores iniciaram recentemente um projecto de investigação na área das CNCs. Este artigo apresenta a estratégia proposta para prossecução dos objectivos, enumerando os desafios antecipados e esboçando a arquitectura que servirá como base à sua resolução.

## 2 Desafios

A cooperação de dispositivos móveis dispensando a utilização de uma infra-estrutura tem sido alvo de estudo, por exemplo nas redes *ad-hoc* sem fios (*Mobile Ad Hoc Networks*), de sensores ou veiculares. Muitos dos problemas ao nível de rede e de ligação de dados e de rede receberam já atenção suficiente, podendo neste momento

---

<sup>1</sup> Ver [http://www.publico.pt/Tecnologia/mercado-de-smartphones-vai-crescer-49-por-cento-estima-idc\\_1487527](http://www.publico.pt/Tecnologia/mercado-de-smartphones-vai-crescer-49-por-cento-estima-idc_1487527)

considerar-se resolvidos. No entanto, ao contrário destas redes, estuda-se neste artigo um modelo distinto de redes *ad-hoc* "abertas", caracterizadas sobretudo por falta de confiança entre os participantes, pela transitividade das ligações e heterogeneidade dos dispositivos e da rede. Naturalmente, este ambiente levanta um conjunto de desafios adicionais à concretização das CNCs, alguns dos quais abordados de seguida:

**Privacidade.** As garantias de preservação de privacidade são fundamentais para a aceitação do sistema pelos utilizadores. Para os utilizadores que disponibilizam recursos, importa assegurar que não existe qualquer fuga de informação pessoal para terceiros. O conceito de informação pessoal deve ser interpretado em sentido lato, incluindo não só os dados pessoais contidos no dispositivo, mas também informação que permita a associação do dispositivo ao utilizador, por exemplo através da observação de padrões repetitivos da presença de um utilizador num determinado local. Adicionalmente, uma CNC tem que assegurar ao consumidor de recursos a confidencialidade dos dados que transferiu para os restantes dispositivos. Uma linha promissora de investigação passa por uma distribuição cuidadosa de dados pelos diversos participantes por forma a ofuscar o contexto global.

**Penalização de comportamentos egoístas.** Dispositivos móveis que usufruem da CNC mas não põem à disposição os seus próprios recursos, são considerados egoístas. A CNC é responsável por detectar e punir comportamentos egoístas. A detecção destes comportamentos passa por um sistema de reputação ou de incentivo. A mitigação de comportamentos egoístas tem sido alvo de estudo nas redes entre pares e algumas das soluções encontradas [4, 5], poderão ser aplicadas neste contexto.

**Confiabilidade dos resultados.** Uma dissimulação de comportamentos egoístas pelos dispositivos consiste no retorno de resultados falsos, obtidos sem esforço computacional. A precisão dos dados pode ser verificada através da comparação de resultados de execução duplicados. Contudo, este método aumenta o esforço computacional exigido à CNC e é vulnerável ao conluio. Uma alternativa não totalmente satisfatória é apresentar os resultados ao utilizador para este determinar a sua exactidão.

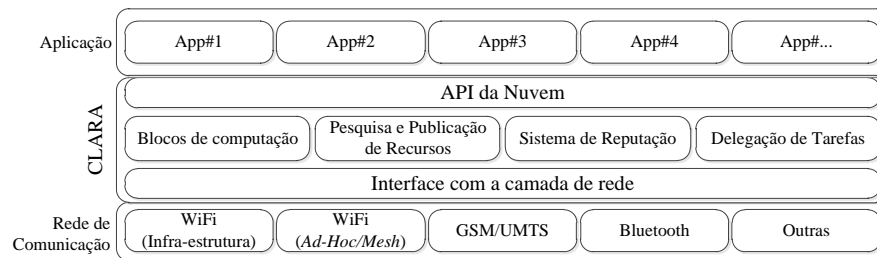
**Localização de recursos.** A distribuição do esforço computacional pressupõe o conhecimento dos recursos disponíveis na vizinhança localizados proactivamente, se os dispositivos tiverem conhecimento independentemente da necessidade, ou reactivamente, em que o conhecimento é obtido no momento em que é necessário. Infelizmente nenhuma é uma solução adequada uma vez que a primeira desperdiça largura de banda e energia para informação potencialmente irrelevante e a segunda impõe um atraso não negligenciável à distribuição das tarefas.

