



Internet of Grapes (IoG)

Anderson Rossanez Ricardo Bernardini Gonçalves
Juliana Freitag Borin

Technical Report - IC-18-21 - Relatório Técnico
December - 2018 - Dezembro

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO

The contents of this report are the sole responsibility of the authors.
O conteúdo deste relatório é de única responsabilidade dos autores.

Internet of Grapes (IoG): Uma Solução para o Cultivo de Uvas Baseada na Internet das Coisas

Anderson Rossanez* Ricardo Bernardini Gonçalves† Juliana Freitag Borin‡

Campinas, 18 de dezembro de 2018

Resumo

A Internet das Coisas vem ganhando destaque e importância ao redor do mundo. Sua aplicação permite, por exemplo, uma utilização otimizada de recursos no meio onde é aplicada. Por esta razão, o Banco Nacional do Desenvolvimento propôs um plano de ação para a aplicação da Internet das Coisas no Brasil. O plano contempla quatro ambientes distintos (cidades, saúde, rural e indústrias), cada um com seus objetivos estratégicos específicos. Alinhado com este plano de ação, este trabalho apresenta uma solução baseada na Internet das Coisas para o ambiente rural, mais especificamente, para uma plantação de uvas destinada à produção de vinhos, focando no objetivo estratégico do uso eficiente de recursos naturais e insumos. A solução contempla o uso de redes de sensores e atuadores, visando eficiência na irrigação, prevenção e atuação em incêndios, detecção e combate à doenças da plantação, além de coleta e análise de dados, visando a garantia de qualidade das safras futuras.

1 Introdução

A Internet das Coisas (IoT) possui diversas definições. Uma delas [4] diz que IoT é uma rede que conecta “coisas”, identificadas unicamente, à internet. Tais “coisas”, ou objetos inteligentes [8], devem possuir características de sensores/atuadores, além da capacidade de serem programáveis. A interconexão desses objetos habilita serviços avançados, permitindo a criação de um ecossistema inteligente, onde tais objetos coletam diversos tipos de dados do ambiente onde estão inseridos. A análise desses dados, tipicamente efetuada usando recursos de Computação em Nuvem, permite a geração de conhecimento sobre tal ambiente, comparação entre dados históricos, e por consequência, uma melhor utilização de recursos.

Dada a crescente expansão e importância da Internet das Coisas, o Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) propôs um plano de ação¹ para a implantação de IoT no Brasil. Este plano de ação está fundamentado em iniciativas categorizadas em ações estruturantes, medidas e elementos catalizadores para facilitar a aplicação da tecnologia, considerando objetivos de longo, médio e curto prazo. O plano de ação vislumbra a aplicação de IoT em quatro ambientes, ou “verticais”, conforme definido no documento: *cidades, saúde, rural e indústrias*.

*e-mail: anderson.rossanez@gmail.com

†e-mail: ricardobgoncales@gmail.com

‡e-mail: juliana@ic.unicamp.br

¹<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil/> [Acesso em 11/10/2018]

As quatro verticais previstas possuem um objetivo estratégico comum no campo de *inovação*: promover a adoção de soluções desenvolvidas localmente para desafios do ambiente. Além deste objetivo comum, as quatro verticais possuem seus desafios estratégicos particulares, que são:

1. Cidades: *mobilidade, segurança pública e eficiência energética e saneamento.*
2. Saúde: *doenças crônicas, promoção e prevenção e eficiência de gestão.*
3. Rural: *uso eficiente de recursos naturais e insumos, uso eficiente de maquinário e segurança sanitária.*
4. Indústrias: *recursos e processos, bens de capital e estoque e cadeia de fornecimento.*

O BNDES também apresenta uma cartilha de cidades², onde sintetiza todos os aprendizados do plano de ação, apresentando recomendações a gestores públicos que tenham interesse na implantação de IoT. A cartilha também apresenta exemplos de ações já implementadas no Brasil e no mundo, além da sugestão de caminhos para a implantação de IoT nas cidades brasileiras.

Seguindo as diretrizes do plano de ação do BNDES, neste trabalho focamos especificamente na vertical **rural**. De acordo com seus objetivos estratégicos listados anteriormente, o *uso eficiente de recursos naturais e insumos* permitirá um aumento na produtividade e qualidade da produção rural brasileira, através do uso de dados. O *uso eficiente de maquinário* permitirá, otimizar a utilização de equipamentos no ambiente rural, e finalmente, a *segurança sanitária* permitirá um aumento do volume de informações, bem como a precisão no monitoramento de agentes biológicos.

Um setor da produção rural que se beneficiaria com a utilização de IoT, especificamente no objetivo estratégico do *uso eficiente de recursos naturais e insumos*, é o cultivo de uvas destinado à produção de vinhos. No Brasil, há diversas regiões produtoras³, notadamente: Rio Grande do Sul (Serra Gaúcha, Campanha, Serra do Sudeste e Campos de Cima da Serra), Santa Catarina (Planalto Catarinense) e Nordeste (Vale do Rio São Francisco).

A *viticultura*⁴, cultivo das videiras direcionado à produção de vinhos (ou também sucos, uvas passas e consumo *in natura*), apresenta diversos desafios, principalmente relacionados ao clima. Temperatura, incidência de luz solar e quantidade de chuvas afetam a qualidade do vinho, e por consequência, seu preço [3]. Caso a quantidade de chuvas seja baixa, por exemplo, o vinho será mais concentrado (seco) ou menos concentrado (suave) caso a quantidade de chuvas seja alta. A temperatura também influencia este fator, bem como a quantidade de uvas aproveitadas no momento da colheita. Um estudo publicado por *Chevet et al.* (2011) [2], utilizando dados de temperatura e chuva obtidos entre os anos de 1800 e 2009, verificou como esses fatores variaram em vinícolas da região de Bordeaux, na França. A Figura 1 ilustra essas variações.

