

# Management system proposal for planning and controlling construction waste

## Propuesta de un sistema de planificación y control de residuos en la construcción

T. Maciel \*, M. Stumpf <sup>1\*\*</sup>, A. Kern \*\*

\* J. M. Martins Construções e Engenharia Ltda. BRASIL

\*\* Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). BRASIL

Fecha de Recepción: 26/02/2016  
Fecha de Aceptación: 27/04/2016  
PAG 105-116

### Abstract

*Construction industry accounts for a significant part of the solid waste generated in urban centers. In part this is due to a lack of culture of reducing the generation or reuse of waste. This sector may improve this situation, seeking to develop management systems. The objective of this paper is to present a proposal for a management system to plan and control construction waste in small and medium sized construction firms. A case study on construction sites was performed in a building company of Novo Hamburgo, Brazil. The planning and control waste system was developed as based on the production system existing in the firm and results point to the feasibility of implementing this system.*

*Keywords: Construction industry, planning and control, construction waste*

### Resumen

La industria de construcción genera una parte significativa de los residuos sólidos generados en los centros urbanos. En parte esto se debe a la falta de una cultura de reducción de generación o reutilización de los residuos. Este sector puede mejorar esta situación, tratando de desarrollar sistemas de gestión. El objetivo de este trabajo es presentar una propuesta para un sistema de gestión para planificar y controlar los residuos de la construcción en pequeñas y medianas empresas de construcción. Se llevó a cabo un estudio de caso en una empresa de Novo Hamburgo, Brasil. El sistema de planeamiento y control de residuos fue desarrollado con base en el sistema de producción existente en la empresa. El sistema propuesto fue testado en las obras de la empresa y los resultados apuntan a la viabilidad de implantación del sistema.

**Palabras clave:** Construcción civil, planeamiento y control, residuos

## 1. Introducción

La industria de construcción es responsable por gran parte de la generación de residuos sólidos, los cuales, además de causar daños al medio ambiente, también causan pérdidas económicas para los constructores y para la sociedad (Edwards, 2010; Rocha y John, 2003). En Brasil, desde el año 2002, con la creación de la Resolución 307 del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), la industria empezó a movilizar esfuerzos para la búsqueda de soluciones viables a este problema, aunque lentamente (CONAMA, 2002; Karpinski et al., 2009).

Los sistemas de gestión están asumiendo cada vez más importancia para las empresas de construcción, en particular, debido a la evolución económica del sector. Por lo tanto, las empresas están buscando sistemas que estén en condiciones de proporcionar información útil y que ayuden a los administradores en la toma de decisiones, pues estas decisiones pueden ser la diferencia para garantizar la eficiencia de una empresa en el mercado (Souza, 2004). En muchos casos suele ocurrir que los sistemas de gestión trabajen aislados. Giacomello et al. (2014) propusieron la integración de los sistemas de planeamiento y control de la

producción (PCP) con los sistemas de gestión de calidad, salud y seguridad en el trabajo y medioambiente. Se observa la necesidad de un sistema de gestión para la planificación y el control de los residuos, para componer dichos sistemas de gestión. Según Nogueira et al. (2014), la información sobre residuos se puede incluir también como una variable ambiental en el cuadro de mando integral.

Este sistema debe ser claro y objetivo, con enlace directo al sistema de planificación y control de la producción de la empresa, para evitar duplicación o conflicto de información. En este artículo se presenta una propuesta de un sistema de gestión para planificar y controlar la generación, reutilización y eliminación de residuos de la construcción en pequeñas y medianas empresas. Se llevó a cabo un estudio de caso con la aplicación y el análisis de los resultados en una constructora de la ciudad de Novo Hamburgo, Brasil.

## 2. Revisión de la literatura

### 2.1 Pérdidas en la Construcción

El concepto de pérdidas en la construcción a menudo se asocia sólo con pérdidas de materiales de construcción, tales como cemento, arena, bloques, maderas y hormigón, por ejemplo. Sin embargo, según Alarcón (2002), son consideradas pérdidas de la construcción todos los consumos de recursos (materiales, componentes, máquinas y mano de

<sup>1</sup> Autor de Correspondencia:

Doctor en Ingeniería, Profesor del Programa de Pos Graduacao en Ingeniería Civil y del Programa de Arquitectura y Urbanismo de UNISINOS. Brasil  
E-mail: mgonzalez@unisinos.br



obra) en cantidades mayores do que el mínimo necesario para la ejecución, de acuerdo al proyecto. En otras palabras, son los recursos que no agregan valor. En términos de materiales, la pérdida más visible se refiere a los residuos generados en el sitio, los cuales son colectados y removidos por un servicio de transporte de contenedores. Pero Agopyan (2002), Formoso et al. (2002) y Paliari et al. (2007) indican otra situación de pérdida de materiales, que son aquellos empleados en exceso pero que se quedan incorporados en la construcción. Por ejemplo, es el caso de un revoque ejecutado en espesor mayor que lo previsto en el proyecto. Se puede llamar esa situación de "pérdida incorporada".

Las pérdidas de materiales se producen durante la vida útil del edificio, es decir, los residuos se generan en las etapas de producción de los materiales y componentes utilizados, en las etapas de ejecución, mantenimiento y demolición del edificio (Karpinski et al., 2009; Patzlaff et al., 2014). Pinto (1989) ha demostrado que la industria brasileña aceptó anteriormente altas pérdidas de materiales de construcción, incluyendo la pérdida incorporada, de aproximadamente 20% a 30% en masa. Según Souza (2004), el nivel de pérdidas en la construcción disminuyó con la adopción de planes y certificaciones de calidad ISO, que entraron en el sector en los años 90.

En la Tabla 1 se muestra la variabilidad de los residuos identificados para la construcción brasileña, mensurada para algunos de los materiales más utilizados

(Agopyan et al., 1998; Pinto, 1989; Soibelman, 1993). Se puede verificar que hay algunas diferencias entre ellas. En parte esas diferencias son debidas a las opciones tecnológicas. Por ejemplo, Pinto (1989) indica una pérdida de 102% en el consumo de cal (más que 2x la cantidad prevista) y 33% a más en el cemento. Según ese estudio, la mayor parte de esos materiales se usaban para preparar morteros. Por otro lado, Soibelman (1993) indica 83% de pérdida en el cimient, sin presentar pérdidas de cal. Pero las obras investigadas por ese segundo autor no usaban cal para el preparo de mortero, solo cemento y arena. Esa diferencia de especificaciones puede explicar parte de la diferencia entre los datos de Pinto (1989) y Soibelman (1993).

