



Proposta para Grupo de Trabalho 2023

GT-CampusEdge: Computação na borda para campi universitários

Rodrigo de Souza Couto

25/09/2022

1. Título

GT-CampusEdge: Computação na borda para campi universitários

2. Coordenador Acadêmico

Rodrigo de Souza Couto

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2902496394823593>

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/rodrigo-coppe-ufri>

E-mail: rodrigo@gta.ufri.br

Telefones: (21) 3938-8640 ; (21) 99635-4787

3. Líder e Assistente(s) de Inovação

Pedro Henrique Cruz Caminha (Líder de Inovação)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5963001351694455>

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/pedro-cruz-caminha/>

E-mail: cruz@gta.ufri.br

Roberto Gonçalves Pacheco (Assistente de Inovação)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1492779284348545>

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/roberto-pacheco-4a0a0818a>

E-mail: pacheco@gta.ufri.br

4. Tópicos de Interesse

Tópico primário: Internet das Coisas

Tópico secundário: Inteligência Artificial

5. Parcerias e respectivas contrapartidas

Este projeto será realizado no Grupo de Teleinformática e Automação (GTA), do Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ. O laboratório do GTA possui área física total de 200 m², sala de data center, cinco salas para 20 alunos (com quatro alunos em cada sala), biblioteca, sala de reuniões e sala multimídia de 65 m² equipada com sistemas de som e câmera para videoconferências. Os recursos do laboratório GTA utilizados para o desenvolvimento do projeto consistem em equipamentos de

informática, incluindo servidores biprocessados, servidores com GPUs, computadores pessoais, laptops, impressoras e equipamentos de rede.

6. Descrição da Proposta

6.1. Sumário Executivo

Tipicamente, dispositivos de Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) são limitados em termos de poder computacional. Assim, os dispositivos IoT necessitam de auxílio de poder computacional externo para oferecer aplicações de inteligência artificial aos usuários, como análise de vídeo e realidade virtual. Nas arquiteturas mais tradicionais, há serviços executados na nuvem e serviços executados na borda. Em comparação com a nuvem, a borda permite que as aplicações tenham maior responsividade, escalabilidade, privacidade e disponibilidade. Assim, a plena adoção de serviços de IoT depende de uma infraestrutura de borda, capaz de oferecer serviços finais, estabelecendo uma relação entre dispositivos IoT e usuários.

Este GT propõe o GT-CampusEdge, um modelo de servidor e orquestração para instalar nós de computação na borda nas universidades. O principal objetivo da proposta é fornecer a essas instituições serviços de poder computacional com maior responsividade, escalabilidade, privacidade e disponibilidade, além dos benefícios de nuvens tradicionais. Exemplos de serviços são aqueles que processam imagens e vídeos para detecção de eventos e problemas, como incêndios, corrosão e vazamentos. Para tal, uma plataforma de alocação de contêineres poderá ser acessada por membros da comunidade universitária por meio da rede da RNP. Será então oferecida uma interface para provisionamento de contêineres pré-configurados em nós da borda localizados em campi universitários. Como caso de uso, será desenvolvida uma aplicação de *camera as a service*. Nessa aplicação, será desenvolvido um protótipo de identificação de desvio de patrimônio universitário por meio de câmeras. Fotos de itens do patrimônio serão armazenadas no nó de borda e, em tempo real, serão utilizadas por um algoritmo de reconhecimento de objetos para identificar tais elementos.

O público alvo do GT-CampusEdge são membros do Sistema RNP, focando as universidades. Esses membros poderão instanciar contêineres e executar serviços, de acordo com as políticas de cada instituição. Assim, é importante que usuários sejam autenticados. A escolha natural de serviço de autenticação é a CAFe, uma vez que é um serviço oferecido pela própria RNP. Apesar do foco em campi universitários deste primeiro ano de projeto, o GT-CampusEdge pode ser estendido para diversas outras instituições do Sistema RNP, como museus e institutos culturais.