A Figura 2, por sua vez, ilustra a qualidade do vinho, medida pelo preço nas safras e a colheita aproveitada, também de acordo com o estudo de *Chevet et al.* (2011) [2]. Ambas seguem uma evolução próxima, de certa maneira, quanto mais se aproveita a colheita, melhor é a qualidade do vinho. Uma das causas de baixo aproveitamento da colheita, segundo o estudo, é devido a doenças ocasionadas por fungos, que se desenvolvem em situações de baixa luminosidade e alta umidade. A evolução dos processos de cultura contribuiu para uma melhora na qualidade da produção nos

²<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil/> [Acesso em 11/10/2018]

³<http://www.vinhosdobrasil.com.br/pt/vinho-brasileiro/regioes> [Acesso em 29/10/2018]

⁴<https://www.clubedovinhos.com.br/viticultor-e-vinicultor-o-que-faz-cada-um/> [Acesso em 06/11/2018]

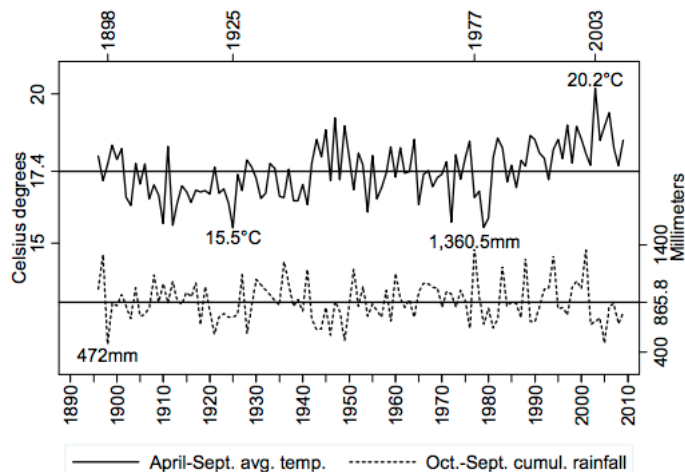


Figura 1: Variação de temperatura e chuvas na região de Bordeaux, entre 1800 e 2009 [2].

anos mais recentes, segundo o estudo. Com IoT, temos uma oportunidade para aproveitar ainda mais a colheita, contribuindo para mais melhoras na qualidade da produção.

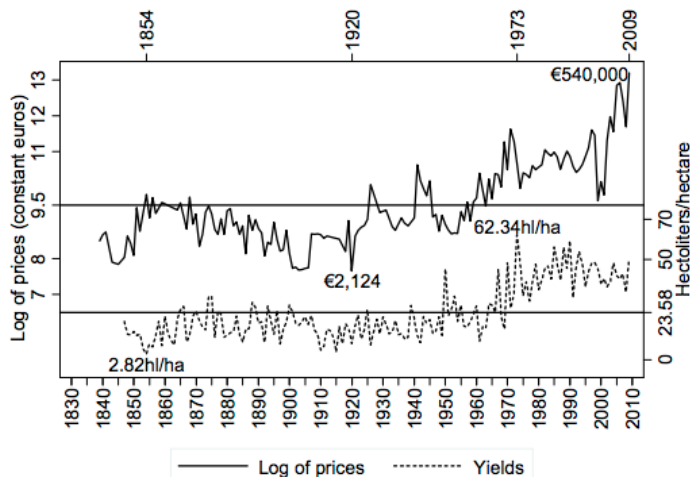


Figura 2: Variação de preços e volume de colheita na região de Bordeaux, entre 1800 e 2009 [2].

Outro aspecto também relacionado à irrigação, é o desperdício da água quando a irrigação é excessiva ou desnecessária. Estima-se que a agricultura consome 70% da água doce no mundo [7]. Um outro estudo [6], mostra que a demanda por água na irrigação vem crescendo ao longo do tempo, enquanto a disponibilidade de água para este fim, vem diminuindo. Isto está ilustrado na Figura 3. Por todas estas razões apresentadas, a irrigação adequada é um fator crucial nesse tipo de produção agrícola, apresentando assim, uma oportunidade a ser explorada na aplicação de IoT.

Um outro aspecto de desafio reside nos incêndios em áreas de plantações [5]. Muitos destes incêndios acontecem devido às secas, que correspondem a 51.31% de todos os desastres naturais registrados no Brasil, ocorridos entre 1991 e 2012⁵, conforme ilustra a Figura 4. Nos Estados Unidos, regiões produtoras de vinho como a Califórnia, também já sofreram com este problema⁶.

⁵http://www.unasus.unifesp.br/biblioteca_virtual/DAB/unidade1.html [Acesso em 30/10/2018]

⁶<https://www.cnn.com/2017/12/06/raging-wildfires-in-southern-california-destroy-crops-farm->

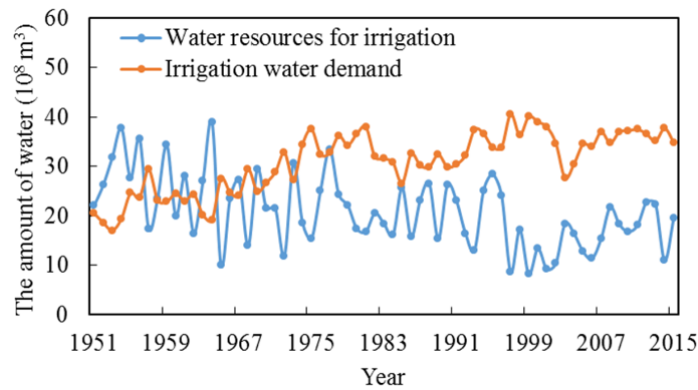


Figura 3: Demanda de água para irrigação versus sua disponibilidade, entre 1951 e 2015 [6].

Um sistema ativo de detecção e acionamento de medidas de extinção de incêndios em plantações também se apresenta como uma oportunidade a se explorar com aplicações de IoT.