En términos internaciones, algunos estudios apuntan pérdidas de materiales en edificaciones. En los estudios presentados en la Tabla 2, las pérdidas apuntadas representan la fracción de los residuos totales mensurados en los sitios de construcción, bien sea, la participación de cada material en el total de materiales investigados. Los estudios de Maña i Reixach et al. (2000), Pereira (2002), Costa y Ursella (2003) y Bergsdal et al. (2007) fueron desarrollados en España, Portugal, Italia y Noruega, respectivamente. Hay diferencias regionales, de tecnología e incluso metodológicas involucradas en sus medidas, pero si puede ver algunas semejanzas, como la participación más grande de hormigón, ladrillos y mortero.

**Tabla 1.** Pérdida de materiales en relación a las cantidades previstas en el proyecto (Brasil)

Materiales	Pinto (1989)	Soibelman (1993)	Agopyan et al. (1998)
Acero	26%	19%	11%
Arena	39%	44%	44%
Bloques y ladrillos	13%	52%	13%
Cal	102%	-	36%
Cemento	33%	83%	56%
Hormigón premezclado	1.5%	13%	9%

**Tabla 2.** Participación de materiales en las pérdidas totales mensuradas

Materiales	Maña i Reixach et al. (2000)	Pereira (2002)	Costa y Ursella (2003)	Bergsdal et al. (2007)
Hormigón, ladrillos y mortero	85.0%	58.3%	84.3%	67.2%
Materiales metálicos	1.8%	8.3%	0.1%	3.6%
Maderas	11.2%	8.3%	-	14.6%
Plásticos	0.2%	0.9%	-	-
Asfalto	-	10.0%	6.9%	-
Otros	1.8%	14.2%	8.7%	14.6%



Considerándolo todo, las pérdidas aún representan un problema para toda la sociedad. Algunos estudios indican que la cantidad de residuos de la construcción cambia de 230 hasta 760 kg/habitante/año en algunas ciudades brasileñas (Pinto, 2005; Rocha y John, 2003). Según Faria et al. (2007), en algunas ciudades los residuos de la construcción vienen a ocupar un 50% del volumen total de los sitios de disposición final. Klauzcek y Fazolo (2006) dicen que para cada tonelada de residuos domésticos se recogen dos toneladas de residuos de las actividades de construcción. Estudios sobre la generación de residuos en el sitio apuntan para tasas basadas en la relación del total generado y la superficie total de la construcción. Dias (2013) hizo la medición de residuos en 20 obras de edificios construidos en el sur de Brasil calculando un promedio de 0.128 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Teixeira (2015), en la misma región y con 18 obras de tamaño similar, encontró un promedio de 0.162 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

En Brasil, la Resolución CONAMA 307/2002 creó reglas para la disposición de los residuos de la construcción civil (RCC), dejando al gobierno municipal la responsabilidad de reglar la disposición de los residuos, así como la implementación de un plan de manejo integral de los residuos sólidos (CONAMA, 2002). Bajo esta normativa, los generadores, transportistas y receptores también son responsables por los residuos generados. Esta resolución es similar a las normativas y estrategias para la construcción en Chile y España (BRE, 2014; MINVU, 2013, 2014; Secretaría General de Medio Ambiente de España, 2001). De acuerdo a esta resolución, los residuos de la construcción se clasifican de la siguiente manera (CONAMA, 2002):

- Categoría A: Son residuos reutilizables o reciclables como agregados, tales como ladrillos, hormigón, mortero, bloques y ladrillos, tejas, revestimientos, losas, etc.;
- Categoría B: Son residuos reciclables para otros fines, tales como plásticos, papel / cartón, metales, vidrio, madera y otros;
- Categoría C: Son los residuos para los cuales aún no hay tecnologías o aplicaciones que permitan su reciclaje o recuperación económicamente viables, tales como los productos elaborados con yeso;
- Categoría D: Son los residuos peligrosos derivados del proceso de construcción, tales como tintas, disolventes, aceites o residuos contaminados de

demoliciones, remodelaciones y reparaciones de las clínicas de radiología y otras instalaciones industriales, así como las tejas y demás objetos que contienen amianto y otros productos nocivos para la salud.

Según Faria et al. (2007), las estrategias para una gestión adecuada de los RCC, en orden descendente de prioridad, son: disminución de la generación, reutilización o reciclaje de los residuos en el lugar de la construcción, reutilización o reciclaje en otro lugar y, como última alternativa, disposición de residuos en vertederos debidamente autorizados.

## 2.2 Planificación y control de producción en la construcción

La variabilidad que existe en un ambiente constructivo es un concepto presente en la teoría de construcción sin pérdidas. Esa variabilidad tiene como causas hechos imprevistos y errores humanos, entre otros, pero se puede ver como una consecuencia la incertidumbre o el riesgo de no se cumplir las previsiones iniciales de costes y plazos de ejecución (Campero y Alarcón, 1999; Koskela, 2002). Mismo con el desarrollo de la construcción, la variabilidad aún es apuntada como un problema del sector, incluso en estudios desarrollados en sitios de obra (Ashworth y Perera, 2015; Cabrera et al., 2015; Contreras Socarras, 2012; Campero, 2013; Cooke y Williams, 2015). Por lo tanto, se necesitan herramientas que puedan manejar la incertidumbre. En términos de planeamiento, una propuesta común es la planificación dinámica, adoptando la división de los planos en tres niveles distintos de planeamiento (Ballard y Howell, 1998; Bernardes, 2003; Laufer, 1996).

Los recursos necesarios para desarrollar una obra son compuestos principalmente de materiales, componentes, mano de obra y máquinas. Se observa que ellos tienen diferentes requisitos en términos de plazos de adquisición y entrega, lo que sugiere la necesidad de implantación de una jerarquía en la planificación de las actividades de negociación y adquisición. Ballard (2000) propuso diferenciar los recursos en tres clases (Clases 1, 2 y 3), según el plazo necesario (horizonte) para adquisición y la división del planeamiento en tres niveles: largo, medio y corto plazos. La definición de estos horizontes y clases de recursos se presenta en el Tabla 3.