6.2. Desenvolvimento Tecnológico

A computação em nuvem vem facilitando a oferta de serviços para comunidades acadêmicas. O NasNuvens oferece diferentes serviços de TI para as instituições do Sistema RNP. Esses serviços são hospedados em provedores de nuvem, como AWS e Google Cloud, facilitando o acesso e melhorando a disponibilidade das suas funcionalidades. Por exemplo, o NasNuvens oferece o serviço de Moodle para instituições como o Colégio Pedro II e o IFSUL. O Moodle é uma plataforma de aprendizagem que permite a oferta de cursos e disponibilização de material didático. Essa plataforma pode ser instalada localmente na instituição ou em fornecedores especializados. Entretanto, ao ser hospedado em uma infraestrutura de nuvem, o serviço possui uma maior disponibilidade e escalabilidade. Assim, foi possível a

construção de ambientes para 436 turmas do Colégio Pedro II, atendendo à necessidade de aulas remotas impostas pela pandemia¹.

Apesar da importância e eficiência dos serviços em nuvem, esse tipo de infraestrutura pode não ser adequado para algumas aplicações. Um dos exemplos é o uso da Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) . A infraestrutura de nuvem, bem como sua rede de acesso, deve satisfazer diversos requisitos para habilitar uma ampla gama de aplicações IoT. Dentre eles, é possível citar [1]:

- Responsividade - Algumas aplicações de IoT, como realidade virtual e aumentada, reconhecimento facial e automação industrial, necessitam de uma alta responsividade. Em outras palavras, é necessário que a nuvem processe o mais rápido possível os dados enviados pelos dispositivos para que ações sejam tomadas. Quando há uma alta latência na rede entre os dispositivos de IoT e a nuvem, esse requisito pode não ser alcançado.
- Escalabilidade - Com o aumento do número de dispositivos de IoT, mais tráfego é enviado pela Internet até a nuvem. Assim, é necessário alto provisionamento de banda internamente nos provedores de Internet e nas redes de acesso.
- Privacidade - Os dados trocados entre dispositivos IoT e a nuvem podem possuir informações sigilosas, que precisam ter sua privacidade garantida.
- Disponibilidade da rede de acesso - A comunicação entre os dispositivos IoT e a nuvem deve ter alta disponibilidade, já que uma quebra na comunicação compromete o funcionamento do serviço.

Uma infraestrutura de nuvem pode ter dificuldades em atender os requisitos mencionados anteriormente em serviços IoT. A responsividade pode ser prejudicada visto que a infraestrutura de nuvem pode estar em uma região geográfica distante da instituição. Por exemplo, no Brasil, apenas a cidade de São Paulo possui datacenters do serviço AWS EC2². Assim, uma instituição em uma cidade mais distante de São Paulo pode ter problemas relacionados à latência. Além disso, atrasos de congestionamento na Internet podem prejudicar a responsividade. A escalabilidade também pode ser um problema. O uso em massa de dispositivos IoT, como câmeras 4K, pode gerar alto tráfego no backbone da RNP, além de necessitar de um alto provisionamento de banda na rede de acesso das instituições. A privacidade é outro fator que pode ser dificultado pelo uso da nuvem, já que os dados são armazenados em servidores de terceiros. Por exemplo, o envio de imagens de câmeras de segurança para armazenamento e processamento pode não se adequar a normas de privacidade de algumas instituições acadêmicas. Como agravante, a adoção da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) faz o requisito de privacidade ser cada vez mais importante no Brasil. Por fim, a utilização de uma infraestrutura remota pode prejudicar a disponibilidade, já que é sempre necessária uma conexão com a Internet. Essa conexão pode ser intermitente em instituições de menor porte e mais distantes dos grandes centros.

Para contornar os problemas do uso da nuvem, é possível empregar o paradigma de computação na borda. Esse paradigma consiste em instalar recursos computacionais próximos aos dispositivos finais [1,2]. A computação na borda pode ser implementada

¹ <https://www.nasnuvens.rnp.br/case/integracao-e-aumento-do-rendimento-escolar-sao-os-result-ados-da-migracao-de-um-colegio-centenario-para-a-nuvem>

² https://aws.amazon.com/pt/about-aws/global-infrastructure/regions_az/

instalando recursos computacionais entre o dispositivo final e a nuvem. Por exemplo, é possível utilizar o paradigma de Multi-access Edge Computing (MEC), no qual servidores de uso geral em Estações Rádio Base (ERBs) executam aplicações de clientes de uma rede celular [3]. Outro exemplo é executar parte da computação no próprio dispositivo final e outra parte na nuvem, ou em uma infraestrutura intermediária de computação na borda [4]. A computação na borda pode oferecer uma maior responsividade em comparação à nuvem, dada a menor latência na comunicação. Além da responsividade, a proximidade também permite atender requisitos mais estritos de escalabilidade, privacidade e disponibilidade.