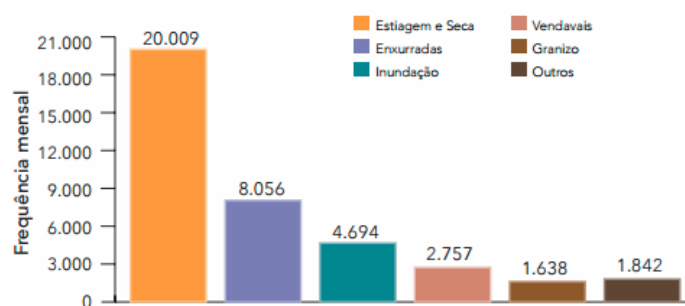


Figura 4: Proporções dos desastres naturais ocorridos no Brasil, entre 1991 e 2012⁵.

Finalmente, um outro desafio está na aplicação restrita de defensivos agrícolas a locais onde efetivamente devem ser aplicados, evitando seu espalhamento em áreas onde eles são desnecessários [10]. Com isto, além de se evitar o desperdício, é possível evitar que contaminem, por exemplo, lençóis freáticos [9], trazendo malefícios à saúde dos seres humanos e animais, conforme ilustrado na Figura 5. Tal desafio também se configura em uma oportunidade para aplicações de IoT.

Com o objetivo de endereçar os desafios apresentados, nós propomos neste trabalho uma aplicação de IoT, a ser implantada em uma plantação de uvas voltada para a produção de vinhos. O sistema contém uma rede de sensores e atuadores, visando a irrigação inteligente da plantação, além de detecção e atuação em focos de incêndio. O sistema também emprega um drone, utilizado para a detecção de doenças na plantação e aplicação precisa de defensivos agrícolas. Além disso, o sistema também faz uso de tecnologia de computação em nuvem, para armazenar e processar dados extraídos dos sensores, através de técnicas de aprendizado de máquina. Dessa forma, vislumbramos uma padronização do cultivo para garantir a qualidade do vinho no decorrer das safras futuras.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte maneira: Na Seção 2, apresentamos alguns trabalhos similares aplicados no Brasil e no mundo; na Seção 3, descrevemos o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho; na Seção 4, descrevemos a aplicação IoT proposta em maiores detalhes. Finalmente, na Seção 5, apresentamos as conclusões e oportunidades a serem consideradas em trabalhos futuros.

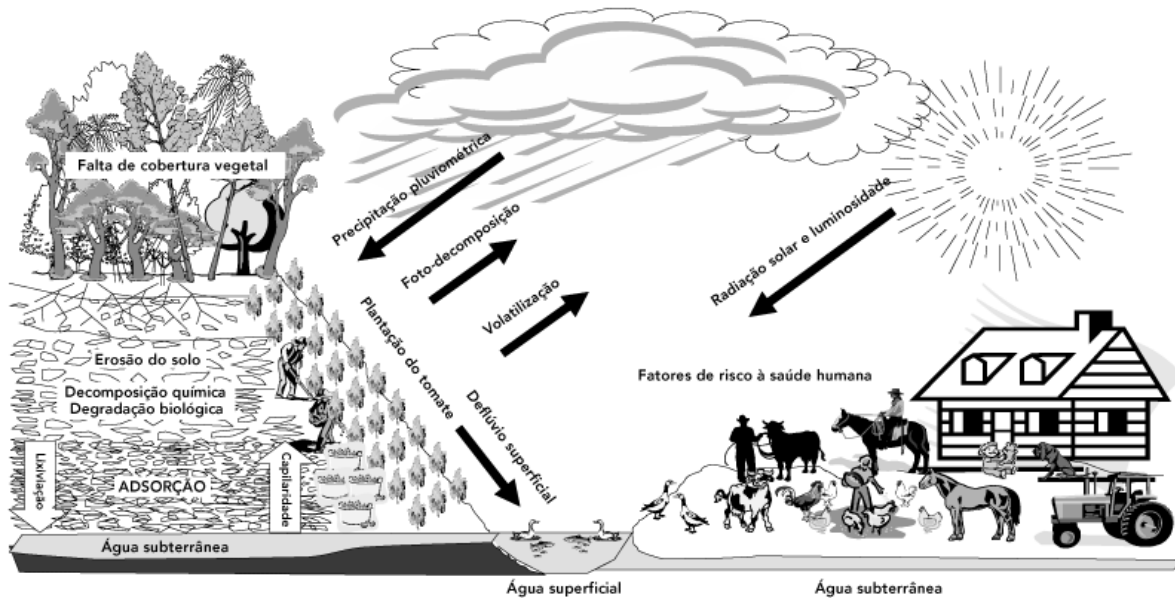


Figura 5: Efeitos previsíveis dos defensivos agrícolas [9].

2 Trabalhos Relacionados

O uso de IoT em vinícolas é cada vez mais comum no mundo. Uma vinícola na Espanha⁷, por exemplo, utiliza uma rede de sensores que medem a temperatura do ar e solo, umidade, pressão e chuvas, além de velocidade e direção do vento. Os dados medidos são enviados para o serviço de nuvem Azure, da Microsoft⁸. O produtor acessa esses dados através de uma aplicação em seu *smartphone*, que os organiza em gráficos, permitindo a comparação de dados obtidos em diferentes períodos de tempo. O sistema, implementado pela empresa Libelium⁹, permitiu um aumento de qualidade da produção de 30%, de acordo com medidas internas da vinícola.

Considerando especificamente o aspecto da irrigação inteligente, um sistema aplicado em uma vinícola na Califórnia¹⁰ emprega sensores que medem a umidade do solo em diferentes profundidades, nas proximidades das raízes, evitando irrigações desnecessárias. O sistema é implementado em Arduino, utilizando inicialmente conexão LTE para enviar os dados de leituras dos sensores para um serviço de nuvem. Em seguida, foi atualizado para utilizar uma tecnologia de rádio de longo alcance, conectado à internet utilizando gateways.