**Tabla 3.** Clases de recursos según el horizonte de planeamiento

Clase	Horizonte	Concepto
Clase 1	Largo Plazo	Se caracterizan por tener un largo ciclo de adquisición y baja repetitividad de este ciclo. La cantidad adquirida generalmente corresponde a la cantidad total necesaria para a obra. Ejemplos: ascensor, placas cerámicas de fachada.
Clase 2	Mediano Plazo	Tienen un ciclo de adquisición de unos treinta días o más y una media frecuencia de repetición de este ciclo. Los lotes de compra son, generalmente, partes de la cantidad total del recurso. Ejemplos: Acero, hormigón premezclado.
Clase 3	Corto Plazo	Tienen pequeño ciclo de adquisición y alta repetitividad de ese ciclo. Los lotes de adquisición son, generalmente, fracciones de la cantidad total utilizada al largo de la producción. Ejemplos: ladrillos cerámicos, mortero, cemento.

Fuente: Ballard (2000) y Bernardes (2003)



### 2.2.1 Planificación a largo plazo

Es el plan maestro del proyecto y sirve para identificar los objetivos y limitaciones de la obra (Laufer, 1996). Los principales resultados obtenidos para este horizonte de planificación son el plan de largo plazo de la obra (el cual contiene todo el plazo de ejecución) y el cronograma de negociación de los recursos de la Clase 1. Se requiere la programación de las compras de materiales con plazos de entrega superiores, tales como ascensores, y también la contratación de equipos especiales y organización de la mano de obra propia (Bernardes, 2003). Debido a la incertidumbre, el plan de largo plazo debe tener un bajo nivel de detalle.

### 2.2.2 Planificación a mediano plazo

El plan de mediano plazo es un según nivel de planificación y se utiliza para la planificación táctica. A través del plan de mediano plazo se analizan los flujos de trabajo, con el objetivo de una reducción de las actividades que no agregan valor al proceso de producción y optimización de los recursos. Tiene como finalidad vincular los objetivos del plan a largo plazo con las tareas que se asignarán a la planificación de corto plazo (Bernardes, 2003).

La planificación a mediano plazo permite desarrollar el análisis de las restricciones existentes en el entorno de producción, con el fin de permitir el desarrollo de acciones para eliminarlas, lo que aumenta la fiabilidad de la planificación a corto plazo. El plan de mediano plazo es importante para que se haga la programación de adquisición de los recursos para las Clases 2 y 3 (Bernardes, 2003).

### 2.2.3. Planificación a corto plazo

La función principal de la planificación a corto plazo es la asignación de paquetes de trabajo para los equipos de producción, negociada con los responsables por la ejecución de las tareas, con la definición de secuencia, carga de trabajo y plazos de ejecución de cada actividad (Coelho, 2003). Según Bernardes (2003), la planificación a corto plazo por lo general se realiza en ciclos semanales, en general con un horizonte de hasta cuatro semanas, y permite la definición de actividades a realizar por los equipos de trabajo, así como la asignación de otros recursos.

La planificación a corto plazo reporta un factor importante para el control de la obra, el Porcentaje de Planes Completados (PPC). El PPC es el principal indicador de la planificación a corto plazo, calculado por la relación entre el número de paquetes de trabajo 100% completados y el número total de paquetes programados, como se muestra en la Ecuación 1. El PPC debe ser examinado junto con el análisis de las causas del incumplimiento de las actividades planeadas (Ballard y Howell, 1998).

$$PPC = \frac{\sum \text{Paquetes de trabajo 100\% concluidos}}{\sum \text{Total de paquetes de trabajo planeados}} \quad (1)$$

El PPC puede ser considerado como una medida de la eficiencia de la gestión de la producción en el nivel operativo (Ballard, 2000). Se considera un nivel alto de PPC cuando el promedio es próximo de 100%. Un PPC es bueno cuando está entre 60% y 80% (Akkari et al., 2004; Bortolazza, 2006). Sin embargo, dada la variabilidad en la construcción, difícilmente el PPC logra alcanzar un 100%. En general un PPC tan alto indica una planeación "blanda", bien sea, las

tareas propuestas son muy fáciles de cumplir y en realidad se podría producir más. Aun así, a partir de la suposición de que los requisitos de calidad se han cumplido, un nivel de PPC medio-alto indica que el sistema de producción tiene características de fiabilidad (Ballard, 2000; Bortolazza, 2006).

## 3. Metodología

La propuesta del sistema fue desarrollada en una empresa de construcción de Novo Hamburgo, ciudad ubicada al sur de Brasil. Es una empresa de tamaño medio, con 24 años de trabajo en el mercado local. La compañía construye edificios para un rango de clase socioeconómica media-alta. Produce edificaciones con 7 hasta 10 pisos. En general, produce dos proyectos de forma simultánea. La empresa tiene sistemas PCP en acción en sus obras. Para realizar el estudio se hizo la elección de un proyecto de esa empresa.

El proyecto elegido fue un condominio residencial con acabado estándar para la clase media-alta. La obra tiene apartamentos de 2 y 3 habitaciones, con dos garajes cada uno, y es construida en un sistema convencional (estructura de hormigón armado con muros de mampostería de ladrillos cerámicos). Tiene 8 plantas y aproximadamente 5,000 metros cuadrados. Después de elegir el proyecto se realizó el estudio del PCP, detallando el sistema, con la identificación de las herramientas utilizadas en los diferentes niveles de planificación. El plazo total de obra fue de 25 meses. Entonces se desarrolló una propuesta para el sistema de planificación y control de los residuos (PCR), empleando las características del sistema de PCP de la empresa en estudio, que fue testeado en la obra en cuestión. El sistema propuesto se refiere a los residuos generados en el proceso de construcción. No se consideran en ese estudio los residuos generados en el uso, manutención y demolición del edificio.

### 3.1 Planificación y control de producción de la obra

El sistema de planificación y control de la producción utilizado en el proyecto en estudio se basa en los tres niveles de planificación. Cada horizonte de planificación tiene diferentes herramientas empleadas, como se describe a la secuencia. El sistema de PCP fue desarrollado por la propia empresa, a través de esfuerzos de sus gestores y empleados y se ha utilizado durante más de cuatro años, con buena aceptación por parte de los empleados. Se puede considerar que ya está integrado en el manejo rutinario de la empresa.