**Divisão de tarefas.** A divisão e a atribuição de tarefas não deve penalizar o sistema com uma latência elevada. Uma aproximação consiste na eliminação da necessidade de transportar código entre dispositivos, limitando a computação colaborativa a blocos de computação (BC) genéricos integrados na própria plataforma, como por exemplo operações aritméticas complexas ou reconhecimento de voz.

### 3 CLARA – Computação em nuvem coLABoRativa

A materialização de uma CNC passará necessariamente pela execução de uma componente em todos os dispositivos participantes. Este código funcionará de forma

reactiva, respondendo aos pedidos recebidos quer das aplicações em execução, quer de outros dispositivos. A Fig. 1 apresenta a estrutura da plataforma CLARA (Computação em nuvem coLABoRativa), a desenvolver no âmbito do projecto. A plataforma é internamente decomposta em 6 grandes módulos, descritos em seguida.



**Fig. 1.** Arquitectura do CLARA.

**API.** A API da nuvem é responsável por expor as funcionalidades disponibilizadas pela plataforma CLARA à aplicação, encaminhando os pedidos para os blocos de computação (BC) de tarefas e para o sistema de reputação, expondo às aplicações as funcionalidades de autenticação e controlo de acesso ao sistema.

**Sistema de reputação.** O sistema de reputação [5, 6] responde a questões dos restantes módulos sobre a confiabilidade dos outros participantes na CNC. Esta informação é utilizada pelo módulo de pesquisa e publicação de recursos, para estimar a confiabilidade de pedidos que o participante venha a fazer e pelo módulo de BC, para decidir sobre a aceitação de um pedido, e para contabilizar o esforço computacional oferecido aos restantes participantes. Utilizadores mal-intencionados, que manipulem a sua identidade para contornar o sistema de forma a remover reputação negativa, são limitados por soluções que impedem a alteração desta garantindo o anonimato ao mesmo tempo [7].

**Blocos de computação (BC).** Os blocos de computação (BC) são a unidade básica de computação, podendo existir blocos que delegam tarefas de computação a outros blocos. A disponibilidade dos BC segue uma política de replicação de blocos influenciada por factores externos ao sistema, como a frequência de utilização, ou características do dispositivo. A execução de cada bloco tem um custo computacional associado que é utilizado para distribuir carga e recompensar os dispositivos.

O BC é ainda responsável por garantir o isolamento dos dados de uma tarefa e dos dados presentes no dispositivo hospedeiro.

**Delegação de tarefas.** O módulo de delegação de tarefas é responsável por aceitar, coordenar e responder aos pedidos de tarefas locais (recebidos dos BC) e de outros participantes. Este módulo além de interagir com os diferentes BC interage com o módulo de localização e publicação de recursos. É também responsável por assegurar a confiabilidade dos resultados de execução dos blocos por outros dispositivos bem como por assegurar a privacidade dos dados.

**Localização e publicação de recursos.** Este módulo anuncia os BC disponíveis no dispositivo, e ao mesmo tempo interage com o sistema de reputação para determinar quais os BC disponíveis de dispositivos com reputação favorável. A localização e publicação de recursos pode explorar funcionalidades da camada de rede utilizada,

como a difusão bem como recorrer a outras técnicas, tal como publicação/subscrição ou tabelas de dispersão distribuídas (*Distributed Hash Tables* – DHT).

**Interface com a camada de rede.** Este módulo é responsável pela abstracção das diferentes tecnologias de rede, disponibilizando uma interface única aos restantes módulos. É ainda responsável por garantir a segurança dos dados do utilizador durante o transporte e pela adaptação dos serviços de rede (como a difusão, endereçamento e encaminhamento) à tecnologia de rede em utilização.

### 3.1 Caso de uso

*A aplicação de tradução automática utilizada pelo João acede ao CLARA solicitando a realização de uma computação. Na invocação são passados, o identificador do BC de tradução áudio e a digitalização do áudio capturado. A plataforma ao obter os argumentos e o BC desejado irá através do BC de tradução de áudio processar inicialmente os dados. Isto permite garantir a privacidade dos dados do utilizador, reduzir a complexidade computacional e particionar os dados para execução de múltiplas tarefas. Em seguida o módulo de delegação de tarefas solicita ao módulo de pesquisa e publicação de recursos a identidade de dispositivos que disponibilizam os blocos que permitam a tradução de áudio. A lista de dispositivos candidatos é entregue ao módulo de reputação que retorna o subconjunto de dispositivos confiáveis. O módulo de delegação de tarefas distribui então os trechos de áudio pelos diferentes dispositivos, mantendo alguns localmente. O retorno de um BC pode ser um resultado intermédio, implicando uma nova delegação na CNC. No fim o sistema de reputação recompensa os dispositivos que retornaram resultados considerados correctos.*