No Brasil, um estudo [1] propôs uma arquitetura baseada em IoT especificamente para se fazer o monitoramento de vinícolas. O estudo é de aplicação ampla, considerando desde a produção das uvas até o final da cadeia do produto. A arquitetura não foi aplicada em nenhuma produção real, apenas foi testada em cenários simulados.

No campo prático, a irrigação inteligente aplicada em plantações no nordeste e em uma vinícola do interior de São Paulo, visam eliminar o desperdício de água¹¹. Um outro exemplo focado em

⁷<https://www.zdnet.com/article/internet-of-wines-how-this-vineyards-iot-improves-vintage-in-your-glass/> [Acesso em 30/10/2018]

⁸<https://azure.microsoft.com/> [Acesso em 30/10/2018]

⁹<http://www.libelium.com/smart-wine-libeliums-iot-technology-allows-predictive-control-of-vineyards-in-the-pago-ayles-winery-spain/> [Acesso em 30/10/2018]

¹⁰<https://www.electronicdesign.com/content/engineer-shows-how-data-can-trump-conventional-wisdom> [Acesso em 30/10/2018]

¹¹<https://digital.agrishow.com.br/internet-das-coisas-vai-gerenciar-irrigacao-da-sua-producao->

vinícolas brasileiras, utiliza a plataforma DCP¹², da Ericsson, que facilita e integra o uso de sensores e tecnologia de nuvem para coleta e análise de dados como umidade do ar e do solo, temperatura e intensidade solar. A empresa Agrosmart¹³, localizada em Campinas, também provê diversos tipos de serviços de monitoramento para agricultura, como irrigação inteligente, monitoramento da plantação e energia, utilizando sensores de umidade de solo, de ambiente, chuvas, entre outros.

3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma solução baseada em IoT para otimizar a produção de uvas, especialmente em vinícolas, baseando-se na vertical rural do plano de ações do BNDES. Os objetivos específicos, alinhados com o objetivo estratégico *uso eficiente de recursos naturais e insumos* da vertical rural, são:

- Prover um mecanismo inteligente para mecanizar a irrigação da plantação, através de sensores e atuadores.
- Prover um mecanismo para detecção de focos de incêndio através de sensores de umidade, fumaça e fogo, bem como atuadores para a extinção e prevenção do incêndio na plantação.
- Prover um mecanismo para detecção de pragas/doenças na plantação, bem como a aplicação segura e localizada de defensivos agrícolas para combatê-los.
- Prover um mecanismo para a determinação do momento adequado de colheita das uvas.
- Prover um mecanismo para o monitoramento da plantação, através de coleção e análise de dados, auxiliando o produtor a manter uma uniformidade da produção ao longo do tempo e garantia do padrão do vinho em diferentes safras.

É importante mencionar que, apesar do alinhamento primário dos nossos objetivos específicos com o objetivo estratégico do *uso eficiente de recursos naturais e insumos*, a aplicação localizada de defensivos agrícolas também se alinha secundariamente com o objetivo estratégico da *segurança sanitária*, pois visa aumentar a precisão da aplicação e monitoramento de agentes biológicos.

4 Metodologia

Para alcançar os objetivos descritos na Seção 3, nossa solução deverá conter uma rede de objetos com papéis de sensores e atuadores espalhados pela plantação. Esses sensores fazem a leitura de dados específicos, como umidade do ar e do solo, temperatura, luz solar, etc. Os atuadores são ligados à rede de distribuição de água espalhada pela plantação, controlando a abertura e fechamento dos terminais de irrigação.

Devido à possibilidade da plantação possuir um tamanho significamente grande, o que é comum em grandes produtores de vinhos, a rede de objetos sensores e atuadores deverá utilizar uma tecnologia de rádio de longo alcance e baixo consumo energético, como o LoRa. Por este motivo, escolhemos utilizar a especificação LoRaWAN¹⁴, que usa LoRa em sua camada física.

voce-esta-preparado/ [Acesso em 30/10/2018]

¹²<https://www.ericsson.com/br/pt/press-releases/2015/10/conectividade-iot-da-ericsson-traz-eficiencia-para-produtores-de-vinho> [Acesso em 30/10/2018]

¹³<https://www.agrosmart.com.br/> [Acesso em 30/10/2018]

¹⁴<https://lora-alliance.org/about-lorawan> [Acesso em 30/10/2018]

No padrão de comunicação LoRaWAN, os objetos com papel de sensores enviam seus dados, que são captados por gateways. Caso exista mais de um gateway, múltiplos gateways podem receber as transmissões de um mesmo sensor, entretanto, apenas um gateway envia resposta àquele sensor. O gateway LoRaWAN em nosso sistema, está conectado via backhaul da sede da fazenda, que implementa a pilha TCP/IP, e provê a conexão com a internet. Tal conexão com a internet pode ser feita através da tecnologia LTE, caso não haja uma infraestrutura (como fibras óticas, por exemplo) que leve a internet até o campo. No backhaul da fazenda, também se encontra o servidor LoRaWAN.

Os objetos com papel de sensores deverão ser da classe A, que é a classe padrão para objetos LoRaWAN. Tais objetos possuem um consumo energético baixo (suas baterias podem durar até 10 anos), pois eles permanecem “dormindo” durante a maior parte do tempo. Quando “acordam”, eles efetuam suas transmissões e aguardam por mensagens advindas do gateway por duas janelas de tempo. Após a segunda janela, os dispositivos classe A voltam a “dormir”. Os objetos com papel de atuadores, por sua vez, são tipicamente objetos da classe C, que permanecem acordados o tempo todo e podem receber mensagens em qualquer momento, exceto quando estão transmitindo. Dessa maneira, o servidor será capaz de enviar mensagens direcionadas a eles em um momento de emergência (por exemplo, quando detectado um foco de incêndio). Entretanto, os objetos da classe C possuem um maior gasto energético, por permanecem acordados durante todo o tempo. Visando diminuir o gasto energético dos atuadores, temos duas alternativas possíveis: a utilização de painéis solares, que recarregam as baterias dos atuadores, ou então, utilizar objetos da classe B¹⁵, que, assim como os classe A, podem dormir. Os dispositivos classe B permitem a negociação de janelas de recepção adicionais com o servidor, sincronizadas através de beacons enviados pelo gateway. A latência na negociação dessas janelas, não deverá influenciar negativamente no tempo de resposta, mesmo no caso de um incêndio. Isto permitirá tempo suficiente para que os atuadores acionem a rede de água de incêndio.