#### 3.1.1 Planificación a largo plazo

La planificación a largo plazo consiste en un plano general para la obra entera y se presenta en dos formas, a través de programación de Gantt y de la línea de equilibrio. El objetivo principal es orientar a la compra de materiales de Clase 1 y la contratación de equipos de subcontratistas. El plan a largo plazo es reevaluado en reuniones bimensuales y cuenta con la participación de los actores clave: gerente de la empresa, ingeniero de la obra, jefe de obra, aprendiz (un estudiante de Ingeniería Civil), contratista principal y un representante de cada subcontratista. La reunión tiene como objetivo evaluar si se están cumpliendo los objetivos, establecer los cambios de cronograma y tomar medidas para orientar a los horizontes de medio y corto plazo. La Figura 1 muestra ejemplos de los instrumentos utilizados.



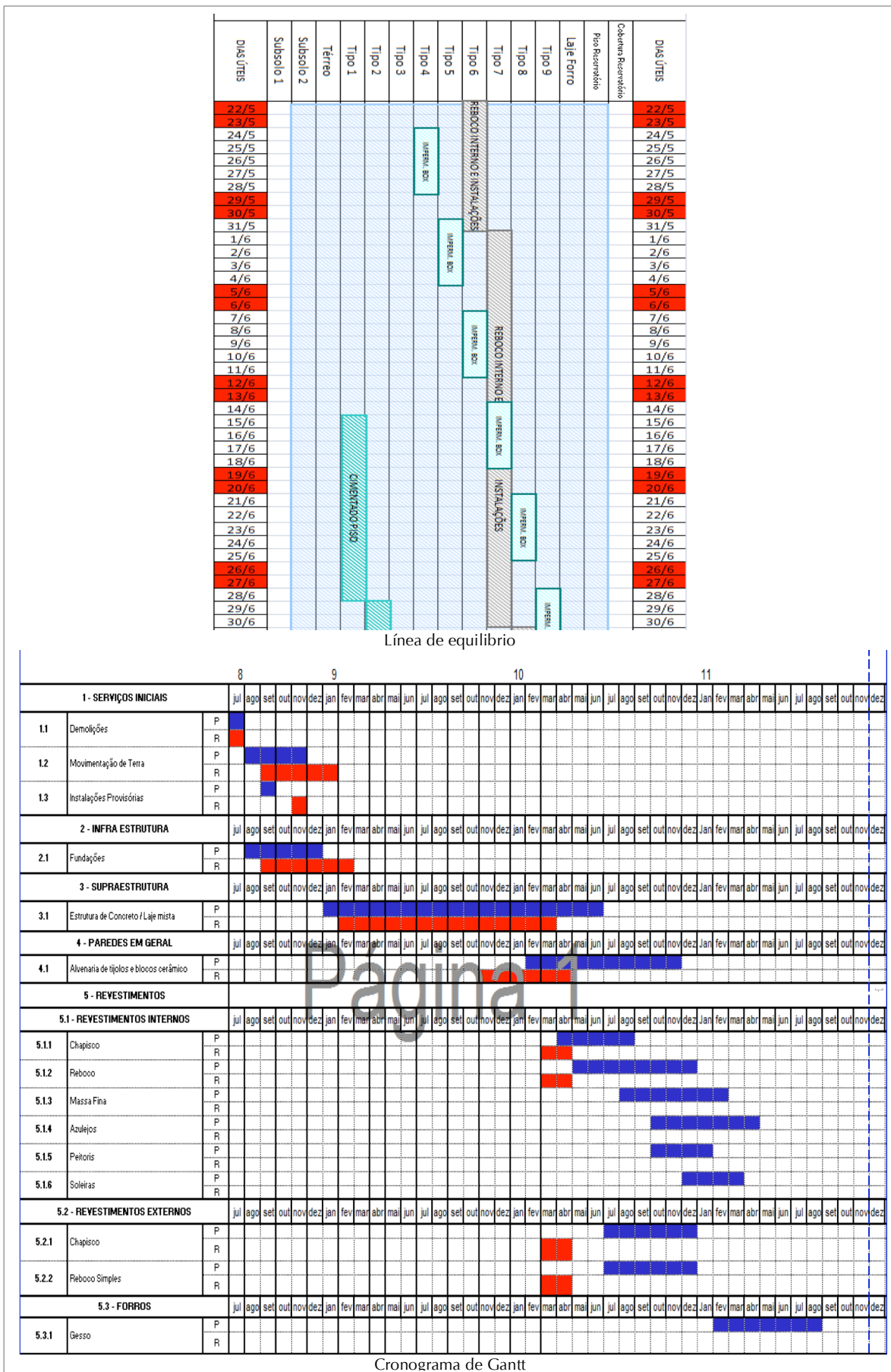


Figura 1. Planificación a largo plazo - Ejemplos de la línea de equilibrio y cronograma de Gantt



### 3.1.2 Planificación a mediano plazo

La planificación a mediano plazo trabaja con un período de cuatro a cinco semanas, siendo revisada en las reuniones de planificación semanales, en que participan ingeniero, jefe de obra, aprendiz y representantes de los contratistas. El modelo empleado se puede ver en la Figura 2. El objetivo de la planificación a mediano plazo es la organización de los recursos y las limitaciones de gestión.

### 3.1.3 Planificación a corto plazo

En la planificación a corto plazo se asignan semanalmente las diferentes frentes de trabajo a los equipos (un grupo de algunos trabajadores). Estos planes son revisados diariamente por el jefe de obra y el aprendiz. En la reunión de planificación semanal, con ingeniero, jefe de obra, aprendiz y representantes de los contratistas, se llena la hoja de planificación semanal (Figura 3), la cual tiene la función de definir las actividades que cada equipo va a realizar y después permite el cálculo del PPC. Si la planificación no se lleva a cabo de acuerdo al plan, la hoja de cálculo tiene un campo específico para identificar el problema (última columna en la Figura 3).

### 3.2 Propuesta y prueba del sistema de planificación y control de residuos (PCR)

Se presenta la propuesta y al mismo tiempo la aplicación del sistema de planificación y control de los

residuos que se discute en este trabajo. El sistema de PCR propuesto tiene como premisas la implantación en conjunto con el PCP y la aplicabilidad práctica en las obras de construcción de pequeñas y medianas empresas. De manera similar a Giacomello et al. (2014), se hace uso de las herramientas de largo, medio y corto plazos. A raíz del PCP, el PCR propuesto se dividió de acuerdo a los diferentes horizontes de planificación. Cada uno de estos niveles de planificación tiene diferentes herramientas de monitoreo. También se propuso un indicador de éxito en la gestión de residuos.