Este projeto tem como objetivo propor uma plataforma para prover serviços de computação na borda em campi universitários, atuando como complemento ao portfólio do NasNuvens. A ideia é fornecer serviços na infraestrutura local da instituição quando esses demandarem alta responsividade, escalabilidade, privacidade ou disponibilidade da rede de acesso. Apesar do uso de uma infraestrutura local, toda a parte lógica do serviço, como dimensionamento de recursos virtuais e atualização de pacotes de software, será oferecida na infraestrutura provisionada pelo NasNuvens. Ou seja, aproveita-se o caráter local da infraestrutura, mas sem abrir mão da facilidade de configuração e gestão de serviços de nuvem. Assim, a administração de TI do campus será responsável por fornecer e gerenciar o hardware da borda, que poderá ser desde dispositivos de baixo custo, como o NVIDIA Jetson³, até servidores de médio porte. A RNP ou seus parceiros provedores de aplicações serão responsáveis, utilizando NasNuvens, por criar e manter as aplicações, realizando o seu monitoramento de uso e atualização dos pacotes de software.

No contexto do GT-CampusEdge, será oferecida uma API (*Application Programming Interface*) para provisionamento de contêineres pré-configurados nos servidores locais dos campi. Essa API será fornecida de forma logicamente centralizada por uma infraestrutura provisionada pelo NasNuvens. Assim, a administração de TI do campus instala fisicamente o servidor local e consulta a API para o provisionamento do serviço. A ideia é fornecer procedimentos automáticos de instalação e configuração dos serviços, de forma a ser acessível mesmo para instituições com equipes pequenas de TI. Além da API, a plataforma possuirá uma interface gráfica para monitoramento e gestão dos nós de borda. Tanto a API quanto a interface gráfica serão utilizadas por meio de autenticação no serviço da CAFe.

Toda a infraestrutura do GT-CampusEdge será gerenciada por meio de um orquestrador de contêineres. Esse orquestrador será responsável por automatizar a implantação das aplicações instaladas na borda, lidando com o ciclo de vida dos contêineres e seu dimensionamento. A escolha tradicional para a orquestração de contêineres é o Kubernetes⁴. Entretanto, como os nós da borda podem ter baixa capacidade computacional, é necessário utilizar orquestradores adaptados para o cenário de computação na borda. Assim, o GT-CampusEdge será baseado em um orquestrador de código aberto baseado em KuberNetes, como o KubeEdge⁵ ou o K3S⁶. Em geral, ambas soluções são versões mais leves do KuberNetes. O orquestrador escolhido deverá ser adaptado para atender os requisitos do projeto, como autenticação pela CAFe e existência de diferentes tipos de administradores.

³ <https://www.nvidia.com/pt-br/autonomous-machines/embedded-systems/>

⁴ <https://kubernetes.io>

⁵ <https://kubedge.io>

⁶ <https://k3s.io>

Como prova de conceito da plataforma, será desenvolvida uma aplicação do tipo *camera as a service* para identificação de desvio do patrimônio universitário. De acordo a especificação ETSI GS MEC 002 [5], uma aplicação de *camera as a service* recebe imagens de câmeras para detectar, usando processamento na borda, eventos ou objetos. Na prova de conceito proposta, o evento será a movimentação suspeita de objetos do patrimônio universitário. Esse evento será detectado por meio de imagens de câmeras de vigilância. Por exemplo, a aplicação será capaz de detectar o roubo ou desvio de um determinado equipamento de laboratório, a partir de um banco de imagens pré-armazenado. A partir da detecção, um alarme será gerado para alertar a segurança do campus.