## 4 Trabalho Relacionado

O CloneCloud [8] concretiza literalmente o conceito de nuvem disseminando réplicas virtuais dos dispositivos (denominados *clones*). Para garantir um aumento de desempenho, os *clones* são virtualizados sobre *hardware* com uma maior capacidade de computação. Esta aproximação é possível em sistemas operativos com virtualização para execução do código (como por exemplo o Android). Apesar da utilização de *clones* facilitar a delegação de tarefas à nuvem, eliminando desta forma problemas de divisão de tarefas, o CloneCloud, não assume que os nós das nuvens são também dispositivos móveis. Esta limitação é resolvida pelo Hyrax [9], apesar de impor aos dispositivos uma plataforma específica (MapReduce).

Utilizando uma *framework* idêntica ao Hyrax, em [10] é proposta uma arquitectura para CNC em redes *Ad-Hoc*, definindo um conjunto de funcionalidades base bastante próximo do pretendido neste trabalho. Contudo esta arquitectura não aborda os problemas de egoísmo, de privacidade nem de simplificação das tarefas utilizando BC.

No MobiCloud [11] é definida uma solução de criptografia que fornece privacidade de conteúdo e ao mesmo tempo um mecanismo de autenticação, autorização e contabilização. Estes mecanismos são controlados através de listas de controlo de acesso que permitem a execução e acesso a dados de tarefas noutros dispositivos. Contudo, mantêm-se os problemas de egoísmo e da ausência da utilização de BC.

## 5 Conclusões

O conceito de computação em nuvem colaborativa entre dispositivos móveis é bastante recente. Este artigo submete à discussão as propriedades e desafios que se colocam à generalização do conceito de computação em nuvem colaborativa (CNC) e apresenta o CLARA, uma arquitetura para a sua materialização. O CLARA é inovador na utilização de sistemas de reputação, bem como a utilização de BC enquanto peças de puzzle para facilitar a distribuição de tarefas entre dispositivos móveis e ainda na adaptação de um *middleware* de localização e publicação de recursos para uma coordenação distribuída entre dispositivos móveis.

Estas características proporcionam ao CLARA uma robustez acrescida, que o torna adequado para situações muito exigentes, por exemplo em cenários onde não existe confiança entre os participantes na nuvem.

## Referências

1. Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A.D., Katz, R.H., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D.A., Rabkin, A., Stoica, I., others: Above the clouds: A berkeley view of cloud computing. EECS Department, University of California, Berkeley, Tech. Rep. UCB/EECS-2009-28. (2009).
2. Schalkwyk, J., Beeferman, D., Beaufays, F., Byrne, B., Chelba, C., Cohen, M., Kamvar, M., Strope, B.: Google Search by Voice: A case study. Springer (2010).
3. Kangasharju, J., Ott, J., Karkulahti, O.: Floating content: Information availability in urban environments. Pervasive Computing and Communications Workshops, 2010 8th IEEE International Conference on. pp. 804–808 (2010).
4. Luttenberger, N., Peters, H.: A Resilient and Energy-saving Incentive System for Resource Sharing in MANETs. 17th GI/ITG Conference on Communication in Distributed Systems (KiVS 2011). pp. 109–120 (2011).
5. Resnick, P., Kuwabara, K., Zeckhauser, R., Friedman, E.: Reputation systems. Communications of the ACM. 43, 45–48 (2000).
6. Miranda, H., Rodrigues, L.: Preventing selfishness in open mobile ad hoc networks. Proc. Seventh CaberNet Radicals Workshop (2002).
7. Miranda, H., Rodrigues, L.: Reputation in anonymous vehicular networks. Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems. 3, 178–197 (2010).
8. Chun, B.G., Maniatis, P.: Augmented smartphone applications through clone cloud execution. Proceedings of the 12th conference on Hot topics in operating systems. pp. 8–8 (2009).
9. Marinelli, E.E.: Hyrax: Cloud Computing on Mobile Devices using MapReduce. Carnegie-Mellon University (2009).
10. Huerta-Canepa, G., Lee, D.: A virtual cloud computing provider for mobile devices. Proceedings of the 1st ACM Workshop on Mobile Cloud Computing & Services: Social Networks and Beyond. pp. 1–5 (2010).
11. Huang, D., Zhang, X., Kang, M., Luo, J.: MobiCloud: Building Secure Cloud Framework for Mobile Computing and Communication. 2010 Fifth IEEE International Symposium on Service Oriented System Engineering. pp. 27–34 (2010).