### 3.2.1 Planificación y control de residuos - largo plazo

La primera etapa de la planificación y control de los residuos consiste en la implantación de una "mini central de clasificación", básicamente compuesta por cajones o contenedores, con espacios adecuados para la clasificación de los residuos y espacio suficiente para maniobrar camiones. Los contenedores deben tener su volumen determinado de acuerdo a la demanda de la empresa, y tener un registro de control, como se muestra en la Tabla 4. Esta tabla debe ser completada y puesta al lado del contenedor correspondiente. Además, cada contenedor debe ser identificado con un signo de tamaño suficiente para lectura a una distancia razonable, tal como 10 metros de distancia, por ejemplo, para mejor orientar a los empleados.

Obra:	Data:		Ingeniero:				Jefe de obra:																		
Equipos y Paquetes de trabajo	Semana 1				Semana 2				Semana 3				Semana 4												
Equipo 1: (nombres de los trabajadores)	S	T	Q	Q	S	S	S	T	Q	Q	S	S	S	T	Q	Q	S	S	S	T	Q	Q	S	S	
Equipo 2: (nombres de los trabajadores)																									
Equipo 3: (nombres de los trabajadores)																									

Figura 2. Hoja de planeamiento a mediano plazo

Obra:		Semana:	Ingeniero:						Jefe de obra:	
Equipo	Paquete de trabajo	Actividades	S	T	Q	Q	S	S	PPC (%)	Problemas ocurridos
		Previstas								
		Hechas								
		Previstas								
		Hechas								
		Previstas								
		Hechas								
		Previstas								
		Hechas								

Figura 3. Hoja de planificación semanal



**Tabla 4.** Hoja de gestión de los contenedores (ejemplo)

ξ		Situación en obra
Tipo de residuo		Residuos de mampostería
Categoría, conforme la Res. 307		A
Volumen del contenedor		6m <sup>3</sup>
Volumen generado por día		1m <sup>3</sup>
¿Tiene reúso in loco?		Si, en parte
Destinación final		Vertedero municipal
Procedimiento de coleta y transporte		El responsable interno debe llamar la empresa de transporte de contenedores (debidamente licenciada) para realizar la recogida con regularidad para evitar el exceso de residuos en el sitio de obra.
Responsable por recogida y transporte	Interno	Aprendiz
	Externo	Empresa X

La planificación y control de los residuos en el largo plazo considera las principales etapas de la construcción se define en el cronograma de trabajo a largo plazo. Para cada paso de la obra debe haber un plan de acción, desarrollado previamente a la ejecución (como en la Tabla 5).

El estudio comprendió algunos servicios de obra. Se presenta en este trabajo los datos que se refieren a los residuos generados en la ejecución de mampostería. Esa etapa tomó 9 meses de los 25 meses del plazo total de ejecución, empezando en el tercero mes. Las mediciones

fueron desarrolladas por quincena. La predicción de volumen generado tomó como base la tasa de pérdidas para mampostería considerada en el presupuesto inicial, de 8% de pérdidas, que es un valor común en la región. Con ese procedimiento el volumen calculado fue de 46 m<sup>3</sup>.

Los residuos de mampostería contienen trozos de ladrillo y de mortero mezclados. Por su composición, ellos son de difícil reúso o reciclaje. La destinación prevista fue de relleno de vacíos en el terreno, en sustitución a adquisición de arena que estaba prevista en el proyecto.

**Tabla 5.** Plan de acción para actividad de largo plazo (ejemplo para mampostería)

Plan de largo plazo		Situación en obra	
Actividad		Mampostería	
Fechas	Inicio	01/marzo	
	Fin	01/diciembre	
Tipo de residuo		Mortero, cerámica, hormigón	
Volumen estimado		46m <sup>3</sup>	
Transporte interno		Grua	
¿Tiene reúso in loco?		Si, en parte	
Reúso in loco			
Volumen reutilizado		16m <sup>3</sup>	
Finalidad		Vertedero	
Procedimiento para reúso		Los residuos provenientes de esta actividad pueden ser reutilizados para llenar vacíos en áreas externas	
Responsable por el reúso	Interno	Ingeniero de la obra / Jefe de obra	
	Externo	No hay	
Residuo remanente			
Volumen restante		30m <sup>3</sup>	
Destinación final		Vertedero municipal	
Forma de transporte		Camión con contenedor (5 cargas de 6 m <sup>3</sup> )	
Procedimiento para transporte		El residuo restante será transportado del local de generación directamente al punto de recogida (local previamente definido y con tamaño suficiente para atender a la demanda). Los contenedores serán sustituidos conforme llenados y llevados a su destino final	
Responsable por el transporte	Interno	Aprendiz:	Fecha:
	Externo	Empresa:	Comprobante:



### 3.2.2 Planificación y control de residuos - mediano plazo

Al igual que en el PCP, la planificación de mediano plazo de los residuos es una herramienta para investigar la existencia de limitaciones para el funcionamiento correcto del sistema. Esta evaluación es realizada en reuniones semanales, que tienen lugar a lo largo de las reuniones de PCP. Durante la reunión se llena la Tabla 6. La hoja de cálculo tiene un alcance mensual y se actualiza semanalmente.

La Tabla 6 se debe llenar con el volumen esperado de residuos para cada semana, y después de comprobar si hay alguna restricción se llena con "OK" (sin restricción) o "X" (con restricción), respectivamente. En el caso de la existencia de alguna limitación, esta debe ser descrita brevemente y posteriormente las medidas que se deben tomar para liberación de cada actividad deben ser especificadas.

### 3.2.3 Planificación y Control de Residuos - Corto Plazo

Al igual que para el PCP, los residuos previstos son organizados semanalmente en la planificación a corto plazo, en conjunto con los paquetes de trabajo planeados. Los planes son acompañados por el jefe de obra y el aprendiz y son revisados en la reunión de planificación semanal con los mismos participantes que se indican en el punto 3.1.3.