A aplicação da prova de conceito beneficia-se do uso de borda em diferentes aspectos. A responsividade oferecida por um nó de borda reduz o tempo de geração do alarme. Além disso, o campus geralmente possui de centenas a milhares de câmeras. Ao enviar imagens para a borda ao invés da nuvem, aumenta-se a escalabilidade do serviço do ponto de vista de uso da rede. A privacidade é outra vantagem, já que a universidade não necessita enviar imagens de sua comunidade a terceiros. Por fim, a aplicação é robusta a problemas de disponibilidade da rede de acesso à Internet, visto que funciona localmente no campus. Em linhas gerais, o uso da plataforma do GT-CampusEdge proporcionará as vantagens de uma infraestrutura logicamente centralizada e gerenciável, mas atendendo aos requisitos de responsividade, escalabilidade, privacidade e disponibilidade.

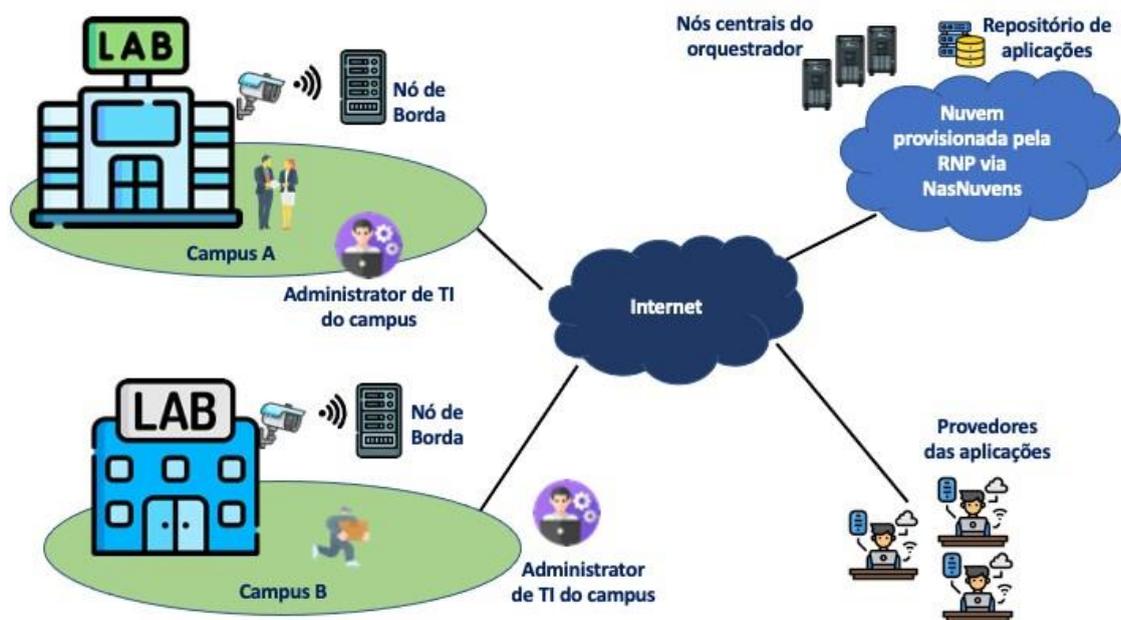


Figura 1 - Exemplo de funcionamento da plataforma do GT-CampusEdge.

A Figura 1 mostra um exemplo de funcionamento da plataforma do GT-CampusEdge. O nó de borda em cada campus possui contêineres oferecendo as aplicações e uma instância do orquestrador para gerenciamento local. Essa instância é controlada por nós centrais do orquestrador, hospedados em uma nuvem provisionada pelo NasNuvens. A infraestrutura de nuvem também hospeda o repositório de aplicações, que consistem em contêineres prontos para oferecer um determinado serviço. Os administradores de TI dos campi ou provedores das aplicações podem acessar os nós centrais do orquestrador, via interface gráfica, para criar novas aplicações ou instanciá-las nos nós de borda. A autenticação será realizada pela

federação CAFe e cada administrador possuirá permissões de acesso de acordo com seu papel. Por exemplo, um administrador de TI de um campus possuirá controle apenas dos seus nós de borda. O provedor das aplicações, por sua vez, terá permissões de inserir novas aplicações no repositório.