O sistema deverá também suportar um drone, que será capaz de registrar imagens da plantação utilizando uma câmera de alta definição e armazenar localmente as imagens em um disco de alta capacidade. Este drone deverá fazer rondas pela plantação e registrar imagens de toda a sua extensão. Tais imagens, serão descarregadas do aparelho, quando este retornar à sua base, localizada próxima à sede da fazenda. Isto deverá ser efetuado através de WiFi, preferencialmente no padrão IEEE 802.11 ac¹⁶, devido ao possivelmente grande volume de dados de imagens. O ponto de acesso WiFi está conectado ao mesmo backhaul da sede da fazenda, implementando a pilha TCP/IP. A Figura 6 ilustra a infraestrutura descrita até aqui.

Tanto os dados de sensores, quanto as imagens capturadas pelo drone, deverão ser enviadas via internet até um serviço de nuvem, que será capaz de armazenar todos esses dados, além de utilizá-los em algoritmos de aprendizado de máquina. Com isso, o sistema será capaz de gerar relatórios sobre a plantação, determinar potenciais situações de risco (ex. incêndios e pragas na plantação), determinar se as uvas estão prontas para a colheita, além de gerar notificações aos usuários interessados.

Para ter acesso aos relatórios e receber as notificações geradas, os usuários deverão fazer uso de aplicações web, ou então, aplicações para as versões mais populares de sistemas operacionais de smartphones ou tablets (ex. Android e iOS). Através dessas aplicações, os usuários, além de consultar os dados em tempo real, poderão fazer comparativos de dados históricos, além de executar ações, como enviar mensagens aos atuadores da plantação.

¹⁵<http://newtoncbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-diversos/11992-conheca-a-tecnologia-lora-e-o-protocolo-lorawan-lor001> [Acesso em 31/10/2018]

¹⁶https://standards.ieee.org/standard/802_11ac-2013.html [Acesso em 30/10/2018]

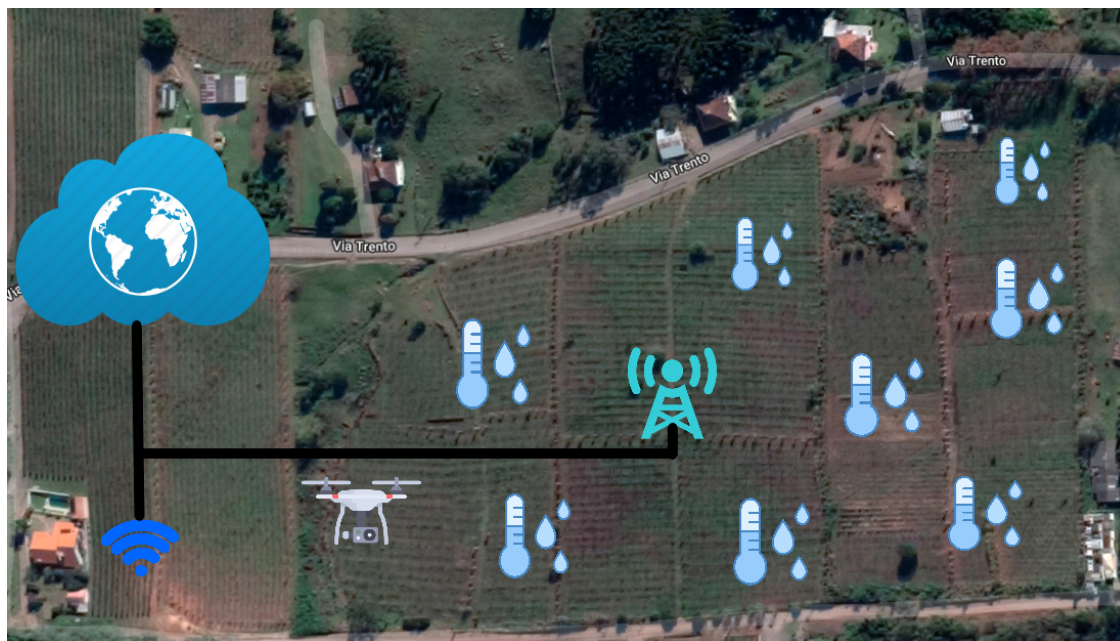


Figura 6: Infraestrutura empregada na plantação e sede da fazenda: Gateway LoRaWAN e AP WiFi conectados à internet via backhaul da sede da fazenda, drone e sensores espalhados pela plantação.

A Figura 7 apresenta uma visão sistêmica da solução, destacando os principais elementos integrados nas quatro camadas tecnológicas de soluções IoT, seguindo a arquitetura de IoT definida pela União Internacional das Telecomunicações¹⁷ (UIT). Na camada inferior, em cinza, está representada a infraestrutura da fazenda, utilizada no cultivo. Na segunda camada, em laranja, estão os dispositivos IoT responsáveis pela captação de informações, a partir da infraestrutura física. Na terceira camada, em verde, estão representadas as tecnologias de redes, por onde as informações captadas pelos dispositivos deverão trafegar. Na quarta camada, em azul, os dados coletados são armazenados e processados. Além dos dados coletados pelos sensores, dados históricos ou fornecidos por terceiros, poderão ser utilizados no processamento (por ex. imagens de pragas ou doenças comuns encontradas em vinhas). Após o processamento e interpretação dos dados, o conhecimento gerado alimenta as aplicações, representadas na quinta camada, em amarelo. A camada vertical, em roxo, representa aspectos de segurança da informação, que devem ser considerados em todas as camadas.