Además, se ha propuesto un indicador de funcionamiento del sistema de PCR, llamado Porcentaje de Planes de Control de Residuos 100% Completados (PPCRC),

como indicado en la Ecuación 2. El PPCRC propuesto es similar al PPC. Sin embargo, con el fin de no sobrecargar el equipo responsable de la planificación y operación del sistema, el PPCRC se calcula quincenalmente. Los datos se presentan junto con la reunión semanal de planificación a corto plazo, todavía en semanas alternadas.

$$PPCRC = \frac{\sum \text{Paquetes de control de residuos 100\% concluidos}}{\sum \text{Total de paquetes de control de residuos planeados}} \quad (2)$$

Para llevar a cabo las operaciones de recogida de datos involucrados es necesario el control por un empleado. Este profesional debe controlar el volumen diario de materiales desechados o reutilizados en el sitio. Esa tabla debe ser una corta y objetiva descripción para facilitar la comprensión del tema en cuestión. La Tabla 7 tiene campos específicos para registro de las circunstancias que dieron lugar al incumplimiento de las actividades previstas, si es el caso. De los datos obtenidos se puede obtener el PPCRC. El porcentaje se obtiene dividiendo el volumen de residuos medido por el en volumen previsto. Los valores previstos se obtienen a partir de la planificación a mediano plazo (Tabla 3). Se presenta la Tabla 7 llenada para el caso de la tercera quincena. A continuación, en la Figura 4, se presenta la evolución de las mensuras en el período de ejecución de mampostería en esa obra.

**Tabla 6.** Predicción de restricciones y acciones necesarias (ejemplo)

Actividad prevista	Mampostería			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Restricciones en...				
Vol. Generado	1.3m <sup>3</sup>	1.3m <sup>3</sup>	1.3m <sup>3</sup>	1.3m <sup>3</sup>
Sistema de clasificación	Ok	Ok	Ok	Ok
Transporte interno	Ok	Ok	Ok	Ok
Transporte externo	X	X	X	X
Destinación	Ok	Ok	Ok	Ok
Contenedor	Ok	Ok	Ok	Ok
Otros	Ok	Ok	Ok	Ok
Describir restricción	Transporte externo - La empresa responsable por esta actividad fue excluida del banco de datos por que no presentó las licencias de transporte en el tiempo correcto			
Acción necesaria	Contratación de una nueva empresa para el transporte externo de residuos			





**Tabla 7.** Porcentaje de planes de control de residuos (ejemplo de la tercera quincena)

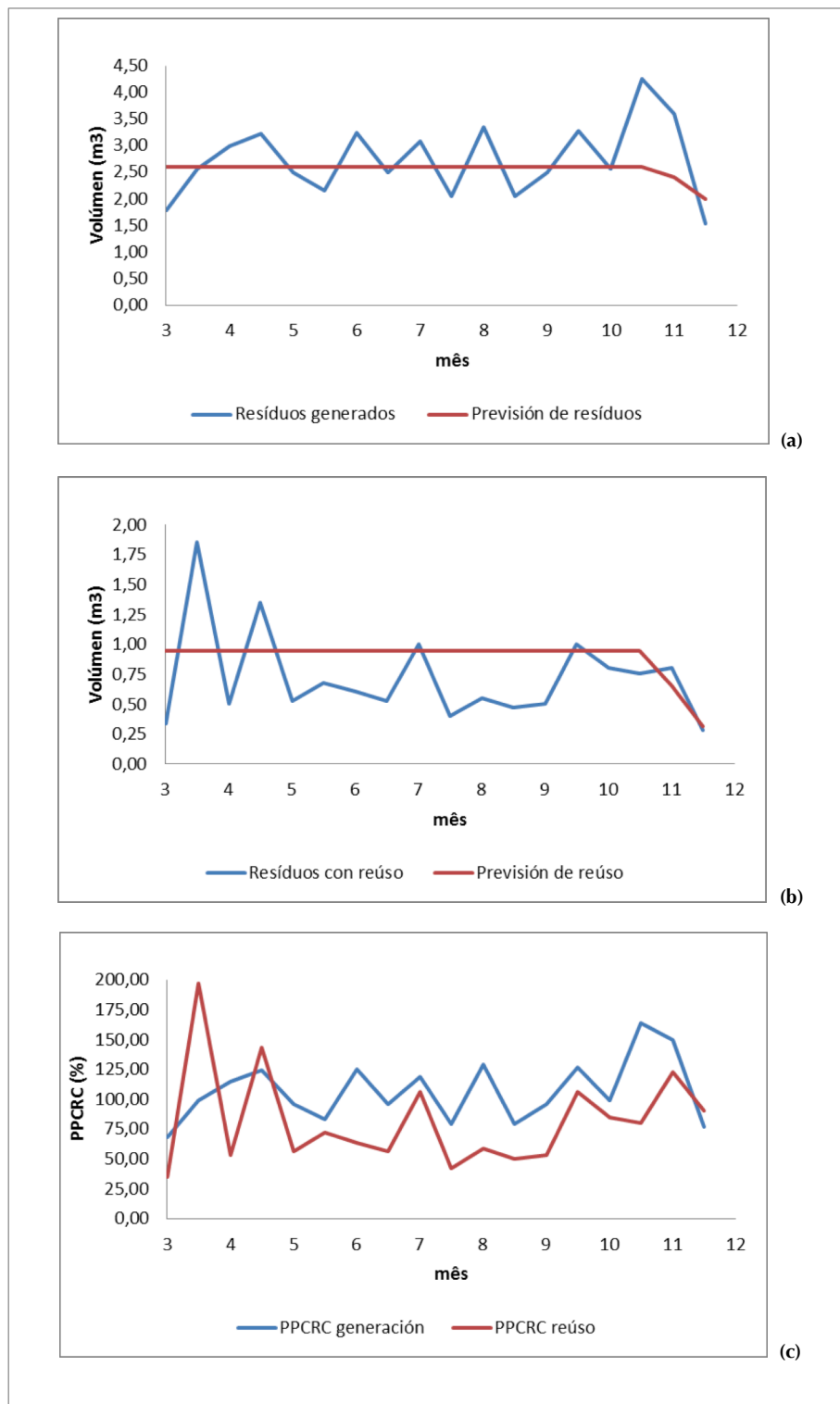
PLAN DE CORTO PLAZO	SITUACIÓN EN OBRA	
Actividad	Mampostería	
Categoría, conforme la Res. 307	A	
Volumen previsto (por quincena)	2.6 m <sup>3</sup>	
Previsión de reutilización (por quincena)	0.94 m <sup>3</sup>	Donde: lleno de vacíos en los fondos del terreno
<b>MEDIÇÃO EM OBRA – RESULTADOS</b>		
Volumen de residuos generados	3.0 m <sup>3</sup>	
Volumen de residuos reutilizados	0.5 m <sup>3</sup>	Donde: lleno de vacíos en los fondos del terreno
PPCRC - Volumen de residuos generados	3.0 / 2.6 = 115.4%	
PPCRC - Volumen de residuos reutilizados	0.5 / 0.94 = 53.2%	
<b>MOTIVOS</b>		
Volumen de residuos generados	El volumen generado fue mayor, pues la actividad de la equipe de mampostería fue mayor do que la previsión en el planeamiento de obra (ocurrió producción de un área mayor de mampostería).	
Volumen de residuos reutilizados	Los residuos no fueron reutilizados en la cantidad prevista pues el área para disposición no estaba liberada, aun aguardando el muro de contención al lado del terreno.	