Alguns provedores comerciais já oferecem serviços similares aos da plataforma do GT-CampusEdge. O AWS IoT GreenGrass⁷ oferece módulos de software para instalar em dispositivos de borda, como hardware embarcado. Esses módulos podem realizar funções, como inferência de aprendizado de máquina, sem a consulta à nuvem da AWS. Entretanto, caso um maior poder computacional seja necessário, o dispositivo pode consultar a nuvem. Além disso, a autenticação de usuários e dispositivos é realizada utilizando a nuvem da AWS. O AWS IoT GreenGrass possui interfaces de gerenciamento para construir, instanciar e gerenciar os softwares dos dispositivos de IoT. O Azure IoT Edge⁸ e o Google IoT Core⁹ possuem funcionalidades semelhantes ao AWS IoT GreenGrass. Entretanto, o serviço da Google será desativado em agosto de 2023.

Apesar da existência de serviços similares ao GT-CampusEdge, a oferta de um serviço específico para o Sistema RNP possui algumas vantagens em relação à adoção de plataformas comerciais. A primeira é a redução de custo do serviço, que pode aumentar o espectro de instituições acadêmicas participantes. Apesar da adoção de serviços comerciais ser um caso de sucesso no NasNuvens, a existência de milhares de dispositivos IoT pode inviabilizar o seu uso. A segunda vantagem é a maior facilidade de integração da infraestrutura do GT-CampusEdge aos diversos serviços da RNP, como autenticação pela CAFe, acesso Wi-Fi pelo EduRoam e armazenamento no IDC (Internet Data Center). A terceira vantagem é o fato de o GT-CampusEdge ser baseado em orquestradores de código aberto que não são controlados por uma única empresa. Assim, a plataforma pode ser facilmente adaptada para as necessidades das instituições do Sistema RNP. Além disso, isso torna a solução de borda robusta a decisões de descontinuidade de serviços de empresas, como é o exemplo do Google IoT Core. Em linhas gerais, o GT-CampusEdge permite a adoção de computação na borda como um serviço do portfólio da RNP, mas usando o NasNuvens nos casos nos quais há uma menor limitação em termos de responsividade, escalabilidade, privacidade e disponibilidade da rede de acesso. Futuramente, o GT-CampusEdge pode ser integrado a soluções do NasNuvens, permitindo a colaboração da nuvem com a borda. Por exemplo, soluções de offloading adaptativo para processamento de imagens utilizam a borda para analisar imagens mais simples, enquanto imagens mais complexas são analisadas na nuvem [5]. Outra direção futura é instalar nós de borda nos POPs da RNP, oferecendo serviços para diversas instituições em uma determinada região.

O MVP (*Minimum Viable Product*) consistirá nos seguintes componentes:

- Orquestrador de contêineres para computação na borda adaptado para o cenário do GT-CampusEdge. Por exemplo, o orquestrador deverá ser modificado para suportar a autenticação federada CAFe;
- Aplicação *camera as a service* para identificação de desvio do patrimônio universitário, oferecida por meio de contêineres;
- Especificação mínima de um servidor de borda e de dispositivo IoT para suportar a aplicação *camera as a service*.

⁷ <https://aws.amazon.com/greengrass/>

⁸ <https://azure.microsoft.com/services/iot-edge/>

⁹ <https://cloud.google.com/iot-core>

6.3. Modelo de Negócios

No caso geral, as universidades possuem financiamento para compra de máquinas e de equipamentos. Essas instituições, em sua maioria, não possuem solução capaz de integrar as máquinas para oferecer poder computacional para IoT aos membros da instituição.

O GT-CampusEdge é arquitetado tendo em vista as necessidades relativas à computação de borda de instituições de ensino e pesquisa. O GT prevê a oferta de recursos computacionais que atendam aos requisitos de aplicações IoT, seguindo as práticas correntes de desenvolvimento de aplicações.

O principal valor entregue pelo GT-CampusEdge é o gerenciamento da infraestrutura de borda. Os usuários poderão instalar seus serviços e microserviços na forma de contêineres, com o gerenciamento provido pelo GT-CampusEdge. A instituição deve arcar com a responsabilidade de manter a infraestrutura física funcionando. Adicionalmente, a RNP e seus parceiros podem oferecer aplicações de borda e cobrar pelo seu uso. Esse modelo de negócios já é seguido com sucesso pelo serviço NasNuvens, sendo adequado para os casos de uso da computação em borda que não podem ser atendidos pela computação em nuvem.