Nas seções seguintes, descreveremos em maiores detalhes o funcionamento do sistema implementando os objetivos específicos, previamente descritos na Seção 3.

4.1 Irrigação

Para implementar a irrigação inteligente, o sistema emprega atuadores que controlam a abertura e o fechamento das válvulas da rede de irrigação. Devido à sensibilidade da plantação de uvas com o fator da água, que poderá diretamente afetar a qualidade das uvas, a abertura das válvulas pode ser efetuada em níveis (por exemplo 10%, 50%, ou até 100%). Dessa forma, liberará uma quantidade menor ou maior de água, de acordo com a necessidade. Tal necessidade é definida pelos algoritmos de aprendizado de máquina empregados na nuvem, que considera as leituras dos

¹⁷<https://nacoesunidas.org/agencia/uit/> [Acesso em 31/10/2018]

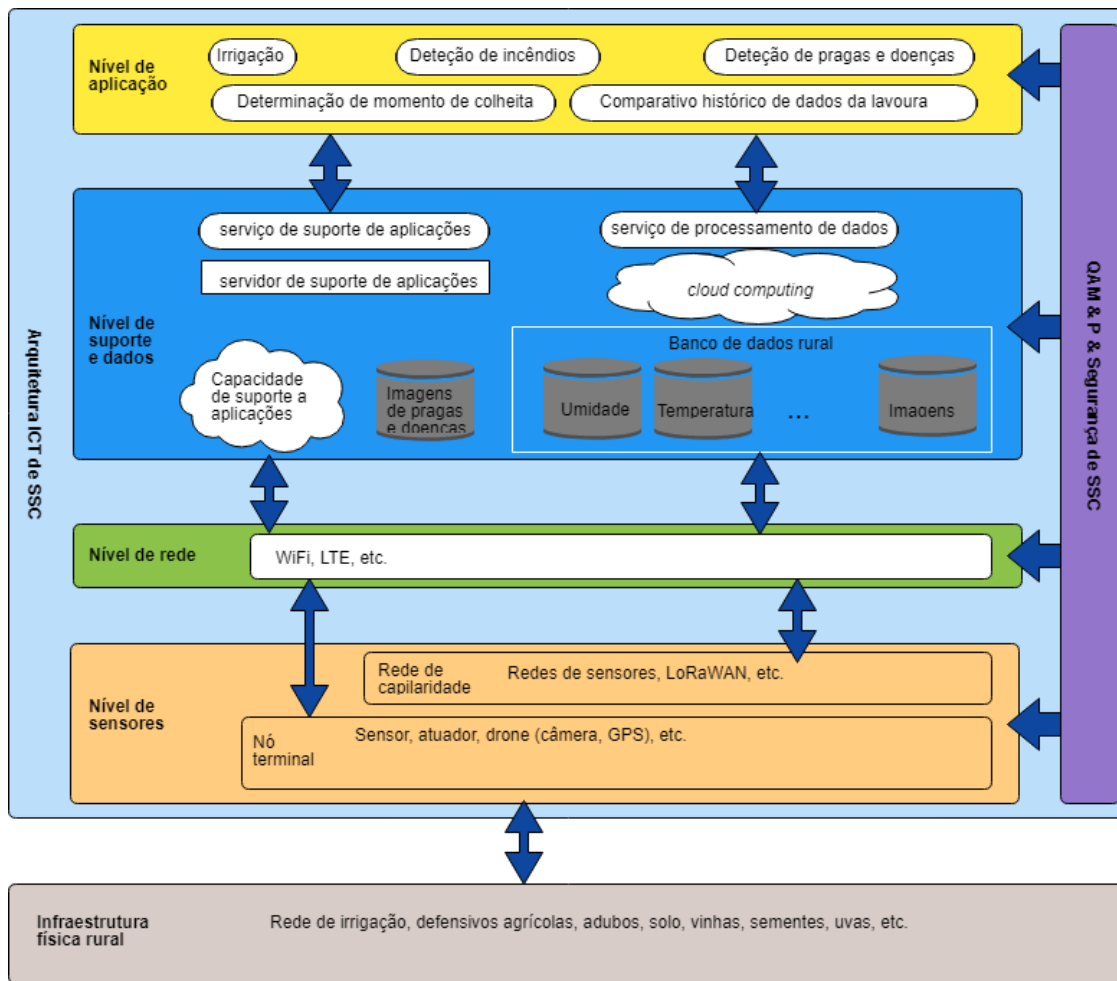


Figura 7: Visão sistêmica da solução proposta.

sensores de umidade do ar e do solo, além da temperatura em diversos pontos da plantação. Assim, a irrigação poderá ser acionada apenas nos locais necessários, evitando tanto o desperdício de água, quanto o excesso de irrigação, que prejudicaria a qualidade das uvas produzidas. Além desse funcionamento automático, os funcionários da plantação também podem acionar o sistema pelo aplicativo, quando julgarem necessário. Tais acionamentos deliberados também poderão servir como um parâmetro utilizado pelos algoritmos de aprendizado de máquina, de modo a refinar o aprendizado para a determinação dos melhores momentos do acionamento da irrigação.

4.2 Detecção e Combate a Incêndios

A detecção de incêndios também é efetuada através de sensores espalhados pela plantação, em especial, sensores de fumaça e fogo, assim como também os sensores de umidade do ar e temperatura, utilizados na determinação da irrigação, são utilizados aqui. Esses sensores de fumaça e fogo, em especial, são distribuídos também além das regiões limítrofes da plantação, de modo a se detectar incêndios oriundos de outras regiões, antes que venham a atingir a plantação. As leituras desses sensores, processadas pelos algoritmos de aprendizado de máquina na nuvem, determinarão a necessidade de ação de combate aos incêndios, que serão efetuadas pelos atuadores da rede de

irrigação. Eles abrirão as válvulas em 100% nos locais indicados pelo algoritmo, para extinguir os focos de incêndios, bem como evitar seu alastramento. O sistema também deverá disparar um alarme sonoro local, para alertar os funcionários da plantação, e também notificar com urgência via aplicativo, os seus usuários, tão logo quanto o foco de incêndio seja detectado. Pelo aplicativo, também será possível acionar os atuadores que controlam a abertura da água em quaisquer outras regiões da plantação, caso os usuários assim desejem.