Se consideró un valor constante de 2.6 m<sup>3</sup> para las 10 quincenas, pues no había información suficiente para suponer la variación en del período. Se decidió emplear los residuos para llenar un vacío en los fondos del terreno. El volumen de ese vacío era de aproximadamente 16m<sup>3</sup>. El plan de reúso inicial se basó en un volumen de 1 m<sup>3</sup> por quincena. En función del volumen de las carretillas de transporte utilizados en la obra, se optó por un volumen de 0.94 m<sup>3</sup>, para que se tuviese una cantidad fija de cargas (en ese caso eran 8), lo que hice más fácil el control. En el final del período se proyectó un volumen menor para realizar la finalización del aterro (Figura 4-b).

En los datos de la Tabla 7 se verifica que los datos colectados en obra difieren de las previsiones. El volumen recolectado fue de 3.0 m<sup>3</sup>, mayor que el volumen planeado de 2.6 m<sup>3</sup>. Así, el índice PPCRC para generación puede ser calculado en 115.4%. La previsión de reúso no fue alcanzada, pues el volumen efectivo fue de 0.5 m<sup>3</sup>, un poco más de la mitad prevista. Así, el índice PPCRC alcanzó un 53.2%.

La Figura 4 presenta los datos para todo el período de ejecución de mampostería en la obra. Las líneas en rojo presentan los volúmenes planeados, en cuanto que las azules son los volúmenes mensurados en obra. El gráfico de residuos generados (Figura 4-a) demuestra que los volúmenes no fueron constantes, con variación a lo largo del período. La evaluación del reúso de residuos presenta dos etapas diferentes. Acuerdo a lo planeado, el llenado del vacío fue más intenso en el inicio (con reúso de hasta 1.75 m<sup>3</sup> en la segunda quincena de marzo) y después el volumen fue por debajo de lo planeado (alrededor de un 50% de lo planeado en las quincenas siguientes). Los índices de calidad del planeamiento del PPCRC están presentados en la Figura 4-c. La generación es mayor que lo planeado en algunas quincenas, con el PPCRC mayor que un 100%, pero menor en otras. El promedio calculado fue 107.1%. El PPCRC del reúso estuvo debajo de 75% en varias quincenas. El promedio fue de 80.7%.





**Figura 4.** Medidas de residuos y del PPCRC – mampostería

## 4. Discusión y consideraciones finales

El sistema de PCR se llevó a cabo a través de una serie de cuadros y tablas, que actúan como herramientas en la planificación y control de la generación, reutilización y eliminación de residuos. Estas tablas se han creado sobre la base del proyecto de PCP, con objetivo de integrar los diferentes horizontes de control (a largo, medio y corto plazos) de la planificación.

De acuerdo con la Resolución CONAMA 307/2002, los municipios deben implantar sus Planes Integrados de Gestión de Residuos de la Construcción Civil y entonces deben exigir planes de gestión de residuos de los grandes generadores de residuos. A su vez, el transporte de los residuos debe ir acompañado de un manifiesto de transporte, el cual indica los tipos y cantidades de RCC, como una responsabilidad del generador u del transportista. Los planes a largo y mediano plazos del PCR pueden ayudar en la redacción de estos documentos.

Se observó en obra que la Tabla 5 es importante para el desarrollo de todo el sistema porque tiene los registros de los volúmenes estimados a largo plazo. Por lo tanto esas tablas deben ser llenadas por los administradores del sistema de PCR y después evaluadas por otros profesionales implicados. La observación del comportamiento de los involucrados mostró una buena aceptación de las técnicas propuestas y empleadas en la obra en cuestión, tanto en términos de la aplicabilidad cuanto de la importancia para la gestión de residuos.

La medición de residuos y el consecuente cálculo de los PPCRC indicaran situaciones reales debajo de lo planeado. El PPCRC de generación mediano fue mayor que 107%. Eso indica una generación mayor que la planeada. Por otro lado, el PPCRC de reúso mediano fue cerca de 81%, casi 20% menor que lo planeado. En términos de volumen, eso representa un reúso alrededor de 3 m<sup>3</sup> menor que el planeado.

El sector de la construcción requiere una gran cantidad de recursos naturales y contribuye significativamente a la generación de residuos y daños al medio ambiente. Los sistemas de gestión están asumiendo cada vez más importancia para las empresas de construcción, hasta para el desarrollo económico del sector. Este estudio presenta la propuesta y el estudio de un sistema de gestión de residuos que permite a las pequeñas y medianas empresas medios para planificar y controlar la generación, reutilización o eliminación de residuos. El sistema propuesto se basa en la división en niveles de planeamiento, con un indicador de planes de gestión de residuos completados. Por último, se puede concluir que el estudio mostró un sistema de gestión y control de residuos factible para el sector estudiado.

## 5. Agradecimientos

Los autores desean agradecer al apoyo de las agencias de investigación de Brasil CAPES, CNPq y FAPERGS.