O serviço visado pelo GT-CampusEdge poderá ser fornecido sob o modelo de assinatura. Nele, as instituições poderão permitir que um determinado número de usuários instancie contêineres. A instanciação de contêineres será gerenciada de maneira centralizada pela RNP, garantindo a verificação da autorização do ponto de vista da segurança da informação e da adequação ao modelo de negócios. O preço das assinaturas pode ser relacionado ao tamanho das instituições, ao número de usuários, ao poder computacional a ser gerenciado ou outros fatores que influenciem os aspectos comerciais do GT-CampusEdge.

Com relação a seus fatores internos, o GT-CampusEdge possui como principal força a integração com o ambiente RNP, já conhecido e bem estabelecido com seu público-alvo. Também é importante mencionar a facilidade do desenvolvimento de aplicações de borda, especificamente na fase de *deploy*. A principal fraqueza do GT-CampusEdge é o número reduzido de aplicações de borda fornecidas inicialmente, o que pode tornar mais lenta sua ampla adoção. Além disso, é necessário garantir que os Administradores de TI do campus terão controle total do hardware, enquanto os provedores de aplicações se limitam apenas ao provisionamento e monitoramento dos seus serviços.

Entre os fatores externos que influenciam o GT-CampusEdge, é importante citar como principal ameaça a falta de infraestrutura de hardware nas instituições de ensino e pesquisa. Por outro lado, a principal oportunidade é o crescente desenvolvimento de aplicações de borda, em especial envolvendo IoT e inteligência artificial.

A solução se destina a instituições de ensino e pesquisa. Não obstante, a solução possui potencial para atender a todas as organizações do Sistema RNP que possuam potencial para aplicações de borda. Como exemplo, é possível citar instituições de saúde que queiram utilizar o GT-CampusEdge para gerenciar aplicações de monitoramento de pacientes, ou museus que queiram oferecer recursos de realidade virtual a seus visitantes.

7. Ambiente de validação da solução proposta e documentação dos aprendizados

O ambiente de validação do GT-CampusEdge consistirá na emulação de dois campi utilizando o GT-CampusEdge para executar a aplicação prova de conceito de

camera as a service. O cenário com dois campi possibilitará testes que emulem diferentes equipes de administração e de produção. Cada campus possuirá um nó de borda e um conjunto de duas câmeras.

O testbed será composto por dois nós de borda e, pelo menos, dois nós da nuvem, provisionados pelo NasNuvens. Esses componentes na nuvem consistem em um nó de orquestração e um nó de repositório de aplicações, ambos executados como máquinas virtuais. Também será utilizado um serviço de autenticação de usuários pela federação CAFé, que poderá ser o CAFé Expresso. Para a aplicação de prova de conceito, serão necessárias quatro câmeras e dois roteadores, para simular as redes wifi dos dois campi.

A documentação dos aprendizados do projeto se dará com a utilização da ferramenta de Wiki fornecida pela própria RNP. Além disso, o código desenvolvido será armazenado no repositório fornecido pela RNP. No caso de serem obtidos resultados cientificamente relevantes, os resultados serão publicados nas conferências e revistas adequadas.

8. Cronograma de marcos

O cronograma de marcos é pensado para atender às entregas e atividades expostas no edital. Assim, cada marco está associado a uma entrega ou atividade do edital. É importante notar que alguns relatórios mensais não possuem marcos associados, o que indica que tais relatórios serão utilizados para relatar o andamento parcial da execução dos marcos. Além disso, uma entrega pode ser associada a diferentes marcos. Os marcos são expostos a seguir.

- 8.1. **Especificação da equipe - Entrega Associada: E1** (Especificação da Equipe)
Data: 06/11/2022 - Este marco conclui a escolha da equipe, com a definição de todos os membros.

- 8.2. **Definição do orquestrador de código aberto - Entrega Associada: E2** (Especificação da Infraestrutura) - Data: 15/01/2023 - O marco conclui a atividade de escolha do orquestrador de borda a ser utilizado. A escolha do orquestrador será baseada nos orquestradores de borda que utilizam Kubernetes e seguirá critérios de facilidade de instalação, maturidade do software, tamanho da comunidade e adequação aos requisitos do projeto. Dentre os orquestradores analisados, é possível citar o KubeEdge e o K3S.