4.3 Detecção de Pragas e Aplicação de Defensivos Agrícolas

A detecção de pragas nas videiras, geralmente são detectadas visualmente, através da experiência e conhecimento dos produtores. Eles o fazem através da observação cuidadosa das videiras e inferem o tipo de praga ou doença que pode estar acometendo a plantação. Uma vez determinada a praga ou doença, ela é combatida através da aplicação de defensivos agrícolas, que pode ser feita de várias maneiras diferentes (por ex. através de pequenos aviões). Esse tipo de aplicação tem seus problemas, mais notadamente, a contaminação de lençóis freáticos e também o desperdício dos próprios defensivos agrícolas.

Para melhorar esse cenário, nosso sistema emprega a utilização de um drone, que efetua rondas e registra imagens da plantação.

4.3.1 Drones para agricultura

Os drones, (ou VANTs¹⁸) podem ser controlados remotamente por um piloto no solo ou voar autonomamente para um conjunto de pontos de referência definidos pelo controlador, por meio de um sistema de sensores de controle de vôo (por exemplo, giroscópio, bússola magnética, GPS). Além disso, eles podem ser equipados com câmeras de alta precisão e uma série de sensores, que permitem uma ampla gama de operações de monitoramento. Uma qualidade da utilização de drone em sensoriamento remoto é a alta resolução espacial do solo (centímetros). Essa característica, aliada a possibilidade de monitoramento pontual e flexível, o torna ideal em áreas rurais, permitindo agilidade na operação de análise do cultivo.

Apesar desses aspectos positivos, os drones têm uma limitação importante em termos de tempo de operação. Essa é uma questão que atualmente é estudada para que essa tecnologia possa se tornar ainda mais utilizada no setor agrícola, principalmente quando aplicada em áreas de difícil acesso. No nosso cenário, onde se tem um cultivo homogêneo (videiras de pequeno a médio porte), acreditamos que a atual limitação da autonomia de um drone pode ser contornada através da utilização de combustíveis, ao invés de baterias. O uso de combustível em drones¹⁹ já é uma realidade e permite autonomia de até 90 minutos de vôo atualmente.

Uma vez efetuada a captura das imagens do cultivo através dos drones, essas imagens são enviadas à nuvem, onde são processadas por algoritmos de aprendizado de máquina, que são treinados com imagens de diversos tipos de doenças que podem acometer uma plantação desse tipo. Tais algoritmos, então, detectam as videiras doentes e informam, via aplicação, seus usuários, que podem tomar ações para o combate das doenças detectadas.

Caso o usuário opte pela aplicação de defensivos agrícolas no combate das doenças detectadas, o sistema permite a utilização do drone para este fim. Com as informações de localização precisa das videiras doentes, o drone pode ser carregado com o defensivo agrícola específico para seu combate,

¹⁸https://www.decea.gov.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=autorizacoes-para-voos-de-vant-entenda-melhor [Acesso em 19/11/2018]

¹⁹<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1003261/1/cpamt2014shozodrones.pdf> [Acesso em 19/11/2018]

e aplicá-lo de maneira precisa apenas nas regiões da plantação acometidas pela doença. Dessa maneira, além de se evitar o desperdício dos defensivos agrícolas, evitamos a agressão ao meio ambiente devido ao seu espalhamento desenfreado, que é comum nas técnicas tradicionais da sua aplicação.

4.4 Determinação do Momento de Colheita

A determinação do momento de colheita, assim como no caso da detecção de pragas, é comumente baseada na observação e conhecimento agregado do produtor rural. Este pode ser um trabalho cansativo, principalmente em se considerando uma plantação de grande extensão. Para auxiliar nessa tarefa, o nosso sistema também é capaz de efetuar essa determinação.

As imagens registradas pelo drone também podem ser utilizadas por outros tipos de algoritmos de aprendizado de máquina, executados na nuvem. Tais algoritmos são capazes de determinar quais videiras possuem uvas prontas para a colheita e gerar um mapa da plantação contendo tal informação, ajudando o produtor a direcionar a colheita apenas nas regiões adequadas. Uma possibilidade interessante para o produtor, também através da aplicação, seria de poder verificar em seu *smartphone*, através de realidade aumentada, quais são as uvas prontas para a colheita, quando ele estiver caminhando pela plantação.

4.5 Monitoramento da Plantação

Um dos objetivos do processo de monitoramento é maximizar o potencial enológico das vinhas a partir da coleta da quantidade máxima de informações georreferenciadas. A ampla gama de sensores espalhados pela plantação permite com que os diferentes parâmetros que caracterizam o ambiente de crescimento das plantas sejam enviados para a *nuvem* juntamente com suas coordenadas de referência geográfica, de forma que, posteriormente, esses dados possam ser processados e interpretados isoladamente, dada uma área demarcada do plantio.

4.5.1 Georreferenciamento

O processo de estabelecer a relação entre informação espacial e sua posição geográfica é denominado *Georeferenciamento*. Isto possibilita uma comparação entre os diferentes dados espaciais coletados pelos sensores no vinhedo, tais como propriedades físicas do solo, teor de água ou fertilizantes. O Sistema de Posicionamento Global (GPS) é um sistema de navegação por satélite que fornece posicionamento 3D (x,y,z) em rápida velocidade. Enquanto um receptor GPS calcula sua posição na Terra com base nas informações que recebe de quatro ou mais satélites localizados, com precisão de 3 a 15 metros, as técnicas diferenciais (DGPS) fornecem precisão de localização centimétrica, graças a uma rede de estações de referência fixas e terrestres, para corrigir as posições indicadas pelos sistemas de satélites com posições fixas conhecidas. Esse tipo de tecnologia GPS é útil na execução de tarefas que exigem alta precisão, como mapeamento de amostragens do solo e distribuição de fertilizantes a taxas variáveis.