## 6. Referencias

- Agopyan V., Souza U. E. L., Paliari J. C. y Andrade A. C. (1998)**, Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras. *Relatório final de pesquisa*. São Paulo: EPUSP/FINEP/ITQC.
- Akkari A., Bulhões I. y Formoso C. T. (2004)**, 18 Julio. Indicadores obtidos com a informatização do planejamento e controle de produção. In I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (pp.1-15). São Paulo: ANTAC ([http://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC\\_2004/trabalhos/PAP0617d.pdf](http://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0617d.pdf)).
- Ashworth A. y Perera S. (2015)**, *Cost studies of buildings*. New York: Routledge.
- Ballard H.G. (2000)**, The last planner system of production control (Tesis doctoral no publicada). Birmingham: School of Civil Engineering, University of Birmingham. (<http://www.leanconstruction.org/media/docs/ballard2000-dissertation.pdf>).
- Ballard H.G. y Howell G. (1998)**, Shielding production: Essential step in production control. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(1): 11–17. doi: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1998\)124:1\(11\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:1(11))
- Bernardes M. M. S. (2003)**, *Planejamento e controle da produção para empresas de construção civil*. Rio de Janeiro, Brasil: LTC.
- Bortolozza R. C. (2006)**, Contribuições para a coleta e a análise de indicadores de planejamento e controle da produção na construção civil. (Dissertação de mestría no publicada). Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (<http://hdl.handle.net/10183/13516>).
- Building Research Establishment (BRE) (2014)**, *Código de Construcción Sustentable para Viviendas, Chile*. Reporte BRE n. 291-639. BRE: Watford, UK.
- Cabrera A. G., Pulido N. Q. y Díaz J. O. Á. (2015)**, Simulación de eventos discretos y líneas de balance, aplicadas al mejoramiento del proceso constructivo de la cimentación de un edificio. *Ingeniería y Ciencia*, 11(21): 157-175. doi: <http://dx.doi.org/10.17230/ingciencia.11.21.8>
- Campero M. (2013)**, Rol de los principios de administración de proyectos en el manejo de contratos de obras civiles. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 28(1): 81-94. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732013000100005>
- Coelho H. O. (2003)**, Diretrizes e requisitos para o planejamento e controle da produção em nível de médio prazo na construção civil. (Dissertação de mestría no publicada). Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (<http://hdl.handle.net/10183/5228>).
- Conama (2002)**, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 307, de 05 de julho de 2002. Diário Oficial da União, n. 136, 17 de julho de 2002 – Seção 1. Brasil. (<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>).
- Contreras Socarras J. M. (2012)**, *Aplicación de la herramienta time-lapse para la identificación y reducción de pérdidas en edificaciones con estructura en concreto* (Trabajo final de grado no publicado). Bogotá, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. (<http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/11116/1/contrerassocarrasjaviermauricio2012.pdf>).
- Cooke B. y Williams P. (2013)**, *Construction planning, programming and control*. New York: John Wiley & Sons.
- Dias M. F. (2013)**, Modelo para estimar a geração de resíduos na produção de obras residenciais verticais. Dissertação (Dissertação de mestría no publicada). São Leopoldo, Brasil: Universidade do Vale do Rio dos Sinos. (<http://biblioteca.asav.org.br/vinculos/000009/0000090F.pdf>).
- Edwards B. (2010)**, *Rough guide to sustainability: A Design Primer*. London: RIBA.
- Faria A. M., Cussiol N. A. M. y Pinto J. M. A. (2009)**, Diagnóstico da aplicação da resolução nº 307/2002 do Conama, em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *Construindo*, 1(1). (<http://www.fumec.br/revistas/construindo/article/view/1744/0>).



- Formoso C. T., Soibelman L., Cesare C. M. y Isatto E. L. (2002)**, Material waste in building industry: Main causes and prevention. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(4): 316–325. doi: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:4\(316\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:4(316)).
- Giacomello H., González M. A. S. y Kern A. P. (2014)**, Implementation of an integrated management system into a small building company. *Revista de la Construcción*, 13(3): 10-18. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2014000300002>.
- Karpinski L. A., Pandolfo A., Reinehr R., Kurek J. Pandolfo L. y Guimarães J. (2009)**, *Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: Uma abordagem ambiental*. Porto Alegre, Brasil: Edipucrs.
- Kluczek M. S. y Fazolo A. (2005)**, 18 Septiembre. Resolución Conama n.307/2002: Estudio de caso da implantação de programa de segregação dos resíduos gerados em canteiros de obra de pequeno porte. In XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (pp. 1-6). Campo Grande, Brasil: ABES. (<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-202.pdf>).
- Koskela L. (2000)**, An exploration towards a production theory and its application to construction. (Tesis doctoral). VTT Publications n.408. Espoo, Finland: VTT - Technical Research Centre of Finland (<http://www2.vtt.fi/inf/pdf/publications/2000/P408.pdf>).
- Laufer A. (1996)**, *Simultaneous management: Managing projects in a dynamic environment*. New York: Amacom.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile - Minvu (2013)**, *Estrategia Nacional de Construcción Sustentable*. Res. Ex. N. 9035, Santiago.
- Nogueira D., López D., Medina A. y Hernández A. (2014)**, Cuadro de mando integral en una empresa constructora de obras de ingeniería. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 29(2): 201-214. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000200006>.
- Paliari J. C., Souza U. E. L., Andrade A. C. y Agopyan V. (2002)**, 7 Mayo. Avaliação das perdas de concreto usinado nos canteiros de obras. In IX Congresso Brasileiro de Tecnologia do Ambiente Construído (pp. 1381-1389). Foz do Iguaçu, Brasil: ANTAC. ([http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002\\_1381\\_1390.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_1381_1390.pdf)).
- Patzlaff J. O., González M. A. S. y Kern A. P. (2014)**, The assessment of building sustainability in micro and small building firms: Case study on southern Brazil. *Revista Ingeniería de Construcción*, 29(2): 151-158. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000200002>.
- Pinto T. P. (1989)**, Perda de materiais em processos construtivos tradicionais. *Relatório de pesquisa*. São Carlos, Brasil: Universidade Federal de São Carlos.
- Pinto T. P. (1999)**, Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. (Tesis doctoral no publicada). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. (<http://www.casoi.com.br/hjr/pdfs/GestResiduosSolidos.pdf>).
- Pinto T. P. (2005)**, Gestão ambiental de resíduos da construção civil. A experiência do Sinduscon-SP. *Relatório de pesquisa - ObraLimp/Sinduscon-SP*. São Paulo: Sinduscon-SP. ([http://www.cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/Manual\\_Residuos\\_Solidos.pdf](http://www.cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/Manual_Residuos_Solidos.pdf)).
- Rocha J. C. y John V. M. (Eds.) (2003)**, *Utilização de resíduos na construção habitacional*. Porto Alegre, Brasil: ANTAC. (<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/134.pdf>).
- Secretaría General de Medio Ambiente de España (2001)**, Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD) 2001-2006. *Boletín Oficial del Estado (BOE)* n. 166 (12 de julio de 2001). Madrid.
- Soibelman L. (2003)**, As perdas de materiais na construção de edificações: Sua incidência e controle. (Disertación de maestría no publicada). Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (<http://hdl.handle.net/10183/1701>).
- Souza R. de (2004)**, *Sistema de gestão para empresas de incorporação imobiliária*. São Paulo: O Nome da Rosa.
- Teixeira E. C. (2015)**, Medição da geração de resíduos em obras de edificações verticais e análise da relação com os cronogramas de execução (Disertación de maestría no publicada). São Leopoldo, Brasil: Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