- 8.3. **Definição das soluções de processamento de imagem/vídeo - Entrega Associada: E2** (Especificação da Infraestrutura) - Data: 15/01/2023 - O marco conclui a atividade de escolha da solução de processamento de imagem/vídeo. Esta escolha visa selecionar as soluções para receber e tratar o streaming de imagens ou vídeos da câmera via RTSP (Real Time Streaming Protocol), como o OpenCV¹⁰. Além disso, esta escolha selecionará as ferramentas de processamento de imagem/vídeo para identificação de objetos, como o YOLO¹¹.

- 8.4. **Definição do hardware e serviços de nuvem - Entrega Associada: E2** (Especificação da Infraestrutura) - Data: 15/01/2023 - O marco conclui a atividade de escolha de hardware e serviços de nuvem. A Seção 9 deste documento fornece uma estimativa dos recursos de hardware e serviços de

¹⁰ <https://opencv.org>

¹¹ <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>

nuvem necessários. A atividade relacionada consiste em ter essa estimativa adaptada em função da escolha do orquestrador e das soluções de processamento de imagem/vídeo.

- 8.5. **Conclusão da prospecção tecnológica** - Entrega Associada: E4 (Relatório de Prospecção) - Data: 15/02/2023 - O marco conclui a atividade de prospecção tecnológica. No relatório referente a este marco estará presente o estado da arte das tecnologias envolvidas, como os orquestradores e soluções de processamento de imagem ou vídeo. Este estado da arte será baseado no estudo realizado para a conclusão dos marcos associados à entrega E2. Neste marco também serão detalhadas as principais soluções comerciais e de software livre similares ao projeto, como o AWS IoT GreenGrass e o Azure IoT Edge.
- 8.6. **Conclusão das pesquisas de mercado** - Entrega Associada: E5 (Relatório da visão de negócios e de produto) - Data: 31/03/2023 - O marco conclui as atividades de pesquisa de mercado. As atividades devem coletar informações a respeito de stakeholders, requisitos e produtos similares no mercado. O marco é definido pelo relatório da visão de negócios e produto.
- 8.7. **Definição de visão de negócios e de produto** - Entrega Associada: E5 (Relatório da visão de negócios e de produto) - Data: 31/03/2023 - Este marco conclui as atividades de construção de visão de negócio e produto. Após o marco, devem ser conhecidos os objetivos de longo prazo relativos ao negócio e ao desenvolvimento do GT-CampusEdge. A visão de negócios e de produto deve ser baseada nas informações coletadas pelas pesquisas de mercado. O marco é definido pela entrega do relatório de visão de negócios e de produto.
- 8.8. **Publicação da Landing Page (v1.0)** - Entrega Associada: E6 (Landing Page) Data: 15/04/2023 - Este marco conclui a primeira versão da Landing Page. A página deve apresentar o GT-CampusEdge ao público-alvo e também ao público em geral. A página deve conter informações sobre os casos de uso atendidos e requisitos mínimos para uso.
- 8.9. **Demonstração do GT-CampusEdge no WRNP** - Entrega Associada: Protótipo inicial do GT-CampusEdge - Data: 22/05/2023 - Este marco conclui as atividades de construção do protótipo do GT-CampusEdge. O protótipo deve conter as interfaces de usuário para atender aos casos de uso definidos pelo GT-CampusEdge, além de poder executar uma aplicação que armazene imagens recebidas por câmeras. O marco é definido pela conclusão da demonstração no WRNP.
- 8.10. **Conclusão dos testes da versão preliminar do MVP** - Entrega Associada: E3 (relatório mensal) de julho - Data: 31/07/2023 - Este marco conclui os testes da versão preliminar do GT-CampusEdge. Após o marco, o GT-CampusEdge deve ser capaz de se comportar de acordo com os requisitos definidos para sua versão preliminar. O marco é definido pela entrega de um relatório de testes, entregue no relatório mensal de julho.
- 8.11. **Apresentação da versão preliminar do MVP** - Entrega Associada: código fonte do GT-CampusEdge - Data: entre 01/07/2023 e 31/07/2023 - Este marco conclui a implementação da primeira versão *beta* do GT-CampusEdge. O desenvolvimento deve permitir que usuários autorizados instanciem contêineres pré-definidos pelos administradores de cada instituição. O marco é definido pela

entrega do código fonte da primeira versão do GT-CampusEdge. Nessa versão, a aplicação de *camera as a service* apenas armazenará os vídeos no nó de borda, sem detecção de objetos.