4.5.2 Processamento dos dados

Os avanços tecnológicos recentes permitiram a elaboração de ferramentas úteis que ajudam no monitoramento e controle de muitos aspectos do crescimento da videira. Os mais modernos sensores, por exemplo, tornam-se grandes aliados para a investigação da condição das videiras, como a disponibilidade de água e nutrientes, a saúde das plantas e ataques de pragas, ou condições do solo.

Como citado anteriormente, as propriedades do solo desempenham um papel importante no cultivo de uvas, portanto, conhecer a variabilidade das características do solo permite uma melhor compreensão da evolução dessas frutas. Qualquer alteração na prática do cultivo também pode causar diferentes respostas fisiológicas nas plantas, com consequências diretas na qualidade da uva.

Por conta disso, o apoio das tecnologias de monitoramento remoto permitem explorar a mais ampla gama de observações disponíveis para descrever qualquer variabilidade na plantação com alta resolução. Os dados coletados em tempo real, em conjunto com os históricos dos anos anteriores processados e disponíveis na *nuvem*, formam uma orientação sólida de como melhor fornecer recomendações que aprimorem a eficiência do cultivo em termos de qualidade, produção e sustentabilidade, com base tanto no presente como no passado.

5 Conclusões

Neste trabalho, apresentamos uma solução baseada em IoT para o cultivo de uvas voltado à produção de vinhos. A solução está baseada na vertical **rural** e em seu objetivo estratégico do *uso eficiente de recursos naturais e insumos*, de acordo com o plano de ação para a implantação da IoT no Brasil, do BNDES. Em geral, a vantagem da aplicação das propostas desse trabalho é a redução de custos no gerenciamento do cultivo de uvas, melhorando a qualidade da colheita, a rastreabilidade do processo e a sustentabilidade ambiental com o uso racional de insumos químicos.

A solução emprega sensores e atuadores espalhados pela plantação, medindo temperatura, umidade, luz solar, nutrientes no solo, entre outros. Os atuadores controlam o acionamento e vazão do sistema de irrigação da plantação. Além disso, o sistema emprega um drone, que faz rondas pela plantação e registra imagens das videiras, contendo também informações de localização em cada imagem registrada. Os dados coletados pelos sensores e pelo drone são enviados para um serviço de nuvem, que processa os dados e gera conhecimento, alimentando aplicações utilizadas, finalmente, por usuários interessados no cultivo.

Com o uso do sistema proposto, o produtor rural passa a ter uma postura mais proativa, em detrimento da postura reativa tradicional, de se tomar ações após um certo tempo depois da identificação de problemas e possíveis reações. Com essa postura proativa, é possível melhorar o aproveitamento dos recursos empregados na produção rural (água, defensivos agrícolas, etc.), evitando seu desperdício. Isto também resulta em um melhor aproveitamento da colheita, e habilita o produtor, através de comparativos de dados históricos, a alcançar uma produção de maior qualidade.

Ao explorar os aspectos apresentados neste trabalho, observamos algumas oportunidades a serem exploradas em trabalhos futuros. Uma delas reside na exploração de IoT na mecanização da colheita, através de maquinário agrícola específico. Além da mecanização da colheita, outra oportunidade reside na adubagem do solo, para posterior plantação de novas videiras. Esse processo todo poderia ser mecanizado e coordenado por um sistema IoT. Em geral, um aspecto importante a ser considerado reside na segurança das informações coletadas pelos sensores. No caso exposto neste trabalho, utilizamos um gateway LoRaWAN, que é capaz de captar as transmissões de todos os sensores, bem como enviar mensagens para atuadores. Caso uma fazenda vizinha venha a implementar um outro gateway, por exemplo, é preciso se considerar medidas para evitar que dados sensíveis sejam captados por outros sistemas.

Referências

- [1] CAMPOS, L. B., AND CUGNASCA, C. E. Towards an iot-based architecture for wine traceability. In *2015 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems* (June 2015), pp. 212–213.
- [2] CHEVET, J.-M., LECOCQ, S., AND VISSER, M. Climate, grapevine phenology, wine production, and prices: Pauillac (1800-2009). *American Economic Review* *101*, 3 (2011), 142–46.
- [3] JONES, G. V., AND DAVIS, R. E. Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for bordeaux, france. *American Journal of Enology and Viticulture* *51*, 3 (2000), 249–261.
- [4] MINERVA, R., AND BIRU, A. Towards a definition of the internet of things (iot). In *IEEE Internet Initiative* (2015).
- [5] MOREIRA, F., AND PE'ER, G. Agricultural policy can reduce wildfires. *Science* *359*, 6379 (2018), 1001–1001.
- [6] PANG, A., LI, C., SUN, T., YANG, W., AND YANG, Z. Trade-off analysis to determine environmental flows in a highly regulated watershed. *Scientific Reports* *8*, 1 (2018), 14130.
- [7] PIMENTEL, D., BERGER, B., FILIBERTO, D., NEWTON, M., WOLFE, B., KARABINAKIS, E., CLARK, S., POON, E., ABBETT, E., AND NANDAGOPAL, S. Water resources: Agricultural and environmental issues. *BioScience* *54*, 10 (2004), 909–918.
- [8] VASSEUR, J.-P., AND DUNKELS, A. *Interconnecting Smart Objects with IP: The Next Internet*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2010.
- [9] VEIGA, M. M., SILVA, D. M., VEIGA, L. B. E., AND FARIA, M. V. D. C. Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do sudeste do brasil. *Cad. Saúde Pública [online]* *22*, 11 (2006), 2391–2399.
- [10] WALKLATE, P. J., CROSS, J. V., AND PERGHER, G. Original paper: Support system for efficient dosage of orchard and vineyard spraying products. *Comput. Electron. Agric.* *75*, 2 (Feb. 2011), 355–362.