- 8.12. **Publicação da Landing Page (versão final) - Entrega Associada:** E6 (Landing Page) - Data: 15/09/2023 - Este marco conclui a versão final da Landing Page. A versão final da página deve incluir os avanços no desenvolvimento do GT-CampusEdge, assim como a demonstração de alguma funcionalidade.
- 8.13. **Conclusão da integração com a CAFe Expresso - Entrega Associada:** E3 (relatório mensal) de setembro.- Data: 30/09/2023 - Este marco conclui a integração do GT-CampusEdge com a CAFe Expresso. Após o marco, um usuário poderá ser autenticado através da CAFe Expresso. O marco é definido pela entrega do relatório de integração com a CAFe Expresso, entregue no relatório de setembro.
- 8.14. **Conclusão dos testes do GT-CampusEdge - Entrega Associada:** E3 (relatório mensal) de setembro - Data: 30/09/2023 - Este marco conclui os testes de usabilidade do GT-CampusEdge. Após o marco, o GT-CampusEdge deve ser capaz de se comportar de acordo com os requisitos de seu MVP. Ele é definido pela entrega de um relatório de testes, entregue no relatório de setembro.
- 8.15. **Publicação do whitepaper do GT-CampusEdge - Entrega Associada:** E9 (Whitepaper GT-CampusEdge) - Data: 30/09/2023 - Este marco conclui a produção do whitepaper apresentando o GT-CampusEdge. O whitepaper deve conter informações sobre o produto, sua arquitetura e seus casos de uso.
- 8.16. **Apresentação final do GT-CampusEdge - Entrega Associada:** Apresentação do GT-CampusEdge - Data: Entre 01/10/2023 e 30/10/2023 - Este marco conclui a apresentação da versão final do GT-CampusEdge. Ele é definido pela conclusão de uma apresentação do GT-CampusEdge. Nesta apresentação, o MVP estará totalmente concluído, com a aplicação de *camera as service* possuindo as funcionalidades descritas na Seção 6.2.
- 8.17. **Depósito do registro do GT-CampusEdge - Entrega Associada:** comprovante de pedido de registro do GT-CampusEdge no INPI - Data: Até 15/12/2023 - Este marco conclui as atividades relacionadas ao registro do GT-CampusEdge.
- 8.18. **Entrega do GT-CampusEdge - Entrega Associada:** E10 (código do GT-CampusEdge) - Data: Até 15/12/2023 - Este marco conclui as atividades relacionadas ao desenvolvimento do GT-CampusEdge. O desenvolvimento do GT-CampusEdge é considerado concluído com a implementação das funcionalidades elencadas na fase de levantamento de requisitos. O marco é definido pela entrega do código do GT-CampusEdge.

9. Referências

- [1] M. Satyanarayanan, "The emergence of edge computing", *Computer*, vol. 50, no. 1, no. 1, pp. 30–39, 2017.
- [2] R. G. Pacheco, K. Bochie, M. S. Gilbert, R. S. Couto, and M. E. M. Campista, "Towards edge computing using early-exit convolutional neural networks," *Information*, vol. 12, no. 10, p. 431, 2021.

- [3] P. Cruz, N. Achir, and A. C. Viana, "On the edge of the deployment: A survey on multi-access edge computing," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 2022.
- [4] G. B Souza, R. G. Pacheco, R. S. Couto, and O. Simeone, "Improving Image-recognition Edge Caches with a Generative Adversarial Network," em *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2022, pp. 1–6
- [5] R. G. Pacheco, R. S. Couto, and O. Simeone, "Calibration-aided edge inference offloading via adaptive model partitioning of deep neural networks," em *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2021, pp. 1–6
- [6] ETSI GS MEC 002: "Multi-access Edge Computing (MEC); Phase 2: Use Cases and Requirements", V2.1.1.1, outubro 2018.